

Interrelaciones humano-ambientales durante el Holoceno tardío en el este del Uruguay:

Cambio Climático y Dinámica Cultural

Laura del Puerto



TESIS DE DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS,
OPCIÓN ECOLOGÍA
PROGRAMA DE DESARROLLO DE LAS CIENCIAS BÁSICAS
(PEDECIBA)

ORIENTADOR: Dr. Peter Sprechmann

CO-ORIENTADOR: Dr Felipe García-Rodríguez

Julio 2015

Interrelaciones humano-ambientales durante el Holoceno tardío en el este del Uruguay: cambio climático y dinámica cultural

Mg. Laura del Puerto García

**TESIS DE DOCTORADO EN BIOLOGÍA, OPCIÓN ECOLOGÍA
PROGRAMA DE DESARROLLO DE LAS CIENCIAS BÁSICAS
(PEDECIBA)**

ORIENTADOR: Dr. Peter Sprechmann

CO-ORIENTADOR: Dr Felipe García-Rodríguez

TRIBUNAL:

DR. Daniel Conde

DR. José María López Mazz

DR. Eduardo Piovano

Universidad de la República
Montevideo, Uruguay
2015



“Hace cinco siglos, cuando América fue apresada por el mercado mundial, la civilización invasora confundió a la ecología con la idolatría. La comunión con la naturaleza era pecado, y merecía castigo. Según las crónicas de la conquista, los indios nómades que usaban cortezas para vestirse jamás desollaban el tronco entero, para no aniquilar el árbol, y los indios sedentarios plantaban cultivos diversos y con períodos de descanso, para no cansar la tierra.

La civilización que venía a imponer los devastadores monocultivos de exportación, no podía entender a las culturas integradas a la naturaleza, y las confundía con la vocación demoniaca o la ignorancia. Y así siguió siendo. Los indios de Yucatán y los que después se alzaron con Emiliano Zapata, perdieron sus guerras por atender las siembras y las cosechas del maíz.

Llamados por la tierra, los soldados se desmovilizaban en los momentos decisivos del combate. Para la cultura dominante, que es militar, así los indios probaban su cobardía o su estupidez.

Para la civilización que dice ser occidental y cristiana, la naturaleza era una bestia feroz que había que dominar y castigar para que funcionara como una máquina, puesta a nuestro servicio desde siempre. La naturaleza, que era eterna, nos debía esclavitud.

Muy recientemente nos hemos enterado de que la naturaleza se cansa, como nosotros, sus hijos; y hemos sabido que, como nosotros, puede morir asesinada. Ya no se habla de someter a la naturaleza: ahora hasta sus verdugos dicen que hay que protegerla.

Pero en uno u otro caso, ella está fuera de nosotros. La civilización que confunde a los relojes con el tiempo, al crecimiento con el desarrollo y a lo grandote con la grandeza, también confunde a la naturaleza con el paisaje, mientras el mundo, laberinto sin centro, se dedica a romper su propio cielo. ”

Índice de Contenido

ÍNDICE DE CONTENIDO	i
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	x
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
RESUMEN	xiv

Capítulo I. Introducción 1

I.1 FUNDAMENTACIÓN Y MARCO CONCEPTUAL 2

I.2 ANTECEDENTES 6

I.2.1 PRINCIPALES ABORDAJES DE LAS INTERRELACIONES HUMANO-AMBIENTALES EN LA PREHISTORIA DE LAS TIERRAS BAJAS SUDAMERICANAS 8

I.2.2 INTERACCIONES HUMANO-AMBIENTALES EN LA PREHISTORIA DEL LITORAL ATLÁNTICO URUGUAYO 13

LOS CERRITOS DE INDIOS Y LA TRANSFORMACIÓN SOCIAL DE LA NATURALEZA 14

CAMBIO AMBIENTAL Y DINÁMICA CULTURAL 17

I.2.3 PUNTO DE PARTIDA 21

I.3 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS 23

I.3.1 HIPÓTESIS 23

I.3.2 OBJETIVOS 23

I.4 ESTRATEGIA DE INVESTIGACIÓN 24

I.4.1 LÍNEAS TRANSVERSALES DE INVESTIGACIÓN 24

SILICOFITOLITOS COMO INDICADORES PALEOETNOBOTÁNICOS 24

ISÓTOPOS ESTABLES: CONTRASTACIÓN Y COMPLEMENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN 25

PALEOBOTÁNICA Y PALEOETNOBOTÁNICA

I.4.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 27

RECONSTRUCCIÓN PALEOCLIMÁTICA Y PALEOAMBIENTAL 27

PALEOETNOBOTÁNICA Y PALEODIETA 28

INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN 29

Capítulo II. Análisis Paleoambiental 30

II.1 INTRODUCCIÓN GENERAL 31

II.2 SILICOFITOLITOS EN GRAMÍNEAS NATIVAS Y SEDIMENTOS MODERNOS BAJO EXCLUSIÓN GANADERA: BASES TAXONÓMICAS Y CORRELACIONES AMBIENTALES PARA APLICACIONES PALEOECOLÓGICAS 33

II.2.1 INTRODUCCIÓN 33

II.2.2 MATERIALES Y MÉTODOS 35

REGIÓN DE ESTUDIO 35

MATERIAL VEGETAL DE REFERENCIA 37

Procesamiento y observación 41

<i>Análisis estadístico</i>	41
FITOLITOS EN SUELO	41
<i>Procesamiento y Observación</i>	42
<i>Análisis estadístico</i>	43
II.2.3 RESULTADOS	44
MATERIAL VEGETAL DE REFERENCIA	44
FITOLITOS en suelo	61
II.2.4 SÍNTESIS Y DISCUSIÓN	64
 II.3 NUEVAS EVIDENCIAS DE CAMBIO AMBIENTAL DURANTE EL HOLOCENO TARDÍO EN EL SE DEL URUGUAY: APORTES DEL ANÁLISIS DE PARTÍCULAS BIOSILÍCEAS EN TESTIGOS DE LA LAGUNA DE PEÑA	 66
II.3.1 INTRODUCCIÓN	66
II.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	67
II.3.3 MATERIALES Y MÉTODOS	70
MUESTREO	70
LITOLIGÍA	70
DATACIONES RADIOCARBÓNICAS	71
GEOQUÍMICA	71
SILICOFITOLITOS Y OTRAS PARTÍCULAS BIOSILÍCEAS	71
II.3.4 RESULTADOS	72
CRONOLOGÍA	72
LITOLOGÍA Y GEOQUÍMICA	73
SILICOFITOLITOS	75
II.3.5 DISCUSIÓN	78
 II.4 VARIACIONES CLIMÁTICAS DURANTE EL HOLOCENO TARDÍO EN EL ESTE DEL URUGUAY: ESTIMACIONES CUANTITATIVAS BASADAS EN REGISTROS FITOLÍTICOS E ISOTÓPICOS DE TESTIGOS PALEOLIMNOLÓGICOS	 82
II.4.1 INTRODUCCIÓN	82
II.4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	84
ÁREA DE ESTUDIO	84
CALIBRACIÓN FITOLITOS-CLIMA ACTUAL	85
DATOS FITOLÍTICOS FÓSILES	87
TÉCNICA DEL ANÁLOGO MODERNO (TAM)	89
ANÁLISIS ISOTÓPICOS	89
II.4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	90
MODELOS DE CALIBRACIÓN	90
ESTIMACIONES CUANTITATIVAS DE LAS VARIABLES PALEOCLIMÁTICAS	91
<i>Laguna de Peña</i>	91
<i>Laguna Blanca</i>	94
<i>Laguna Negra</i>	96
<i>Modelo Integrado</i>	98
ANÁLISIS ISOTÓPICOS	100
<i>Laguna de Peña</i>	100
<i>Laguna Blanca</i>	102
<i>Laguna Negra</i>	103
<i>Análisis Integrado</i>	105

II.4.4 CONCLUSIONES	108
II.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO: RECONSTRUCCIÓN PALEOCLIMÁTICA PARA EL HOLOCENO TARDÍO EN EL ESTE DE URUGUAY	110
Capítulo III. Paleoetnobotánica y Subsistencia	115
III.1 INTRODUCCIÓN GENERAL	116
III.2 NUEVOS APORTES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FITOLITOS DE <i>ZEAMAYS</i> L. EN CONTEXTOS ARQUEOLÓGICOS DE LA REGIÓN DE PASTIZALES SUBTROPICALES SUDAMERICANOS	120
III.2.1 INTRODUCCIÓN	120
III.2.2 ANTECEDENTES	122
PROPUESTAS TIPOLOGICAS Y CRITERIOS METODOLÓGICOS	122
APLICACIONES REGIONALES	124
III.2.3 MATERIALES Y MÉTODOS	126
ÁREA DE ESTUDIO	126
MUESTREO	126
<i>Fitolitos en plantas</i>	126
<i>Fitolitos en suelo</i>	127
<i>Fitolitos en sedimentos paleolimnológicos</i>	127
EXTRACCIÓN Y ANÁLISIS DE FITOLITOS	127
<i>Fitolitos en plantas</i>	127
<i>Fitolitos en suelo y sedimentos paleolimnológicos</i>	129
III.2.4 RESULTADOS	129
<i>Fitolitos en plantas</i>	129
<i>Fitolitos en suelo</i>	135
<i>Fitolitos en sedimentos paleolimnológicos</i>	136
III.2.5 SÍNTESIS Y CONCLUSIONES	138
III.3 PALEOETNOBOTÁNICA Y SUBSISTENCIA DE LOS CONSTRUCTORES DE CERRITOS DEL HOLOCENO TARDÍO EN EL ESTE DEL URUGUAY: ANÁLISIS FITOLÍTICO EN SEDIMENTOS Y ARTEFACTOS DE ESTRUCTURAS MONTICULARES	139
III.3.1 INTRODUCCIÓN	139
III.3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	143
CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO Y ANTECEDENTES DE LOS SITIOS ANALIZADOS	143
<i>Bañado de San Miguel – Sitio CH2D01</i>	146
<i>Cuenca de la Laguna de Castillos – Sitios Cráneo Marcado y Guardia del Monte</i>	147
MUESTREO	150
PROCESAMIENTO	155
OBSERVACIÓN Y ANÁLISIS	156
III.3.3 RESULTADOS	156
CH2D01 B	156
<i>Material sedimentario</i>	156
<i>Material cerámico</i>	162
GUARDIA DEL MONTE IA Y IIIB	166

<i>Material sedimentario</i>	166
<i>Material Lítico</i>	173
CRÁNEO MARCADO IIA Y IIIB	175
<i>Material sedimentario</i>	175
<i>Material cerámico</i>	181
III.3.4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	187
 III.4 ISÓTOPOS ESTABLES Y PALEODIETA: PONDERANDO EL CONSUMO DE MAÍZ DURANTE EL HOLOCENO TARDÍO EN EL ESTE DE URUGUAY	 194
III.4.1 INTRODUCCIÓN	194
III.4.2 MATERIALES Y MÉTODOS	196
GEOQUÍMICA ISOTÓPICA	196
EL MATERIAL ARQUEOLÓGICO	197
ECOLOGÍA ISOTÓPICA DE VEGETALES COMESTIBLES	198
III.4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	199
III.4.4 CONCLUSIONES	206
 III.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO: PALEOETNOBOTÁNICA Y SUBSISTENCIA DURANTE EL HOLOCENO TARDÍO EN EL ESTE DEL URUGUAY	 209
 Capítulo IV. Síntesis, Integración y Conclusiones	 211
IV.1 SÍNTESIS	212
IV. 2 INTEGRACIÓN	214
IV. 3 CONCLUSIONES	223
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	225
AGRADECIMIENTOS	254
 Anexos	
ANEXO I: ILUSTRACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES MORFOTIPOS DE SILICOFITOLITOS	256
ANEXO II: PÁGINAS ILUSTRATIVAS DEL CATÁLOGO DIGITAL DE FITOLITOS EN CONSTRUCCIÓN	264
ANEXO III: TRABAJOS PUBLICADOS	290

Índice de Figuras

Capítulo I: Introducción

I.1	Reconstrucción de la Irradiación Solar Total para los últimos 400 y 2500 años. Fuente: Shapiro et al. 2011.	7
I.2	Relación espacial entre distribución de cerritos de indios y unidades ambientales.	15
I.3	Modelo de evolución paleoclimática y paleoambiental para el Holoceno medio y tardío en el este del Uruguay a partir de registros paleolimnológicos.	18
I.4	Distribución espacial y temporal de sitios arqueológicos en el sector sur de la Cuenca de la Laguna Merín en relación a las principales variaciones climáticas holocenas.	20
I.5	Esquema de síntesis de la estrategia de investigación propuesta.	26

Capítulo II: Análisis Paleoambiental

II.1	Ejemplos de distribución mundial de subfamilias de gramíneas de diferente mecanismo fotosintético y sus morfotipos de silicofitolitos característicos	35
II.2	Ubicación geográfica de los pastizales del Río de la Plata y sus subdivisiones, con señalización de las localidades de muestreo de sedimentos actuales de referencia.	36
II.3	Imágenes ilustrativas de los morfotipos correspondientes a células cortas bilobadas, tetralobadas y polilobadas registrados en las especies analizadas.	45
II.4	Imágenes representativas de los morfotipos de células cortas de gramíneas circulares, cónicas, en forma de silla de montar y trapezoidales registrados en el material comparativo.	46
II.5	Principales morfotipos de apéndices dérmicos registrados en el material comparativo.	47
II.6	Principales morfotipos de células bulliformes identificados en el material comparativo	48
II.7	Morfotipos correspondientes a células largas y complejos estomáticos silicificados identificados en el material vegetal de referencia.	49
II.8	Distribución de abundancia relativa de morfotipos bilobados en las especies de gramíneas analizadas ordenadas por subfamilia.	50
II.9	Distribución de abundancia relativa de células cortas tetralobadas, polilobadas y en forma de silla de montar en las especies de gramíneas analizadas ordenadas por subfamilia.	51
II.10	Distribución de abundancia relativa de células cortas circulares, cónicas y trapezoidales en las especies de gramíneas analizadas ordenadas por subfamilia.	52
II.11	Distribución de abundancia relativa de morfotipos correspondientes a apéndices dérmicos, células bulliformes, células largas y estomas en las especies de gramíneas analizadas ordenadas por subfamilia.	54
II.12	Dendrograma resultante del análisis <i>Neighbour Joining Clustering</i> a partir de	55

	morfotipos de células cortas de gramíneas.	
II.13	Representación gráfica del resultado del PCA para los tres primeros componentes.	57
II.14	Dispersión de los grupos taxonómicos de gramíneas en relación a las dos primeras funciones del análisis discriminante.	58
II.15	Histograma resultante de la función discriminante para grupos de gramíneas C ₃ y C ₄ .	60
II.16	Distribución de abundancias relativas de fitolitos por grupos taxonómicos y valores de los índices de temperatura, humedad y C ₃ :C ₄ para las 21 parcelas pareadas.	62
II.17	Ubicación geográfica de la Laguna de Peña y principales coberturas de suelo identificadas en la cuenca.	68
II.18	Modelo Edad/Profundidad de los testigos LP1 y LP2 derivado de los fechados radiocarbónicos calibrados de los testigos LP1 y PL2	73
II.19	Correlación cronológica y litoestratigráfica entre los testigos LP1 y LP2 y descripción textural de las unidades litoestratigráficas (UL) identificadas	74
II.20	Distribución vertical de abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos identificados mediante el análisis fitolítico en el registro integrado de los testigos LP1 y LP2, valores de los índices de temperatura, humedad, C ₃ :C ₄ , D:P y SF:OSB y zonación resultante del Stratigraphically Constrained Clustering	76
II.21	Imágenes ilustrativas de distintos morfotipos de fitolitos (A-M) y otras partículas biosilíceas (O-Q) registrados en sedimentos de ambos testigos de Laguna de Peña.	77
II.22	Valores de los índices de temperatura (IT), humedad (IH) y C ₃ :C ₄ <i>versus</i> edad calibrada AD para el sector superior del registro de Laguna de Peña.	80
II.23	Ubicación geográfica de las localidades de procedencia de las muestras de suelo y de sedimentos de sistemas acuáticos en el área de los Pastizales del Río de la Plata.	86
II.24	Ubicación geográficas de los sistemas lacustres de procedencia de los registros	87
II.25	Registros paleolimnológicos de donde se obtuvieron los datos fitolíticos fósiles, con detalle de la litología, cronología y modelos profundidad/edad calibrada AD.	88
II.26	Modelos de calibración óptimos para BIO1 y BIO16. Arriba, gráficos de dispersión de valores observados <i>versus</i> estimados con su r ² correspondiente. Abajo, dispersión de valores residuales <i>versus</i> observados	90
II.27	Mapa bioclimático para las variables BIO1 y BIO16 con ubicación de los sitios que integran el <i>training set</i> , tanto clausuras como sistemas limnológicos.	91
II.28	Distribución vertical de los valores de abundancia relativa de los grupos taxonómicos empleados en la calibración, de los índices climáticos y de las variables bioclimáticas reconstruidas para Laguna de Peña (LP1-2).	92
II.29	Distribución vertical de los valores de abundancia relativa de los grupos taxonómicos empleados en la calibración, de los índices climáticos y de las variables bioclimáticas reconstruidas para Laguna Blanca (LBI1). Las líneas	95

	grises indican los valores actuales de referencia para la localidad de muestreo	
II.30	Distribución vertical de los valores de abundancia relativa de los grupos taxonómicos empleados en la calibración, de los índices climáticos y de las variables bioclimáticas reconstruidas para Laguna Negra (LN3).	97
II.31	Modelo de variación temporal de las variables bioclimáticas reconstruidas y de la relación de gramíneas C3:C4 para los últimos 2800 años, a partir de los registros integrados de Laguna de Peña y Laguna Blanca.	98
II.32	Distribución vertical de los valores obtenidos del análisis elemental e isotópico, junto a los índices de gramíneas C3:C4, SF:OSB y C:D para el registro de Laguna de Peña (LP1-2).	100
II.33	Distribución vertical de los valores obtenidos del análisis elemental e isotópico, junto a los índice de gramíneas C ₃ :C ₄ , SF:OSB y C:D para el testigo LBI1.	102
II.34	Distribución vertical de los valores obtenidos del análisis elemental e isotópico, junto a los índice de gramíneas C ₃ :C ₄ , SF:OSB y C:D para el sector superior del testigo LN3.	104
II.35	Modelo de variación temporal de la señal isotópica $\delta^{13}\text{C}$ y de la relación de gramíneas C ₃ :C ₄ para los tres sistemas estudiados.	106
II.36	Variación temporal de los valores normalizados de las variables bioclimáticas reconstruidas (A y B), del índice C3:C4 (C) y de la señal isotópica $\delta^{13}\text{C}$ (D) para los últimos 2500 años, en comparación con las oscilaciones de irradiación solar (E) para el mismo periodo en el hemisferio norte (Shapiro et al. 2011).	111

Capítulo III: Paleoetnobotánica y Subsistencia

III.1	Esquema de los ejes de simetría definidos y de las medidas tomadas sobre los morfotipos en forma de cruz	128
III.2	Imágenes ilustrativas de los morfotipos de cruces mayores a 16 micras relevados en el material comparativo.	134
III.3	Seriación obtenida a partir de las características morfométricas de los fitolitos en forma de cruz	135
III.4	Imágenes ilustrativas de la abundancia y características morfométricas de los fitolitos cruciformes observados en los intervalos 60-61, 66-67 y 71-71 del testigo LN3.	137
III.5	Mapa presentando la ubicación geográfica y el contexto ambiental y arqueológico de los sitios investigados, con imágenes ilustrativas de las intervenciones en los sitios CH2D01, Guardia del Monte y Cráneo Marcado	145
III.6	Representación de contexto estratigráfico, cronológico y arqueológico de los sedimentos y artefactos analizados del sitio CH2D01 Excavación B1.	152
III.7	Representación de contexto estratigráfico, cronológico y arqueológico de los sedimentos y artefactos analizados del sitio Guardia del Monte.	152
III.8	Representación del contexto estratigráfico, cronológico y arqueológico de los sedimentos y artefactos analizados del sitio Cráneo Marcado	154

III.9	Distribución vertical de abundancias relativas de los distintos morfotipos identificados en las muestras sedimentarias de CH2D01 B agrupados taxonómicamente	157
III.10	Distribución vertical de abundancias relativas de los grupos taxonómicos y de otras partículas biosilíceas identificados en el material sedimentario de CH2D01 B, junto a la zonificación resultante del <i>Stratigraphically Constrained Clustering</i> .	158
III.11	Imágenes ilustrativas de los principales tipos de partículas biosilíceas identificadas en el material sedimentario de CH2D01 B.	159
III.12	Distribución de abundancias relativas de morfotipos identificados en cara interna, externa y pasta del material cerámico de CH2D01 B.	162
III.13	Distribución de abundancias relativas de los grupos taxonómicos de fitolitos y otras partículas identificadas en cara interna, externa y pasta del material cerámico de CH2D01 B	163
III.14	Imágenes ilustrativas de las partículas características observadas en las extracciones efectuadas sobre material cerámico de CH2D01	165
III.15	Distribución vertical de abundancias relativas de los distintos morfotipos identificados en las muestras sedimentarias de Guardia del Monte A (Exc.I) agrupados taxonómicamente.	167
III.16	Distribución vertical de abundancias relativas de los grupos taxonómicos y de otras partículas biosilíceas identificados en el material sedimentario de Guardia del Monte A (Exc.I), junto a la zonificación resultante del <i>Stratigraphically Constrained Clustering</i> .	168
III.17	Distribución vertical de abundancias relativas de los distintos morfotipos identificados en las muestras sedimentarias de Guardia del Monte B (Exc.III) agrupados taxonómicamente	170
III.18	Distribución vertical de abundancias relativas de los grupos taxonómicos y de otras partículas biosilíceas en el material sedimentario de Guardia del Monte B (Exc.III), junto a la zonificación resultante del <i>Stratigraphically Constrained Clustering</i>	171
III.19	Imágenes representativas de las principales partículas identificadas en sedimentos de Guardia del Monte IA y IIB	172
III.20	Imágenes ilustrativas de las partículas observadas en la superficie activa de los materiales líticos analizados de Guardia del Monte IA	173
III.21	Distribución de abundancias relativas de los principales morfotipos (arriba) y grupos taxonómicos (debajo) identificados en las superficies activas e inactivas de los instrumentos líticos analizados de Guardia del Monte IA, así como en la matriz sedimentaria que los contenía.	174
III.22	Distribución vertical de abundancias relativas de morfotipos de fitolitos identificados en la secuencia sedimentaria de Cráneo Marcado IIA agrupados taxonómicamente.	176
III.23	Distribución vertical de abundancias relativas de los grupos taxonómicos y de otras partículas biosilíceas en el material sedimentario de Cráneo Marcado IIA, junto a la zonificación resultante del <i>Stratigraphically Constrained Clustering</i>	177

III.24	Distribución vertical de abundancias relativas de morfotipos de fitolitos identificados en la secuencia sedimentaria de Cráneo Marcado IIIB agrupados taxonómicamente	179
III.25	Distribución vertical de abundancias relativas de los grupos taxonómicos y de otras partículas biosilíceas en el material sedimentario de Cráneo Marcado IIIB, junto a la zonificación resultante del <i>Stratigraphically Constrained Clustering</i>	180
III.26	Imágenes ilustrativas de las principales partículas biosilíceas identificadas en sedimentos de Cráneo Marcado IIA y IIIB	181
III.27	Distribución de abundancias relativas de morfotipos identificados en cara interna, externa y pasta del material cerámico de Cráneo Marcado IIA y IIIB.	182
III.28	Distribución de abundancias relativas de los grupos taxonómicos de fitolitos y otras partículas identificadas en cara interna, externa y pasta del material cerámico de Cráneo Marcado IIA y IIIB	183
III.29	Imágenes ilustrativas de las partículas características observadas en las extracciones efectuadas sobre material cerámico de Cráneo Marcado IIA y IIIB.	186
III.30	Expresión temporal de los principales recursos identificados mediante análisis fitolítico en sedimentos y materiales de las estructuras CH2D01-B, Guardia del Monte A y B, Cráneo Marcado A y B.	192
III.31	Ubicación geográfica de los sitios de procedencia de las muestras óseas utilizadas para el análisis isotópico.	197
III.32	Gráficos de dispersión de valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en restos óseos humanos con línea de tendencia de regresión lineal.	201
III.33	Gráfico de dispersión y regresión lineal de valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ y $\delta^{13}\text{C}_{\text{ap}}$ en restos óseos humanos, sin considerar los individuos con fuerte señal de consumo de recursos marinos	202
III.34	Gráfico de representación proporcional de especies vegetales comestibles de la región de estudio (Tabla III.19), de acuerdo al mecanismo fotosintético reportado.	203
III.35	Gráfico de dispersión de valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las muestras óseas consideradas (Tablas III.17 y III.18) y en los vegetales cultivados de referencia.	207

Capítulo IV. Síntesis, Integración y Conclusiones

IV.1	Modelo de evolución ambiental e interacciones humano-ambientales para el Holoceno medio y tardío en el este de Uruguay.	215

Anexo I: Ilustración y Descripción de los Principales Morfotipos de Silicofitolitos

AI.1	Ilustración de los principales morfotipos de silicofitolitos identificados en la colección de referencia (Anexo II) y en los materiales analizados	257

Imágenes de portada y presentación de capítulos: arte urbano de Bansky (www.bansky.co.uk)

Índice de Tablas

Capítulo II: Análisis Paleoambiental

II.1	Listado de especies de especies de gramíneas analizadas con información taxonómica, sinonimia, centro de origen y mecanismo fotosintético.	38
II.2	Información de los sitios de exclusión y de las características edáficas de las distintas parcelas analizadas.	42
II.3	Valores de las variables bioclimáticas para los sitios de exclusión con parcelas analizadas.	44
II.4	Principales grupos taxonómicos de gramíneas y asociaciones de morfotipos características.	56
II.5	Autovalores de las funciones discriminantes canónicas	59
II.6	Resultados de clasificación del análisis discriminante entre grupos taxonómicos	59
II.7	Resultados de clasificación del Análisis Discriminante para especies C ₃ o C ₄	60
II.8	Correlaciones de Pearson entre abundancia relativa de grupos taxonómicos e índices y valores de las variables bioclimáticas	63
II.9	Principales formaciones vegetales de la zona costera del Sudeste del Uruguay.	69
II.10	Edad de los sedimentos según los intervalos fechados	72
II.11	Procedencia de las muestras utilizadas para el modelo de calibración fitolitos-clima	85
II.12	Correlación de Pearson entre valores reconstruidos de TMA y PEstH y la relación C ₃ :C ₄ para el registro integrado de LP1-2 y LBI	99
II.13	Correlaciones de Pearson entre valores $\delta^{13}\text{C}$ y C ₃ :C ₄ para sectores de los tres registros	107

Capítulo III: Paleoetnobotánica y Subsistencia

III.1	Listado de recursos vegetales identificados en contextos arqueológicos del este de Uruguay, con detalle de los restos recuperados, la cronología asignada y la fuente de referencia.	117
III.2	Especies de gramíneas con fitolitos cruciformes. Se incluye la relación de abundancias relativas y principales características morfométricas	130
III.3	Abundancia relativa y características morfométricas de los fitolitos cruciformes mayores a 14 micras registrados en el material comparativo	132
III.4	Abundancia relativa y características morfométricas de los fitolitos cruciformes mayores a 16 micras registrados en el material comparativo	133
III.5	Abundancia relativa y características morfométricas de los fitolitos en forma de cruz registrados en las exclusiones de pastoreo	136
III.6	Valores de abundancia relativa y características morfométricas de las cruces registradas en sedimentos del testigo LN3	137
III.7	Principales recursos identificados mediante análisis fitolíticos en sitios arqueológicos de distintas zonas del Uruguay	141

III.8	Procedencia de los sedimentos analizados del sitio CH2D01	151
III.9	Procedencia de los sedimentos analizados del sitio Guardia del Monte	153
III.10	Procedencia de los sedimentos analizados del sitio Cráneo Marcado	154
III.11	Procedencia de los materiales cerámicos y líticos sobre los que se efectuaron análisis biosilíceos	155
III.12	Características morfométricas de los fitolitos tetralobados atribuidos a hoja de <i>Zea mays</i> relevados en el material sedimentario de CH2D01 B	161
III.13	Características morfométricas de los fitolitos subglobulares fascetados atribuibles a Cucurbitaceae identificados en muestras del sitio CH2D01 B.	166
III.14	Características morfométricas de los fitolitos tetralobados identificados como pertenecientes a <i>Zea mays</i> en muestras sedimentarias de Guardia del Monte IIIB	172
III.15	Características morfométricas de los fitolitos subglobulares facetadas atribuibles a <i>Cucurbitaceae</i> identificados en muestras del sitio Guardia del Monte.	175
III.16	Características morfométricas de los fitolitos subglobulares facetados atribuibles a Cucurbitaceae identificados en muestras sedimentarias y material cerámico de Cráneo Marcado IIA y IIIB.	185
III.17	Valores isotópicos en restos óseos humanos del este de Uruguay	200
III.18	Valores isotópicos en restos óseos faunísticos de contextos arqueológicos del este de Uruguay.	201
III.19	Listado de especies vegetales comestibles encontradas en el este del Uruguay, con indicación de su mecanismo fotosintético	203
III.20	Valores isotópicos de referencia para especies cultivadas presentes en el registro arqueológico regional	206

Capítulo IV: Síntesis, Integración y Conclusiones

IV.1	Síntesis de los principales resultados obtenidos en el análisis paleoclimático y paleoeconómico	212

Anexo I: Ilustración y Descripción de los Principales Morfotipos de Silicofitolitos

AI.1	Descriptores de los morfotipos de silicofitolitos	258

LISTA DE ABREVIATURAS

- a¹⁴C AP: Años antes del presente radiocarbónico (1950).
a Cal.: Años calibrados (calendario)
AC: Antes de Cristo
ACP: Análisis de Componentes Principales
AD: Años Domini (años después de Cristo)
C₃: Mecanismo fotosintético conocido como Ciclo de Calvin.
C₄: Mecanismo fotosintético conocido como Ruta de Hatch-Slack o de las plantas C4.
CAM: Mecanismo fotosintético conocido *Crassulacean Acidic Metabolism*.
CATNAS: Centro de Aplicaciones de Tecnología Nuclear en Agricultura Sostenible
C:D: Relación cistos de crisofitas/valvas de diatomeas
CM: Sítio Arqueológico Cráneo Marcado
C/N: Relación carbono:nitrógeno
CT: Carbono total
D:P: Relación dicotiledóneas/poáceas
GM: Sitio arqueológico Guardia del Monte
ICPN: International Code for Phytoliths Nomenclature
IH: Índice de Humedad
IT: Índice de Temperatura
MO: Materia orgánica
msnma: metros sobre el nivel del mar actual
Nop: Número óptimo de observaciones
PCM: Período Cálido Medieval
PEH: Pequeña Edad del Hielo
PEstH: Precipitación en la estación húmeda
PRONAPA: Programa Nacional de Pesquisas Arqueológicas
SCD: Squared Chord Distance
SF:OSB: Relación entre el contenido de silicofitolitos y otras partículas biosilíceas
SIRFER: Stable Isotope Ratio Facility for Environmental Research
TAM: Técnica del Análogo Moderno
TMA: Temperatura Media Anual
TN: Nitrógeno total
TOC: Carbono orgánico total

TPI: Terras Pretas do Indio

UL: Unidad litológica

Vc: Valor crítico

ZAS: Zona de Asociación de Silicofitolitos

^{14}C : Carbono 14

^{10}Be : Berilio 10

$\delta^{13}\text{C}$: relación entre los isótopos de carbono $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

$\delta^{15}\text{N}$: relación entre los isótopos de nitrógeno $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$

Resumen

Esta tesis propone profundizar en el conocimiento de los procesos pre y protohistóricos de interrelación humano-ambiental en la región este del Uruguay, contribuyendo así a comprender la heterogeneidad de los paisajes de la región y a reconstruir la relación histórica entre diversidad biológica y cultural. Para ello, bajo el marco conceptual de la Ecología Humana se combinaron aproximaciones desde las perspectivas de la Reconstrucción Paleoambiental y de la Ecología Histórica, haciendo énfasis en los cambios temporales en la interrelación humano-ambiental: cambios en la sociedad, cambios en la tecnología, cambios en el ambiente (tanto naturales como inducidos por el Hombre).

Partiendo de la hipótesis de que los cambios climáticos acaecidos durante el Holoceno tardío en el este de Uruguay impulsaron modificaciones en las estrategias de subsistencia y modos de producción de alimentos de los grupos humanos constructores de cerritos, que redundaron en modificaciones en el ambiente discernibles en el registro arqueológico y paleoambiental, se plantaron los siguientes objetivos: 1) Objetivo general: generar un modelo detallado de la dinámica humano-ambiental durante el Holoceno tardío en el este del Uruguay, reconstruyendo las variaciones climáticas y su vinculación con cambios en las prácticas prehistóricas de manejo del medio y los recursos naturales, con énfasis en los sistemas de subsistencia y en la producción de alimentos; 2) Objetivos específicos: a. Reconstruir el entorno biofísico con el que actuaron las poblaciones prehistóricas y los cambios climáticos y ambientales acaecidos durante el Holoceno tardío en la región; b. Evaluar cuantitativamente los cambios climáticos holocenos, mediante la elaboración de sets de calibración para los indicadores paleobotánicos considerados y de la intercalibración con indicadores independientes; c. Identificar estrategias de aprovisionamiento y uso de recursos vegetales por parte de las poblaciones prehistóricas del sudeste del Uruguay, con énfasis en los sistemas de producción de alimentos; d. Caracterizar la dieta de las poblaciones prehistóricas durante el Holoceno tardío; y e. Identificar variaciones temporales en las prácticas del manejo del medio y los recursos, pasibles de ser correlacionadas con cambios ambientales.

Para dar cumplimiento a estos objetivos se diseñó una estrategia a dos vías, que se basó en el desarrollo de análisis paleoetnobotánicos y geoquímicos sobre registros paleolimnológicos y arqueológicos, como forma de abordar los cambios ambientales – tanto naturales como antrópicos – y su impacto recíproco sobre la configuración y dinámica humano-ambiental. En ambos tipos de registros – paleolimnológicos y arqueológicos – se analizaron los mismos

indicadores, haciendo especial hincapié en el análisis de silicofitolitos e isótopos estables como fuentes de información complementarias para evaluar los cambios en la vegetación (vinculables a cambios climáticos) y en los sistemas prehistóricos de subsistencia. En ambas esferas, a su vez, la estrategia de investigación se estructuró en tres etapas secuenciales que comprendieron: 1) estudios sobre materiales actuales para reforzar el carácter de los fitolitos como indicadores paleoambientales y paleoetnobotánicos; 2) aplicación del análisis fitolítico a registros paleolimnológicos y arqueológicos con mayor resolución para el Holoceno tardío; y 3) contrastación/calibración de la información aportada por los fitolitos mediante análisis isotópicos.

Los resultados obtenidos de los estudios comparativos sobre material vegetal de referencia permitieron profundizar en el conocimiento de la producción de silicofitolitos en gramíneas y otras especies de interés ambiental y arqueológico. A partir de análisis multivariados y morfométricos, se ratificó que los morfotipos definidos permiten identificar y discriminar grupos taxonómicos a distintos niveles, desde subfamilia hasta tribu y especie, como el caso del maíz. Trascendiendo la asignación taxonómica, el análisis discriminante mostró que los morfotipos correspondientes a células cortas de gramíneas permiten identificar el mecanismo fotosintético C_3 o C_4 de las especies parentales, siendo esta información de gran relevancia para las reconstrucciones paleoambientales. En este mismo sentido, el análisis de fitolitos en sedimentos actuales a lo largo de gradientes ambientales demostró la sensibilidad climática de las gramíneas en general y de los silicofitolitos en particular, estableciéndose correlaciones estadísticamente significativas entre grupos taxonómicos y funcionales y variables bioclimáticas relevantes para estudios paleoecológicos. Una vez establecidas las bases comparativas actuales, la aplicación del análisis fitolítico al registro subfósil permitió aumentar la resolución de los modelos paleoclimáticos y paleoeconómicos para el Holoceno tardío en la región. En este sentido, el análisis de nuevos registros paleolimnológicos aportó nuevas evidencias del carácter global de ciertos cambios climáticos del Holoceno tardío, como aquellos asignables a la Pequeña Edad de Hielo. De igual forma, la aplicación de análisis fitolíticos a materiales arqueológicos procedentes de cerritos de indios, aportó nueva información en relación a las formas de obtención, procesamiento y consumo de recursos vegetales, tanto silvestres como cultivados. Finalmente, los ensayos de calibración y contrastación de la información aportada por los fitolitos no solo ratificaron los resultados obtenidos sino que otorgaron mayor confiabilidad a las reconstrucciones generadas.

A partir del análisis integrado de la información generada y de los antecedentes existentes para la región, se generó un modelo que integra la siguiente secuencia desde el Holoceno medio:

6000-5000 a¹⁴CAP: *Optimum Climaticum* y máximo transgresivo del Holoceno. Reducción del territorio disponible y constricción de los humedales a las planicies de cotas altas. Comienza la construcción de túmulos en tierra (cerritos de indios) en la zona de India Muerta, conllevando la generación de suelos antrópicos, mesorelieves y parches ambientales.

5000-3000 a¹⁴CAP: el mar comenzó a descender, pero el nivel aún alto junto a condiciones sub-húmedas hicieron que los constructores de cerritos se mantuvieran en las serranías y planicies altas. Entre el 4000 y 3000 se evidenció una intensificación de las ocupaciones humanas costeras y en la explotación de recursos marinos, junto a los primeros indicios de producción vegetal.

3000-200 a¹⁴CAP: el clima comenzó a estabilizarse, instaurándose condiciones similares a las actuales hacia el 2000 a¹⁴C AP. Con el retroceso del nivel del mar y el incremento en las precipitaciones se generaron los bañados dulces de cota baja y las lagunas costeras, dando lugar a la expansión de la práctica de construcción de túmulos a las planicies bajas próximas a la Laguna Merín. Entre circa 1500-1000 a¹⁴C AP tuvo lugar el Periodo Cálido Medieval. La estimación cuantitativa indica que en el este de Uruguay la temperatura media anual alcanzó los 18°C (1,5°C superior a la actual) hacia el 1000 AD, mientras que la precipitación durante la estación húmeda habría superado los 325 mm. Culturalmente, durante este periodo tuvo lugar la llegada de contingentes guaraníes, al tiempo que se evidencia un incremento en las prácticas productivas (estructuras y tecnología productivas) y en el consumo de recursos cultivados.

Hacia el 700 a¹⁴C AP ocurrió un brusco descenso en la temperatura y las precipitaciones que, de acuerdo a las variables climáticas reconstruidas, implicó un descenso de al menos 3°C en la TMA y una caída de 50 mm en las precipitaciones de la estación húmeda. Estas condiciones se habrían extendido por casi un siglo y dieron inicio al último sector del Holoceno, que se caracterizó por una importante variabilidad climática. Entre el 1400 y 1650 AD el clima habría mantenido condiciones similares a las actuales, escenario en el que se produjo el arribo de las primeras expediciones europeas en el territorio y los primeros contactos con los grupos. Los datos arqueobotánicos, arqueofaunísticos y los valores isotópicos sobre restos óseos humanos son consistentes con consumo moderado de maíz junto a recursos animales y vegetales silvestres para ese momento y hasta mediados del siglo XVII (400 a 14C AP). A partir de

entonces, con la rápida expansión del ganado vacuno y equino, comenzó la exploración y colonización efectiva del territorio y la rápida transformación de las culturas indígenas que lo habitaban. A partir de la segunda mitad del siglo XVII se comenzó a registrar una nueva disminución de la temperatura y una mayor variabilidad en las precipitaciones. Estas condiciones, que se extendieron cerca de un siglo (~1650 – 1750 a Cal. AD) constituyeron el inicio de la Pequeña Edad de Hielo. El registro arqueológico de los cerritos de indios no permite establecer una continuidad efectiva en la construcción/ocupación de los túmulos para este periodo. Para la primera mitad del siglo XIX (1800-1850 a Cal. AD) se registró un nuevo periodo de descenso de la temperatura y las precipitaciones. Para entonces, las tierras bajas del este de Uruguay continuaban poco pobladas, pero ahora con “indios civilizados”, criollos y algunos bastiones coloniales.

En relación a la hipótesis de trabajo se concluye que los cambios climáticos y ambientales del Holoceno tardío fueron significativos a escala de los ecosistemas, incluyendo a las poblaciones humanas como parte integral de los mismos. Estas mantuvieron una ductilidad suficiente como para ajustar sus estrategias ante los cambios del ambiente, tanto físicos como sociales. Dicha flexibilidad se ve reflejada en los patrones de asentamiento (ej. selección de lugares de habitación, movilidad estacional), en las estrategias de explotación de recursos (caza, pesca, recolección, manejo y producción de alimentos) así como en innovaciones tecnológicas vinculadas. Incluyen no solo los cambios acaecidos durante la prehistoria, sino también en la protohistoria e historia temprana de la región. Muchas de estas estrategias implicaron también modificaciones en el ambiente a distintos niveles. Las más evidentes están representadas por la construcción de túmulos, práctica que tuvo inicio en el Holoceno medio. Durante el Holoceno tardío, no obstante, esta práctica se extendió a nivel regional, tanto hacia nuevos sectores de la cuenca de Laguna Merín como a tierras bajas del noreste uruguayo, del litoral del Río Uruguay y del Delta del Río Paraná. Esto denota una intensificación en las relaciones humano-ambientales, cuyas consecuencias que se extienden hasta la actualidad reforzando el fuerte vínculo entre diversidad biológica y cultural. Dicha intensificación también quedó manifiesta en relación a innovaciones tecnológicas en los sistemas de producción de alimentos durante los últimos 1500 años. Si bien la producción de alimentos no se constituyó en la base de la subsistencia, el desarrollo de sistemas agrícolas, con prácticas y tecnologías especializadas, implica un cambio importante en la interrelación del ser humano con el entorno vegetal. Junto a los cambios del clima también existieron conflictos sociales y culturales que los favorecieron o potenciaron e implicaron modificaciones en las prácticas de subsistencia y en el ambiente, principalmente para el último milenio. Ejemplo de ello es el

arribo de grupos guaraníes durante el PCM y su posible vinculación con la intensificación de los sistemas productivos. Pero fue sin dudas la llegada de contingentes europeos, con la introducción de equinos y vacunos y la consecuente transformación de los sistemas culturales y productivos, el mayor factor de impacto (por intensidad y duración) sobre los sistemas humano-ambientales de la región.

I. Introducción

I.1 Fundamentación
y Marco Conceptual

I.2 Antecedentes

I.3 Hipótesis y
Objetivos

I.4 Estrategia de
Investigación



I.1 Fundamentación y Marco Conceptual

Comprender la dinámica ambiental y sus interacciones con las sociedades humanas es uno de los mayores desafíos científicos del siglo XXI, así como uno de los temas principales de la agenda política, ética y económica de pueblos y gobiernos de la mayor parte del mundo industrializado. La creciente degradación ambiental, producto de la expansión tecnológica y económica, junto a los procesos de globalización e intensificación de las relaciones sociales a nivel mundial, están generando cambios junto a nuevos desafíos en la relación naturaleza-sociedad que trascienden las fronteras culturales y políticas: búsqueda de modos de subsistencia sustentables, desafíos de las nuevas tecnologías reproductivas y biotecnologías aplicadas a la salud humana, creciente mercantilización de la biosfera y de los bienes ambientales, discusión del estatus de los conocimientos tradicionales y de las técnicas de manejo de recursos, fundamentación ideológica de los movimientos conservacionistas, cuestionamientos sobre el rol de los conceptos de naturaleza, ambiente y recursos naturales dentro del modelo tradicional y modernista de progreso (ej. Gudynas 2011, 2004; Descola y Pálsson 2001; Milton 1997).

Asimismo, cada vez existe mayor comprensión del carácter sistémico, interconectado e interdependiente de los problemas ambientales (Ulloa 2011; Capra 2002) y de que las relaciones humano-ambientales son multidimensionales y complejas: los ecosistemas cambian naturalmente y como consecuencia de la intervención humana, al tiempo que, en respuesta a estos cambios, las sociedades humanas ajustan su comportamiento afectando los ecosistemas. Entender cabalmente este *feedback* es uno de los retos principales de la ciencia, a los efectos de diseñar estrategias que contribuyan a una interacción sustentable entre sociedad y naturaleza (Scheffer et al. 2002).

Los componentes sociales y ecológicos de esta interacción cuentan con una larga historia de investigaciones científicas disciplinares, independientes y fragmentarias, con sus propias teorías y métodos. Pero para comprender cómo esos componentes interactúan y se afectan mutuamente es preciso contemplar causas, procesos e interrelaciones, integrándolos en un marco común y abordando su estudio como sistemas complejos (Westley et al. 2002; Capra 1996). En esta línea conceptual, cada vez es más aceptado el carácter no universal de la dicotomía naturaleza-cultura (o ambiente-sociedad), al tiempo de reconocerse que la naturaleza es una construcción social con implicaciones políticas y que las conceptualizaciones del ambiente son producto de contextos históricos y especificidades culturales en continuo cambio (ej. Ulloa 2011; Escobar 2005, Gudynas 2004,).

El abordaje de las relaciones humano-ambientales exige, por tanto, una revisión de las fronteras disciplinares entre las ciencias sociales y naturales, para alcanzar una visión integral y sistémica donde ninguno de los componentes del par naturaleza-cultura someta al otro (Descola 2011, 2004; Ingold 2000). Esto implica ir más allá del simple intercambio de conceptos y terminologías (Descola y Pálsson 2001). Se trata de un cambio de paradigma, tanto en la ciencia como en el contexto social (Capra 1996), que permita una percepción sistémica y relacional, donde se reconozca la interdependencia fundamental de los fenómenos y la inclusión activa, como individuos y como sociedad, en los procesos de la naturaleza (ej. Ingold 2000, 1996; Leff 1998). Ello conlleva un cambio sustancial en la concepción del medio, moviéndose desde lo externo que nos rodea hacia el producto de un proceso de co-construcción, donde las cosas no son, por oposición, ni “naturalmente dadas” ni “culturalmente construidas” (Ingold 2000). Este cambio de paradigma no es tarea simple ya que, además de implicar aspectos políticos y económicos, enfrenta epistemologías contrastantes que reflejan, en última instancia, suposiciones ontológicas acerca del mundo (ej. Escobar 2011; Capra 2002).

Dentro de estos replanteamientos y tendencias, Ulloa (2011:30) identifica tres ejes analíticos de actual desarrollo en Latinoamérica: 1) discusión de la noción misma de naturaleza y las diversas maneras de concebir lo natural (Descola 2011, 2004, 1993, 1988; Ulloa, 2004; Viveiros de Castro 2004, 1996; Århem 1993, entre otros); 2) aspectos políticos y relaciones de poder establecidas entre nociones y prácticas hegemónicas: movimientos sociales, justicia ambiental, manejos ambientales bajo políticas globales y desarrollo sostenible, colonialidad de la naturaleza (Escobar 2011, 2005, 1999; Gudynas 2011, 2004; Ulloa 2004); 3) biotecnologías y procesos de hibridación que ponen en jaque las fronteras de lo natural y lo humano, más allá de las conceptualizaciones culturales de lo natural (Escobar 2011; Latour 2007; Leff 1998).

La dimensión temporal también se ha constituido en un enfoque emergente bajo estas nuevas premisas, permitiendo nuevas perspectivas de análisis que ponen énfasis en los procesos históricos de interrelación de los humanos con el entorno (Ulloa 2011; Balée 2006), bajo el entendido de que *“La historia humana es el producto continuo de diferentes modos de relaciones humano-ambientales”* (Descola y Pálsson 2001:26). En este marco, enfoques como los del programa de investigación de la Ecología Histórica (Balée 2006, Balée y Erickson 2006b) hacen énfasis en las interacciones humano-ambientales a través del tiempo y en las consecuencias de estas interacciones para comprender la formación de culturas y paisajes, tanto contemporáneos como pasados. El paisaje es precisamente comprendido como producto de estos procesos históricos, donde las interacciones tienen lugar en distintas dimensiones temporales: eventos, ciclos y procesos de larga duración (Balée 2006).

Desde el punto de vista de la ciencia aplicada, contar con una perspectiva diacrónica permite crear una línea de base para dimensionar mejor la magnitud de los cambios en curso y de sus posibles consecuencias, la variabilidad propia de los sistemas socio-ambientales y su capacidad de respuesta (Anderson *et al.* 2007; Leroy 2006). Sólo estudios que cubran largos períodos temporales, a la vez que diversos sistemas culturales, pueden ampliar el panorama de los escenarios posibles. La información de mediano y largo plazo incrementa la capacidad de diseñar respuestas futuras y de modificar en consecuencia el accionar presente (Olfield y Alverson, 2003).

En este contexto, varias décadas de investigación arqueológica y paleoambiental en el sudeste del Uruguay aportan un encuadre sólido para un abordaje integrado que, desde su diseño y planificación, aborde la interrelación cultura-medio ambiente bajo el paraguas teórico de la Ecología Humana (Schutkowski 2006; Lawrence 2003; Marten 2001). La referencia del “paraguas teórico” alude a que no existe un consenso respecto al significado del término “Ecología Humana”, habiéndose propuesto como ciencia, disciplina, filosofía, punto de vista y aproximación a un problema dado en variadas disciplinas como la antropología, ecología, geografía psicología y sociología (Lawrence 2003). Siguiendo a Miller *et al.* (2003), puede concebirse como un campo relacional, multidisciplinario y multiprofesional que concibe a los humanos y sus ambientes como un todo integrado, mutuamente influenciado y que se caracteriza por cinco rasgos principales: 1) perspectivas contextuales que enfatizan la reciprocidad y los sistemas o patrones relacionales; 2) énfasis en que la unidad clave del análisis científico es la relación temporalmente cambiante entre los humanos y sus múltiples ambientes; 3) desarrollo de teorías relativas al funcionamiento del ambiente en tanto sistema socio-cultural, tecnológico y físico-biológico; 4) desarrollo de metodologías apropiadas que incluyen una combinación de métodos cuantitativos y técnicas cualitativas; 5) comprensión de la relación mutuamente enriquecedora entre investigación básica y aplicada, para identificar medios de mejorar el curso de la vida humana y de los cambios ambientales.

Este encuadre es muy amplio, comprendiendo numerosos desarrollos teóricos que actúan en distintos frentes y a niveles muy diversos: desde enfoques particulares sobre las economías de subsistencia hasta abordajes globales de ecología política y conservación. Tienen en común el interés por el estudio de las sociedades humanas y sus relaciones recíprocas con las características y propiedades del ambiente, sin perder de vista que dichas interacciones están definidas por el carácter biocultural de las poblaciones humanas. Esto significa que gran parte de las respuestas ante coerciones ecológicas se basa en estrategias de supervivencia culturalmente codificadas, que se transmiten, cambian y se amplían a través de las generaciones (Schutkowski 2006). Dentro de este dinamismo, los humanos no solo reaccionan con respuestas culturales a

cambios en sus hábitats, sino que a su vez transforman el ambiente a través de estrategias organizadas socio-culturalmente (Schutkowski 2006; Boyden 2003; Marten 2001). Bajo estas premisas, la sociedad y el ambiente (o la cultura y la naturaleza) son concebidos como un fenómeno único, “dialécticamente estructurado e históricamente determinado” (Patterson 1994:230). Su estudio requiere, necesariamente, de un abordaje interdisciplinario y de unidades de análisis comprensivas temporal y espacialmente.

Este enfoque constituye, a su vez, una herramienta fundamental para el desarrollo de una Gestión Integrada del Paisaje en las tierras bajas del sudeste del Uruguay, comprendidas dentro de la Reserva de Biosfera Bañados del Este (ej. López Mazz 2008; Gianotti 2005). Los estándares actuales de Gestión Ambiental respaldan un abordaje integral, entendiendo que la historia ambiental es indisociable de la social y que la diversidad biológica y la diversidad cultural están estrechamente vinculadas (ej. Maffi 2001; UNESCO 1996). En este sentido, las Tierras Bajas de América del Sur han sido escenario de experiencias singulares de manejo ambiental desde la prehistoria, constituyendo ricos testimonios sobre la biodiversidad del territorio, así como de la diversidad cultural constitutiva de este continente (por ejemplo, Bonomo et al. 2011; Erickson 2010; López Mazz 2008; Balée y Erickson 2006).

Bajo este marco general, esta tesis busca profundizar en el conocimiento de las interrelaciones humano-ambientales en la prehistoria de las Tierras Bajas del este del Uruguay, contribuyendo a la generación de un modelo regional para las Tierras Bajas Sudamericanas. Para ello, dentro del campo general de la Ecología Humana se combinan aproximaciones desde las perspectivas de la Reconstrucción Paleoambiental y de la Ecología Histórica, concibiendo al paisaje como el producto de procesos de interacción de las sociedades humanas con la biósfera y como unidad de estudio multiescalar, diacrónica y holística donde naturaleza y cultura pueden verse como una totalidad (Balée y Erickson 2006; Denevan 2006). El abordaje integrado permite deconstruir esos paisajes en sus componentes biológicos, físicos y culturales, para reconstruir finalmente los procesos de interacción que les han dado origen.

El enfoque propuesto enfatiza los cambios temporales en la interrelación humano-ambiental: cambios en la sociedad, cambios en la tecnología, cambios en el ambiente (tanto naturales como inducidos por el Hombre) y los consecuentes cambios en las interacciones involucradas, contribuyendo así a comprender la heterogeneidad de los paisajes de la región y a reconstruir la relación histórica entre diversidad biológica y cultural (ej. Maffi 2007, 2001).

I.2 Antecedentes

El Holoceno es la época del crecimiento y complejización de las sociedades humanas, con la consecuente intensificación de la intervención sobre los ambientes circundantes que, en última instancia, ha derivado en la crisis ambiental moderna y en la definición del Antropoceno (Anderson et al. 2007). Si bien este periodo no se caracterizó por las fluctuaciones climáticas extremas del Pleistoceno, existen registros de una significativa variabilidad climática que, junto a la intervención antrópica sobre el medio, debió modelar los ambientes a distintas escalas espacio-temporales.

Ciclos climáticos de aproximadamente 2500 y 1500 años se hallan bien registrados en la literatura mundial (Dansgaard et al. 1984). Gran parte de estos cambios puede vincularse a la dinámica glacial, como lo indican ejemplos modernos de retroceso glacial vinculados con cambios climáticos para el último siglo (IPCC 2007). Avances glaciares tuvieron lugar durante el Holoceno, circa 9000–8000, 6000–5000, 4200–3800, 3500–2500, 1200–1000 y 600 años cal. AP., coincidiendo con rápidos cambios climáticos evidenciados en registros *proxies* de todo el mundo (Mayewski et al. 2004). La variabilidad climática a escala de siglos y milenios es consecuencia del balance dinámico entre los componentes del sistema climático (ciclos hidrológicos, temperatura oceánica, gases invernaderos, etc), determinados en última instancia por la actividad solar como principal mecanismo forzante del clima del Holoceno (Shapiro et al. 2011; Bond et al., 2001; Mayewski et al., 1997), superpuesta a los cambios de insolación a mayor escala producto de variaciones en los parámetros orbitales terrestres (ej. ciclos de Milankovich; Gornitz 2009).

Si bien el Holoceno tardío es el periodo de progresiva estabilización del clima hacia las condiciones actuales, el análisis de datos históricos sugiere una fuerte correlación entre la actividad solar y variaciones climáticas naturales a escala secular. Información sobre el número de manchas solares disponible desde 1610 AD, ha permitido la reconstrucción del ciclo completo de variabilidad solar a escala anual para los últimos 400 años (Figura I.1). Esta reconstrucción muestra claramente el enfriamiento del clima durante los mínimos de irradiación solar conocidos como Maunder (1650-1700 AD) y Dalton (1800-1820), así como el calentamiento del clima vinculado al aumento en la actividad solar en la primera mitad del siglo XX (Shapiro et al. 2011; Gray et al. 2010). Al mismo tiempo, análisis ^{10}Be en registros de testigos de hielo de Groenlandia han permitido reconstruir la variación solar para los últimos 2500 años (Figura I.1).

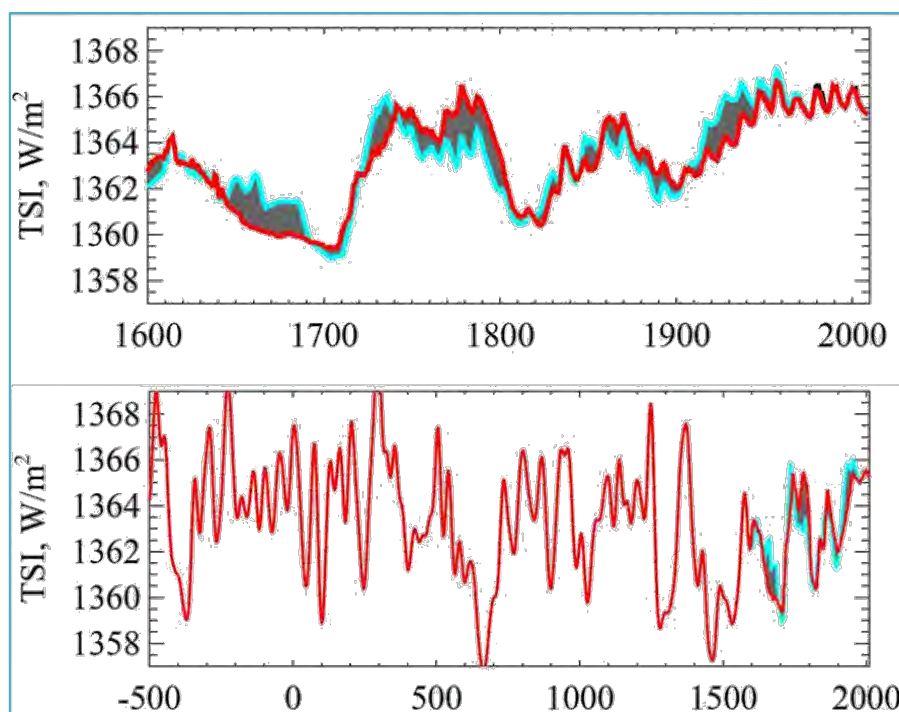


Figura 1.1. Reconstrucción de la Irradiación Solar Total para los últimos 400 (arriba) y 2500 años (abajo). Fuente: Shapiro et al. (2011).

Estas variaciones en la actividad solar se correlacionan en gran medida con cambios climáticos inferidos a partir de distintos *proxies* y registros históricos parciales. Para el subcontinente americano, en particular, para el último milenio se han registrado dos eventos climáticos principales, de carácter global, que habrían tenido marcada influencia en la biota y en el desarrollo de las sociedades humanas. Estos dos eventos fueron el Periodo Cálido Medieval (PCM), con establecimiento de condiciones más cálidas y húmedas, y la Pequeña Edad de Hielo (PEH), caracterizada por condiciones más frías y secas que las actuales (ej., Piovano et al. 2009; Deschamps et al. 2003; Politis 1984). Ambos periodos se encuentran bien representados en la Patagonia, a través de registros dendrocronológicos, paleolimnológicos, glaciares y arqueológicos (ej. Moy et al. 2008; Mayr et al. 2007; Favier Dubois 2002; Luckman y Villalba 2001). Para las planicies pampeanas los registros de alta resolución son escasos, aunque consistentes con la existencia de un periodo cálido y húmedo asignable al PCM entre 1400 y 800 años AP (ej. Piovano et al. 2009; Politis y Pedrotta 2006; Iriondo, 1999; Toni y Politis 1980) y un periodo con condiciones más frías y secas entre el siglo XVII y mediados del siglo XIX, correspondiente a la PEH (ej. Piovano et al. 2009, 2002; Martínez et al. 2000; Iriondo 1999; Politis 1984).

El primer evento (PCM) se ha asociado con condiciones más favorables para la expansión de las ocupaciones humanas, el desarrollo de estrategias de subsistencia mixtas (caza-recolección y

cultivo) y de sociedades cazadoras-recolectoras complejas en áreas de la región pampeana (ej., Mazzanti y Quintana 2010; Mazzanti 2006; Martínez et al. 2004; Cioccale 1999; Laguens y Bonnin 1987). En contraposición, el registro arqueológico evidencia una crisis generalizada de los sistemas indígenas de subsistencia hacia los siglos XV y XVI, con mayor movilidad y escaso desarrollo de prácticas agrícolas en ambientes caracterizados por sequías extensas. Esta crisis se vio coronada con la conquista y colonización europea a partir del siglo XVI (Mazzanti y Quintana 2010; Laguens y Bonnin 1987).

Estos registros demuestran que el clima holoceno, incluso durante el Holoceno tardío, ha sido dinámico a escalas significativas para los ecosistemas y particularmente para los grupos humanos. Sin pretensiones de establecer correlaciones directas, principalmente porque las respuestas culturales pueden ser muy diversas, esta variabilidad climática debió afectar en algún grado a las poblaciones prehistóricas que ocuparon la región este del Uruguay y a las decisiones respecto al uso y manejo del medio y los recursos. Las estrategias desarrolladas por estas poblaciones, superpuestas a la variabilidad natural de los ecosistemas contribuyeron a modelar el actual paisaje de las tierras bajas, que es finalmente el producto de la interrelación dialéctica entre naturaleza y cultura.

I.2.1 Principales abordajes de las interrelaciones humano-ambientales en la prehistoria de las tierras bajas sudamericanas

El abordaje de las relaciones entre el medio biofísico y las sociedades humanas ha seguido el devenir de los avances teóricos y de los paradigmas imperantes en la ciencia y la sociedad en general. Las tierras bajas sudamericanas, con su fuerte impronta biofísica, constituyen un buen ejemplo de este devenir y de los matices que la relación naturaleza-cultura fue adquiriendo en el proceso.

Las conceptualizaciones sobre la naturaleza y las relaciones humano-ambientales que han dominado – y aún dominan – en los ámbitos académicos sudamericanos, tienen raíces europeas y fuerte influencia posterior norteamericana. Los primeros cronistas y conquistadores inauguraron una visión fuertemente evolucionista que fue mantenida y ampliada por los estudiosos pre-académicos posteriores y que aún se manifiesta, aunque bajo otras formas, en algunos enfoques actuales. Bajo esta perspectiva, la naturaleza se concibió como aquello “salvaje” y peligroso que debía ser dominado, extendiendo el concepto a los pueblos originarios que ocupaban el territorio (Gudynas 2004; Cabrera 1992). Es así que, desde la colonia, los

esfuerzos se volcaron a domesticar los ambientes y las culturas mediante el cultivo de las tierras, la desecación de humedales, la introducción de especies exóticas y hasta el fomento para la inmigración de europeos que ayudara a “civilizar” a la población indígena y criolla (Gudynas 2004; Verdesio 2002). En una visión fuertemente dicotómica, naturaleza y cultura fueron concebidos como polos tensionales y organizacionales para clasificar las sociedades humanas y para contraponer un estado de “barbarie” a uno de “civilización”, un estado natural primitivo o salvaje que, bajo esta concepción, fue vencido por la “conquista” europea (Cabrera 2005, 1992).

Las culturas indígenas que ocuparon las tierras bajas fueron rápidamente ubicadas en el extremo inicial del eje naturaleza-cultura, clasificadas en el lado salvaje y consideradas, por ende, fuertemente influenciadas por las condiciones biofísicas del medio. El determinismo ambiental – cuya idea central es que los factores medioambientales determinan las manifestaciones humanas sociales y culturales – se constituyó, en consecuencia, en el lente mediante el cual se procuró caracterizar e interpretar las manifestaciones socioculturales de este territorio. Al ser las tierras bajas consideradas como zonas improductivas y limitantes para el desarrollo socioeconómico, las culturas que las ocuparon fueron consideradas marginales, herederas por difusión de algunas características más “avanzadas” a partir de áreas linderas (Meggers 1971; Steward 1948, 1946).

Esta combinación de evolucionismo, difusionismo y un fuerte determinismo ambiental fue materializada por la Escuela Histórico Cultural en su propuesta de áreas culturales basada en regiones geográficas a gran escala con características ambientales y culturales similares, particularmente en aspectos tecno-económicos. Esta escuela tuvo fuerte desarrollo en Brasil, llevando adelante el Programa Nacional de Pesquisas Arqueológicas (PRONAPA) que, si bien se extendió hasta el sur de Brasil y Este de Uruguay, tuvo especial impacto en las investigaciones de las tierras bajas amazónicas (Meggers y Evans 1957). Desde que Steward – padre de la Ecología Cultural – etiquetó a las poblaciones indígenas amazónicas como “cultura de la floresta tropical” (Steward 1948) el desarrollo cultural de dicha región fue explicado principalmente en base a las condiciones ecológicas y sus implicaciones se generalizaron a todas las tierras bajas sudamericanas, incluyendo las de regiones no tropicales (Barreto 2005). Entre los principales conceptos vinculados a las relaciones humano-ambientales que presenta el modelo, se destaca la vinculación entre el “bajo desarrollo socio-cultural” de las poblaciones indígenas con la ausencia de suelos fértiles para la agricultura y la escasez de proteína animal (Meggers 1971, 1954). Estos factores, aunados a la uniformidad del ambiente a través de la región, serían los responsables del desarrollo de poblaciones organizadas en grupos pequeños, autónomos y semi-sedentarios. Un entorno uniforme, con recursos distribuidos equitativamente, desalentaría cualquier forma de competencia, especialización económica y estratificación, mientras que la

baja capacidad de carga (escasez de proteínas y suelos no aptos para la agricultura) funcionaría como factor inhibidor de sistemas más formales de control social y político (Barreto 2005). Las evidencias arqueológicas de sociedades más complejas en la cuenca del Amazonas fueron interpretadas como intrusiones desde las tierras altas (Meggers y Evans 1957).

Hacia la década de 1980, las investigaciones arqueológicas, etnográficas y ecológicas en las tierras bajas sudamericanas comenzaron a cuestionar fuertemente la visión del “modelo estándar” de Steward (Neves 2005, 1998). Sin embargo, el enfoque determinista y adaptacionista se mantuvo, aunque dando paso a una versión más posibilista y eco-funcionalista. El reconocimiento, desde la ecología, de los humedales como ecosistemas ricos en proteínas, de gran productividad y alta biodiversidad, trajo aparejado un cambio en la percepción del rol de los factores ambientales respecto al desarrollo socio-cultural de las poblaciones indígenas. El ambiente pasó de ser un factor limitante a constituirse en un agente posibilitador de tal desarrollo (Barreto 2005). A partir del registro de asentamientos numerosos y permanentes, estratificación social y desarrollo de agricultura en la prehistoria de las tierras bajas, el debate se volcó hacia otros aspectos de la relación humano-ambiental (domesticación, ingeniería agrícola, importancia de la pesca, impacto de los cambios ambientales, etc.) pero se continuó asumiendo una relación causal entre las condiciones del ambiente, el crecimiento demográfico y el desarrollo de complejidad social (ej., Roosevelt 1999, 1980; Piperno y Pearsall 1998; Carneiro 1995, 1983; López Mazz y Bracco 1992; Brochado 1980; Lathrap 1977).

Con fuerte influencia de la arqueología procesual, dentro de estos enfoques más modernos se destacan las aproximaciones (co) evolucionistas neo-darwinianas a temáticas como los procesos de intensificación económica y desarrollo de la agricultura, considerados como bases del desarrollo socio-cultural (Oliver 2008, Bracco et al. 2000b; Piperno y Pearsall 1998).

En los últimos 20 años los modelos basados en el determinismo ambiental y el adaptacionismo neo-evolucionista han recibido fuertes críticas a partir de nuevos desarrollos teóricos. Entre ellos ha prosperado especialmente la Ecología Histórica (Balée 2006; Balée y Erikson 2006), de fuerte incidencia en los estudios amazónicos. Siendo su objeto focal el estudio de las interrelaciones humano-ambientales a través del tiempo, su premisa básica es que los seres humanos no se adaptan simplemente a la naturaleza, sino que juegan un rol activo modelando su entorno mediante diversas prácticas (Erickson 2010; Balée 2006). Dentro de este enfoque, uno de los aportes más significativos hacia una comprensión verdaderamente ecológica de la interrelación humano-ambiental, es el reconocimiento de que gran parte de la riqueza y biodiversidad de ambientes considerados “prístinos” – como las florestas tropicales – son producto de miles de

años de interacción naturaleza-cultura (Balée y Erickson 2006, Rival 2006). Estudios etnobotánicos y etnoarqueológicos han demostrado cómo el manejo ambiental a través de actividades cotidianas – como el clareo de áreas entorno a los campamentos, el traslado y dispersión de semillas, trasplante de propágulos, incendios controlados, cultivo y cuidado de especies silvestres, generación de suelos antropogénicos, entre otras – redundan en un incremento de la diversidad biológica (Rival 2006; Balée 2006; Politis 1999). Estos distintos tipos de actividades – intencionales o no – han generado un régimen de disturbios en el ambiente a escalas que resultaron favorables para mantener e incrementar la diversidad (Balée 2006, Erickson 2006). Esto condujo a proponer la existencia de paisajes antrópicos producidos por transformaciones ambientales derivadas del manejo humano sostenido en el tiempo, que generan ambientes productivos y redundan en cambios en la diversidad, distribución y disponibilidad de especies (ej. Erickson 2010, 2006; Erickson y Balée 2006).

La producción de alimentos es concebida como parte esencial de ese proceso de domesticación del paisaje, involucrando numerosas actividades como el cultivo de especies silvestres, la horticultura, la domesticación y la agricultura (Clement 2006). Teniendo en cuenta que las actividades productivas generan impactos de mayor escala sobre el entorno biofísico, los procesos de domesticación, dispersión y adopción de especies domesticadas y el desarrollo de agroecosistemas, constituyen un tema central para abordar las interrelaciones humano-ambientales (Clement 2006; Denevan 2006). En tal sentido, las evidencias arqueológicas indican una larga historia de producción vegetal en las tierras bajas sudamericanas, involucrando prácticas de manejo, cultivo (silvicultura, horticultura y agricultura) y hasta domesticación de poblaciones de plantas durante el Holoceno (Oliver 2008, Hastorf 2006, Neves y Petersen 2006, Piperno y Pearsall 1998, entre otros). Estas prácticas se vinculan a distintas formas de manejo ambiental que han quedado inscritas en el paisaje – y en el registro arqueológico – en forma proporcional a la intensidad y al tiempo con que fueron desarrolladas (*terras pretas*, montículos, canales, etc.).

En tal sentido, a partir de evidencia arqueológica y etnográfica, Neves y Petersen (2006:285) proponen dos categorías amplias y no excluyentes de manejo ambiental para las tierras bajas de la Amazonía y del centro y este de Sudamérica. La primera se caracterizaría por la *baja intensidad* de las prácticas de manejo, remontándose en el tiempo posiblemente al propio poblamiento humano del territorio y manteniéndose hasta nuestros días entre varios grupos indígenas amazónicos (Balée 2006; Rival 2006; Politis 1999). Algunas actividades de manejo antes mencionadas, como los clareos, la dispersión de semillas, el trasplante de propágulos, el cuidado y favorecimiento de especies y los fuegos controlados, son ejemplos de intervenciones que, a

pesar de su baja intensidad, tienen un efecto acumulativo a lo largo de los milenios que puede implicar una importante antropización del ambiente. Con frecuencia estas prácticas son difíciles de evidenciar arqueológicamente y sus efectos no son fáciles de distinguir de las transformaciones “naturales” (Neves y Petersen 2006; Balée 2006; Politis 1999).

A diferencia de las anteriores, las prácticas de manejo ambiental de *alta intensidad* son bastante más recientes en la región y mucho más visibles en el registro arqueológico. Las mismas se habrían vuelto frecuentes hacia el 3000 a¹⁴C AP, acentuándose y generalizándose hacia comienzos del primer milenio de nuestra era (Neves y Petersen 2006). El registro arqueológico evidencia estas formas de manejo ambiental más intensivas, como la manipulación de suelos y drenajes, que además de afectar favorablemente la diversidad de la flora y de la fauna tienen comúnmente un fin productivo más específico e intencional (Erickson 2010; Balée 2006; Erickson y Balée 2006). Los suelos antropogénicos – como las *Tierras Pretas do Indio* (TPI) registradas en la Amazonia – constituyen un claro ejemplo de manejo ambiental a través del cual, mediante la alteración de las condiciones edáficas y la incorporación de nutrientes, se crean hábitats propicios para el crecimiento y la producción de especies útiles (Graham 2006; Neves y Petersen 2006). La arquitectura en tierra (incluyendo túmulos, plataformas, estructuras defensivas, campos elevados y camellones de cultivos) y las obras de ingeniería hidráulica (canalización e irrigación), también son manifestaciones arqueológicas comunes de las tierras bajas sudamericanas (Gianotti y Bonomo 2013; Erickson 2010; Neves y Petersen 2006, entre otros), ejemplos de este manejo intensivo que muchas veces se asocia con el desarrollo de economías agrícolas y de sociedades sedentarias y socialmente más complejas (Neves y Petersen 2006).

Al igual que en las tierras bajas amazónicas, el sur del continente sudamericano y en particular, las tierras bajas del Pantanal Matogrosense, el Delta del Paraná y del Atlántico meridional, fueron escenarios de diversas experiencias y prácticas humanas de manejo que transformaron el medio con diferentes escalas e intensidades, en diferentes períodos de la prehistoria. En la región del Pantanal Matogrosense, entre ~ 3000 y 1000 a¹⁴CAP grupos Guató, entre otros, construyeron montículos localizados en las márgenes de ríos, que fueron utilizados como espacios habitacionales, espacios de cultivo, cementerios, como islas forestadas con especies de interés económico (en especial árboles frutales) que actualmente son considerados como auténticas quintas (Schmitz y Beber 2000; Eremites de Oliveira 1995). En el Delta del Paraná se han detectado las primeras evidencias claras de transformación del paisaje y de manejo ambiental, al menos desde *ca.* 1000 a 490 a¹⁴C AP (Castiñeira et al. 2014, 2013; Bonomo et al. 2011, 2010; Politis et al. 2011). Estas evidencias muestran cómo la construcción de montículos de tierra posibilitó, además de superficies estables a salvo de inundaciones periódicas para el

asentamiento humano, disponer de espacios para el establecimiento de pequeños huertos y para su uso como cementerios (Sánchez et al. 2013).

Todas estas experiencias a lo largo del continente sudamericano muestran diferentes procesos de manejo ambiental y transformación del entorno “natural” mediante los cuales se crearon espacios antropizados que han pervivido hasta la actualidad, siendo incluso utilizados por poblaciones actuales.

I.2.2 Interacciones humano-ambientales en la prehistoria del litoral atlántico uruguayo

Los enfoques sobre la interrelación naturaleza-cultura en la prehistoria del Uruguay siguieron a grandes rasgos el mismo derrotero que en el resto de las tierras bajas sudamericanas. La interacción del hombre prehistórico con su entorno ambiental fue tempranamente reconocida como una de las claves interpretativas de las investigaciones prehistóricas en la región. La estrecha vinculación entre la distribución espacial de los sitios arqueológicos y las unidades ambientales características del área, de gran diversidad biológica y alta conectividad, le otorgaron al ambiente un rol principal en la explicación del origen y desarrollo de las culturas prehistóricas.

Este rol fue variando con el desarrollo de la teoría antropológica y arqueológica general, desde un determinismo ambiental estrecho a un posibilismo más laxo (Cabrera 2005; López Mazz et al. 2004), para comenzar a adquirir más recientemente un carácter más dinámico y menos dicotómico. La conjunción de investigaciones arqueológicas y paleoambientales ha permitido una concepción más integral de las interacciones humano-ambientales, trascendiendo tanto la visión actualista y estática del ambiente como el rol pasivo del ser humano en su configuración. Hoy se reconoce que los ambientes han variado considerablemente durante el Holoceno y que las sociedades humanas no se han adaptado pasivamente a esos cambios, sino que han jugado un papel activo afectando esos ambientes desde la prehistoria.

Entre las principales causas naturales de cambio, las variaciones en el nivel del mar y los cambios climáticos globales y regionales han sido identificados como los factores principales en la génesis y evolución holocena de las planicies medias y bajas del este del Uruguay (ej. Bracco et al. 2014, 2011b; Martínez y Rojas 2013, 2011). Estos cambios tuvieron fuerte incidencia en las poblaciones prehistóricas que ocuparon el área (ej. Inda et al. 2011, 2006b; Bracco et al. 2011a) las cuales, lejos de adaptarse pasivamente, desarrollaron estrategias que llevaron, intencionalmente o no, a

la modificación del entorno en su beneficio propio. Dentro de las principales modificaciones humanas reconocidas en la prehistoria, se incluyen no solo las actividades extractivas (caza, pesca, recolección de recursos vegetales, animales y minerales variados), sino también productivas (manejo y producción de recursos silvestres y domesticados) y modificaciones mayores del entorno que pueden incluirse dentro del concepto de manejo ambiental. Entre estas últimas, las más notorias se vinculan con la construcción de miles de montículos en tierra conocidos regionalmente como “cerritos de indios”, constituyendo una de las mayores modificaciones antrópicas de las tierras bajas sudamericanas durante la prehistoria (ej. López Mazz 2008, 2001; Bracco 2006; Cabrera 2005).

Los cerritos de indios y la transformación social de la naturaleza

Los cerritos de indios son construcciones en tierra de planta aproximadamente circular a oval, con diámetros en el rango de los 35 metros y alturas que van desde los 50 cm a los 7 metros. En el este del Uruguay, se presentan aislados o conformando grupos, a lo largo de las planicies medias y altas o en sierras y lomadas que irrumpen como penínsulas o sobre los paisajes llanos (Figura 1.2) (Bracco et al. 2008a; López Mazz 2008; Cabrebra 2005). La práctica de construcción de túmulos habría tenido inicios en el Holoceno medio, hacia circa 5.500 años ¹⁴C AP, extendiéndose hasta el periodo de contacto europeo (Bracco 2006). La población total al sur del Río Cebollatí, se ha estimado en más de 1.500 (Bracco et al. 2008).

Estas estructuras en tierras se extienden más allá de la cuenca de la Laguna Merín, dispersándose al noreste hacia Brasil, hacia el sur hasta la cuenca de la Laguna de Castillos y afectando la franja atlántica y también el curso superior del Río Negro y el Bajo Río Uruguay. En todas las situaciones, sus emplazamientos están asociados a ambientes de humedales (Gianotti et al. 2008; Bracco et al. 2008a; López Mazz 2001) y esta situación se extiende más allá de los límites regionales: construcciones tumulares en tierra son comunes en las tierras bajas sudamericanas, desde la Guayana Francesa hasta los cauces inferiores de los Ríos Uruguay y Paraná (Gianoti y Bonomo 2013; Rostain 2012; Politis et al. 2011; Bonomo et al. 2011, 2010; Erikson 2010, 2006; Eremites de Oliveira 1995; Roosevelt 1999; Copé 1991, entre otros). Su distribución espacial y temporal, así como su fuerte impronta en el paisaje de las tierras bajas, constituyen un claro ejemplo de

interacción humano-ambiental, evidenciando prácticas prehistóricas y protohistóricas de manejo ecológico del ambiente (Gianotti y Bonomo 2013; Erikson 2010).

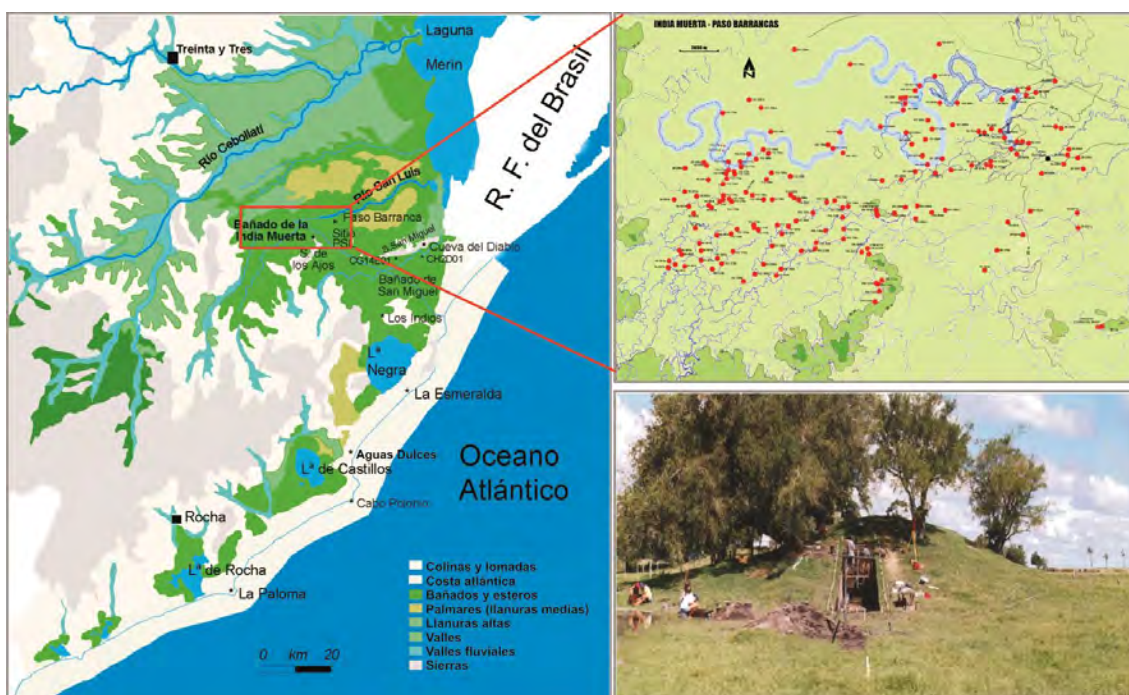


Figura 1.2. Relación entre distribución de cerritos de indios y unidades ambientales. Izquierda, principales unidades ambientales del área de estudio (Provides 1999). Derecha arriba, distribución de cerritos de indios en el área de India Muerta-Paso Barrancas (Bracco et al. 2008a). Derecha abajo, detalle de cerrito de indios excavado en Puntas de San Luis (Paso Barrancas, Rocha).

En el litoral atlántico uruguayo, el registro arqueológico de los montículos está compuesto principalmente por artefactos líticos tallados, óseos, cerámica, restos de fauna, macro-restos vegetales (carbón vegetal y coquitos quemados de palmera) y enterramientos humanos. En número reducido se hallan también artefactos pulidos: molinos, manos y piedras con hoyuelos, entre otros (ej. López Mazz 2008; Bracco et al. 2008a; Cabrera 2005). Las formas cerámicas dominantes son globulares, cilíndricas y abiertas, siendo la decoración muy poco frecuente (ej. Capdepon et al. 2002). Los artefactos de hueso más comunes son punzones y puntas confeccionados a partir del metapodio de *Ozotocerus bezoarticus* (Pintos 2000). Los enterramientos humanos presentan gran diversidad y datan de los últimos 2500 años (Bracco et al. 2008a, Pintos y Bracco 1999). El registro de silicofitolitos y granos de almidón evidencia un extenso uso de recursos vegetales silvestres y una adopción temprana del cultivo (maíz, cucúrbitas y porotos) entre el 4900 a¹⁴C AP (ej. Iriarte 2006a y b; Iriarte et al. 2004) y el 3000 a¹⁴C AP (del Puerto e Inda 2008, 2005a). El número de morteros y molinos procedentes de la región no es consistente con un procesamiento intensivo de granos. La cerámica tampoco es

particularmente abundante y no se ha hallado ninguna otra posible evidencia de almacenamiento (Bracco et al. 2015). Por otra parte, los primeros valores de $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos de la fracción orgánica de restos óseos humanos sugieren ausencia o baja incidencia de consumo de maíz (Bracco et al. 2000b).

En la arqueología regional, la relación actual entre distribución de túmulos y humedales fue base para interpretaciones que primero concibieron el ambiente como factor condicionante y luego como facilitador (ej. López Mazz 2008, 2001; Bracco 2006; Cabrera 2005), compartiendo en ambos casos la relevancia de los factores ambientales en la explicación de los fenómenos culturales. Entre los años 1960 y 1970, con fuerte influencia de la Escuela Histórico-Cultural y el desarrollo del PRONAPA en Brasil, predominaron las interpretaciones ecofuncionalistas con marcado determinismo ambiental e improntas evolucionistas y difusionistas. Los ecosistemas inundables eran considerados zonas marginales, con escaso valor económico. Por ende, las poblaciones humanas que los habitaron fueron caracterizadas como cultural y socialmente marginales (*sensu* Steward 1946). Los cerritos de indios fueron interpretados como plataformas de habitación construidas por grupos cazadores-recolectores-pescadores adaptados a zonas inundables ricas en recursos naturales (ej. Schmitz et al. 1991; Schmitz 1976; Baeza et al. 1974; Naue 1973; Prieto et al. 1970).

Hacia fines de la década de 1980, con fuerte influencia de la Arqueología Procesual, se comenzaron a reconocer rasgos de mayor “complejidad” que apartan a los constructores de cerritos del estereotipo de cazadores-recolectores sudamericanos, principalmente vinculados al carácter funerario/ceremonial de las estructuras y la expresión regional del registro. El ambiente, caracterizado ahora como de alta productividad y gran biodiversidad, habría sido el facilitador para el desarrollo de los niveles socio-culturales alcanzados por los constructores de cerritos (ej. López Mazz y Bracco 1994, 1992). En particular, la existencia de distintas unidades ambientales (sierra, planicies medias y altas, bañados, lagunas costeras, costa oceánica) ricas en recursos y altamente conectadas, habría sido la clave para el desarrollo de estrategias exitosas de aprovechamiento de los recursos, que se habrían intensificado con el tiempo hasta integrar la producción de alimentos (ej. Bracco et al. 2000b; Pintos 2000).

En los últimos 15 años se han diversificado las interpretaciones funcionales de los cerritos, así como sus implicancias socio-culturales. En algunos casos, la mayor complejidad reconocida adquirió una dimensión evolutiva, en la que los constructores de cerritos fueron interpretados como transitando o habiendo alcanzado el período Formativo (ej. Iriarte 2006b; Andrade y López Mazz 1998). Bajo esta óptica, algunos conjuntos de cerritos fueron interpretados como unidades

domésticas conformando aldeas, con espacios bien organizados y marcadas jerarquías (Iriarte 2007, 2006a y b; Iriarte et al. 2004). En otros casos, la complejidad fue asociada al carácter monumental de los cerritos en tanto componentes de espacios ceremoniales mayores (López Mazz 2001; López Mazz y Giannotti 1998, entre otros). Mediante la aplicación de Análisis de Redes Sociales, aportes recientes han cuestionado la ambigüedad y las connotaciones con que se han utilizado los conceptos de jerarquía y complejidad, abriendo camino para la exploración de nuevas dimensiones de la complejidad (Bracco et al. 2015). Sobre esa base, se ha propuesto la existencia de una *complejidad diferenciativa*, con importante grado de distinción entre partes e interacciones, pero con ausencia de una estructura jerárquica marcada (Barrientos 2011; McShea 1996).

Trascendiendo las distintas acepciones y connotaciones de la complejidad, hoy se reconoce que estas estructuras tuvieron múltiples funciones, tanto en forma sincrónica como diacrónica, extendiéndose algunas de ellas hasta la actualidad: zonas de habitación, cementerios/estructuras ceremoniales, marcadores territoriales, monumentos, áreas de cultivo, zonas de concentración de recursos (islas de vegetación y cotos de caza), entre otros (por ejemplo, Bracco et al. 2015; Iriarte 2007, 2006b; Gianotti 2000; Andrade y López Mazz 1999). Estas últimas funciones reconocen, aunque quizás lateralmente, el efecto del accionar humano sobre la distribución y riqueza de recursos.

Más allá de las interpretaciones, continuó siendo incuestionable que la distribución de los cerritos se asocia claramente a unidades ambientales concretas y que el entorno biofísico jugó un rol preponderante en el surgimiento y desarrollo de estas manifestaciones culturales. Con el devenir de las investigaciones y la obtención de cronologías cada vez más antiguas, se hizo necesario considerar también las posibles fluctuaciones climáticas y ambientales y sus efectos sobre la economía y subsistencia de los grupos constructores de túmulos. Esto motivó la articulación del conocimiento arqueológico con la investigación paleoambiental.

Cambio ambiental y dinámica cultural

Durante los últimos 15 años, se han desarrollado investigaciones interdisciplinarias que han hecho foco en los depósitos de fondos lagunares como potenciales fuentes de registros de alta resolución para reconstruir los cambios climáticos y ambientales holocenos (ej. García Rodríguez et al. 2010, 2009; Bracco et al. 2011b, 2005; del Puerto et al. 2011, 2008, 2006; Iriarte 2006a; Inda et al. 2006a; Blasi et al. 2005). Estudios detallados de los depósitos sedimentarios y las

geoformas generadas durante eventos transgresivos en la costa de la laguna de Castillos, por ejemplo, han permitido reconstruir las variaciones relativas del nivel de la laguna y proponer un modelo de evolución holocena de los niveles marinos para la costa oceánica de nuestro país (ej., Bracco et al. 2014, 2011b; Martínez y Rojas 2013, 2011). Esta información ha tenido importantes implicancias en las investigaciones arqueológicas desarrolladas en la cuenca lacustre, permitiendo diseñar modelos geoarqueológicos de ocupación humana con implicancias geocronológicas y paleoeconómicas (ej. Capdepon y Pintos 2006; del Puerto e Inda 2008, 2005a; Castiñeira et al. 2001).

Adicionalmente, el análisis de testigos de fondo obtenidos de lagunas costeras, con múltiples indicadores analizados (sintetizados en del Puerto et al. 2011), ha permitido generar un modelo de evolución ambiental que abarca cambios en los niveles marinos, balance continente-océano, variaciones en los estados tróficos y evolución climática regional (Figura 1.3).

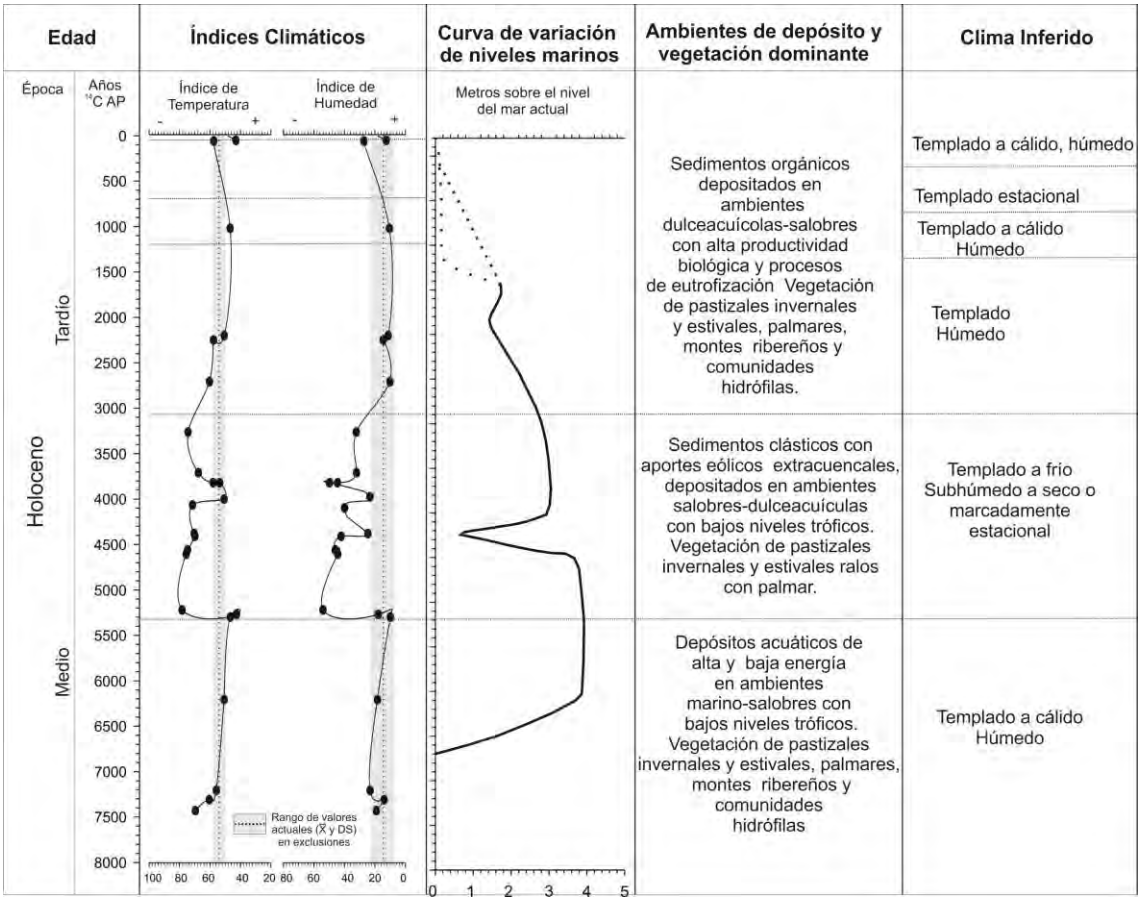


Figura 1.3. Modelo de evolución paleoclimática y paleoambiental para el Holoceno medio y tardío en el este del Uruguay a partir de registros paleolimnológicos, modificado de del Puerto et al. (2011). Los gráficos representan las variaciones de temperatura y precipitación estimadas a partir de análisis fitolíticos (izquierda) y la curva de variación de los niveles marinos (según Bracco et al. 2011b).

Recientemente se ha puesto el foco sobre otros registros continentales, principalmente geoformas y secuencias estratigráficas vinculadas a los procesos erosión-transporte-sedimentación del sistema hídrico regional (ej. Bracco et al. 2012). Se han realizado relevamientos estratigráficos, muestreos y análisis de múltiples indicadores en perfiles fluviales, depósitos de fondo de bañado y paleosuperficies. El objetivo central ha sido la reconstrucción de la dinámica fluvial del sector sur de la cuenca de la Laguna Merín durante el Holoceno medio y tardío, con hincapié en el origen y evolución de los humedales de cotas altas, que no estuvieron directamente vinculados a las transgresiones marinas holocenas. Estos sistemas se presentan precisamente como el centro de origen de la construcción de cerritos de indios en la región. Para esta región también se cuenta con un registro paleolimnológico de un meandro en la Sierra de los Ajos (Iriarte 2006a). La secuencia paleoambiental, que comienza en el Pleistoceno final, abarca gran parte del Holoceno medio, siendo contemporánea con la construcción y ocupación de numerosos cerritos de indios en el área (Iriarte 2006a y b).

El cúmulo de conocimiento paleoambiental generado permitió visualizar escenarios muy diferentes a los actuales, evolucionando en forma dinámica durante el Holoceno (Bracco et al. 2011b; del Puerto et al. 2011; Inda et al. 2011; Iriarte 2006a). Esta variabilidad ambiental no solo afectó las áreas de humedales, sino que fue extensiva a todas las planicies medias y bajas y a sus habitantes, particularmente en las lagunas costeras y el litoral atlántico (Inda et al. 2011).

El estudio de las respuestas culturales ante estos cambios ambientales, ha hecho foco en las estrategias de subsistencia que desarrollaron las poblaciones pre y protohistóricas de la región. Se han llevado a cabo estudios de distribución espacial y temporal de sitios arqueológicos, con énfasis en los cerritos de indios (Figura I.4). Más de 800 cerritos y otros yacimientos han sido referenciados geográficamente y unos 50 cronológicamente, permitiendo aproximarse a la historia de ocupación y transformación antrópica del ambiente, vinculándola a la evolución ambiental natural de esos espacios (Bracco et al. 2011a).

De esta forma, integrando la información arqueológica con la paleoambiental (Figura I.4) se ha propuesto que el inicio de la construcción de túmulos en la región de India Muerta tuvo lugar durante el final del periodo conocido como Óptimo Climático (ej. Iriarte 2006a; Bracco 2006) y alcanzó su máximo desarrollo local bajo condiciones más frías y secas que caracterizaron el final del Holoceno medio (Bracco et al. 2011b). Con un nivel de base más alto producto de la máxima trasgresión marina del Holoceno (ej. Bracco et al. 2014; Martínez y Rojas 2013) y el mar invadiendo las zonas bajas, las planicies de cotas superiores y las serranías que las irrumpen

debieron constituir zonas propicias para la ocupación de poblaciones que desarrollaban economías basadas en el humedal (ej. López Mazz et al. 2004; López Mazz y Bracco 1994).

Hacia el 2500 a¹⁴CAP, el paulatino descenso del nivel del mar y el aumento en las precipitaciones habrían favorecido el lavado de las sales con la consecuente expansión y dulcificación de los bañados de cota baja y las lagunas costeras. Por contraste, los humedales de cotas altas comenzaron a retroceder, debido a la desobstrucción de los drenajes por la disminución del nivel de base (Bracco et al. 2012). Ello explicaría el paulatino abandono de las áreas de India Muerta-Paso Barranca y Los Ajos con posterioridad al 3000 a¹⁴C AP, así como la expansión de la práctica de construcción de túmulos en las planicies bajas próximas a la Laguna Merín durante este periodo (Bracco et al. 2011a).

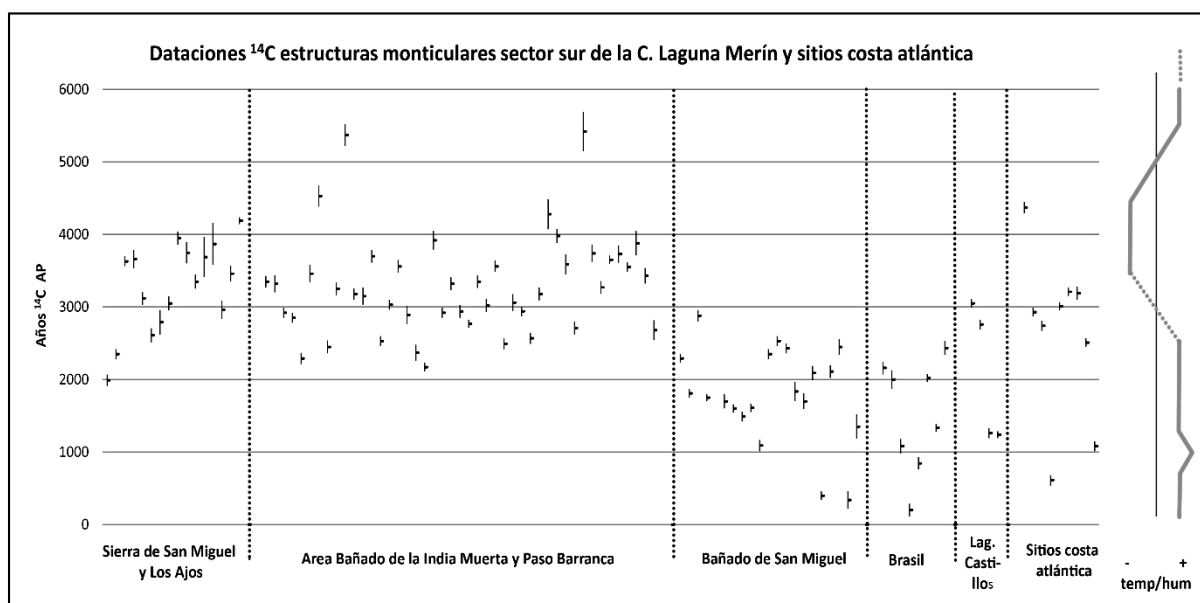


Figura I.4. Distribución espacial y temporal de sitios arqueológicos en el sector sur de la Cuenca de la Laguna Merín en relación a las principales variaciones climáticas holocenas. Fuente: Bracco et al. (2009).

Junto a los patrones de asentamiento, evidencias arqueofaunísticas, arqueobotánicas, de paleodieta y tecnológicas-funcionales sobre instrumentos líticos y cerámicos de algunos sitios, han permitido identificar cambios en las estrategias de obtención, procesamiento y consumo de recursos alimenticios vinculables a variaciones climáticas y ambientales (del Puerto e Inda 2008, 2005a; Iriarte 2006b; Capdepont et al. 2005, 2002; Iriarte et al. 2004, 2001; Bracco et al 2000b). Por ejemplo, entre el 4000 y 3000 a¹⁴C AP se registra una intensificación de la explotación de recursos costeros, tanto oceánicos como lacustres (Inda et al. 2011, 2006b; López Mazz y Villamarzo 2009; Bracco et al. 2008a y b), que pudo haber formado parte de una estrategia de

diversificación de la subsistencia para hacer frente a periodos de estrés ambiental (Inda et al. 2011, 2006b).

Durante ese mismo periodo se registran los primeros indicios de otras innovaciones que debieron acompañar esta estrategia de diversificación y disminución del riesgo y la incertidumbre. El registro arqueobotánico muestra las primeras evidencias de producción de recursos vegetales, tales como *Zea mays* L. (maíz), *Cucurbita sp.* (zapallos) y *Phaseolus sp.* (porotos), junto con una amplia variedad de plantas silvestres explotadas (ej. del Puerto e Inda 2008; Iriarte 2006b). La implementación de prácticas productivas estuvo acompañada de cambios culturales que se aprecian en el subsistema tecnológico: comienzo del periodo alfarero (cerámica) y mayor proliferación de instrumentos de molienda, ambos vinculables a cambios en las formas de procesamiento y consumo de los recursos silvestres, manejados y cultivados (Bracco et al. 2009; López Mazz et al. 2004).

I.2.3 Punto de partida

Partiendo de los antecedentes referidos, esta tesis procura profundizar el estudio de la interrelación naturaleza y cultura, intentando un abordaje equilibrado e integrado de ambos componentes. Para ello se hará foco en los cambios ambientales (tanto naturales como inducidos por el Hombre) y socio-culturales acaecidos durante el Holoceno tardío en la región, con énfasis en el periodo ~2500-200 a¹⁴C AP. Este período se corresponde con los registros de manejo ambiental de alta intensidad en las tierras bajas sudamericanas (*sensu* Neves y Petersen 2006), proporcionando mayores evidencias del accionar humano sobre la configuración de los paisajes característicos de estos ambientes. A nivel regional, corresponde al periodo de expansión de los cerritos en el litoral atlántico, en las llanuras inundables del NE del Uruguay y en las planicies bajas del litoral de los ríos Uruguay y Paraná (ej. Gianotti y Bonomo 2013; Bonomo et al. 2011; López Mazz 2008; Bracco et al. 2008a y b). También es el periodo de importantes cambios culturales, denotados por las inhumaciones, la mayor producción de alimentos e incorporación de especies domesticadas (vegetales y animales), así como de innovaciones tecnológicas asociadas (ej. Bonomo et al. 2011; López Mazz 2008; Bracco 2006; López Mazz et al. 2004).

Por otro lado, este periodo no cuenta con buena resolución en los registros paleoambientales hasta el momento estudiados para el este del Uruguay (ej. del Puerto et al. 2011). Esto abre la posibilidad de profundizar en el conocimiento de la dinámica climática y ambiental, procurando

nuevos registros de mayor resolución no afectados por la dinámica paleoceanográfica. Trabajar en este rango temporal facilita también la exploración del uso de análogos modernos para interpretar el registro subfósil. La generación de información paleoclimática reciente, correspondiente a un periodo climáticamente similar al actual, permite fortalecer las líneas de base para dimensionar la variabilidad natural del sistema climático y discernir con mayor confiabilidad los cambios ocasionados por la intervención humana moderna. Al mismo tiempo, brinda la posibilidad de dimensionar las consecuencias de cambios intensos de corta escala temporal (secular).

El análisis integrado de la información cultural y paleoambiental, se espera constituya un aporte significativo para la comprensión de la interrelación humano-ambiental en el pasado, así como para caracterizar la vulnerabilidad de los sistemas socioambientales actuales en el contexto de la variabilidad climática natural y el cambio global.

I.3 Hipótesis y Objetivos

I.3.1 Hipótesis

1. Los cambios climáticos acaecidos durante el Holoceno tardío en el este de Uruguay impulsaron modificaciones en las estrategias de subsistencia y modos de producción de alimentos de los grupos humanos constructores de cerritos, que redundaron en modificaciones en el ambiente discernibles en el registro arqueológico y paleoambiental.

I.3.2 Objetivos

Objetivos generales:

- Generar un modelo detallado de la dinámica humano-ambiental durante el Holoceno tardío en el este del Uruguay, reconstruyendo las variaciones climáticas y su vinculación con cambios en las prácticas prehistóricas de manejo del medio y los recursos naturales, con énfasis en los sistemas de subsistencia y en la producción de alimentos.

Objetivos específicos:

- Reconstruir el entorno biofísico con el que actuaron las poblaciones prehistóricas y los cambios climáticos y ambientales acaecidos durante el Holoceno tardío en la región.
- Evaluar cuantitativamente los cambios climáticos holocenos, mediante la elaboración de *sets* de calibración para los indicadores paleobotánicos considerados y de la intercalibración con indicadores independientes.
- Identificar estrategias de aprovisionamiento y uso de recursos vegetales por parte de las poblaciones prehistóricas del sudeste del Uruguay, con énfasis en los sistemas de producción de alimentos.
- Caracterizar la dieta de las poblaciones prehistóricas durante el Holoceno tardío.
- Identificar variaciones temporales en las prácticas del manejo del medio y los recursos, pasibles de ser correlacionadas con cambios ambientales.

I.4 Estrategia de investigación

Debido al carácter amplio y trans-disciplinario de la temática abordada, se procuró desarrollar un abordaje holístico en el que las distintas líneas se integraran desde el diseño mismo de la investigación y se desarrollaran en forma articulada. En este sentido, un conjunto de metodologías y herramientas analíticas fueron aplicadas transversalmente, para maximizar el potencial de información extraíble de acuerdo a los objetivos planteados.

Para dar cumplimiento a estos objetivos se diseñó una estrategia a dos vías, que se basó en el desarrollo de análisis paleoetnobotánicos y geoquímicos sobre registros paleolimnológicos y arqueológicos, como forma de abordar los cambios ambientales – tanto naturales como antrópicos – y su impacto recíproco sobre la configuración y dinámica humano-ambiental durante el Holoceno tardío en el sudeste del país. En ambos tipos de registros – paleolimnológicos y arqueológicos – se analizaron los mismos indicadores, haciendo especial hincapié en el análisis de silicofitolitos e isótopos estables como fuentes de información complementarias para evaluar los cambios en la vegetación y en los sistemas prehistóricos de subsistencia (Figura I. 5).

I.4.1 Líneas transversales de investigación

Silicofitolitos como indicadores paleoetnobotánicos

El registro de partículas biosilíceas ha mostrado su potencialidad en las investigaciones de la cuenca de la laguna Merín, produciendo tanto información ambiental como cultural. Un lugar especial ha ocupado el análisis de silicofitolitos, que se constituyó en una alternativa adecuada ante el escaso desarrollo de los análisis polínicos en registros paleolimnológicos y la mala conservación de restos vegetales orgánicos en contextos arqueológicos de la región. En este sentido, el análisis de células cortas silicificadas de gramíneas en testigos de fondos lacustres y la aplicación de índices climáticos extraídos a partir de la abundancia relativa de distintos morfotipos, constituyó la base para los modelos paleoclimáticos elaborados para el Holoceno medio y tardío del sudeste del Uruguay (ej. del Puerto et al 2011; Iriarte y Alonso 2009; Iriarte 2006a; Bracco et al. 2005). Por otra parte, el análisis de silicofitolitos aplicado a contextos arqueológicos ha permitido acceder a esferas de la subsistencia prehistórica, mediante la identificación de vegetales silvestres y domesticados, así como de prácticas vinculadas a su procura, procesamiento y consumo. El desarrollo de las técnicas de recuperación, observación y análisis ha permitido generar información relevante a la hora de identificar y ponderar el uso de

recursos vegetales (Iriarte 2006a y b; Iriarte et al. 2004, 2001; del Puerto e Inda 2005a; del Puerto y Campos 1999, entre otros).

Isótopos estables: contrastación y complementación de la información paleobotánica y paleoetnobotánica

El análisis de isótopos estables se propone como vía complementaria para contrastar y/o afinar la información aportada por los silicofitolitos, tanto en los registros paleoambientales como arqueológicos. La composición isotópica de la materia orgánica de los sedimentos lacustres, particularmente el $\delta^{13}\text{C}$ y el $\delta^{15}\text{N}$, constituye una herramienta de gran utilidad para evaluar cambios en la vegetación de las cuencas de drenaje. La materia orgánica se forma a partir de la biomasa vegetal y conserva la marcación isotópica de la vegetación que le dio origen (C_3 , C_4 , CAM). Por ende, su análisis constituye un mecanismo independiente de contrastación y complementación de la información aportada por los silicofitolitos en el marco de las reconstrucciones paleoclimáticas y paleoambientales desarrolladas en la región.

Por otro lado, los análisis de isótopos estables en restos óseos humanos recuperados de contextos arqueológicos, permiten caracterizar la dieta de las poblaciones prehistóricas y, de esta forma, complementar y dimensionar la información aportada por los silicofitolitos. Mediante el análisis isotópico es posible discriminar el consumo de plantas C_3 , C_4 y CAM, recursos continentales y recursos marinos, a través de la relación de los isótopos estables del carbono y nitrógeno ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) (Frohele et al. 2012; Kellner y Schoeninger 2007; Schoeninger y De Niro 1984).

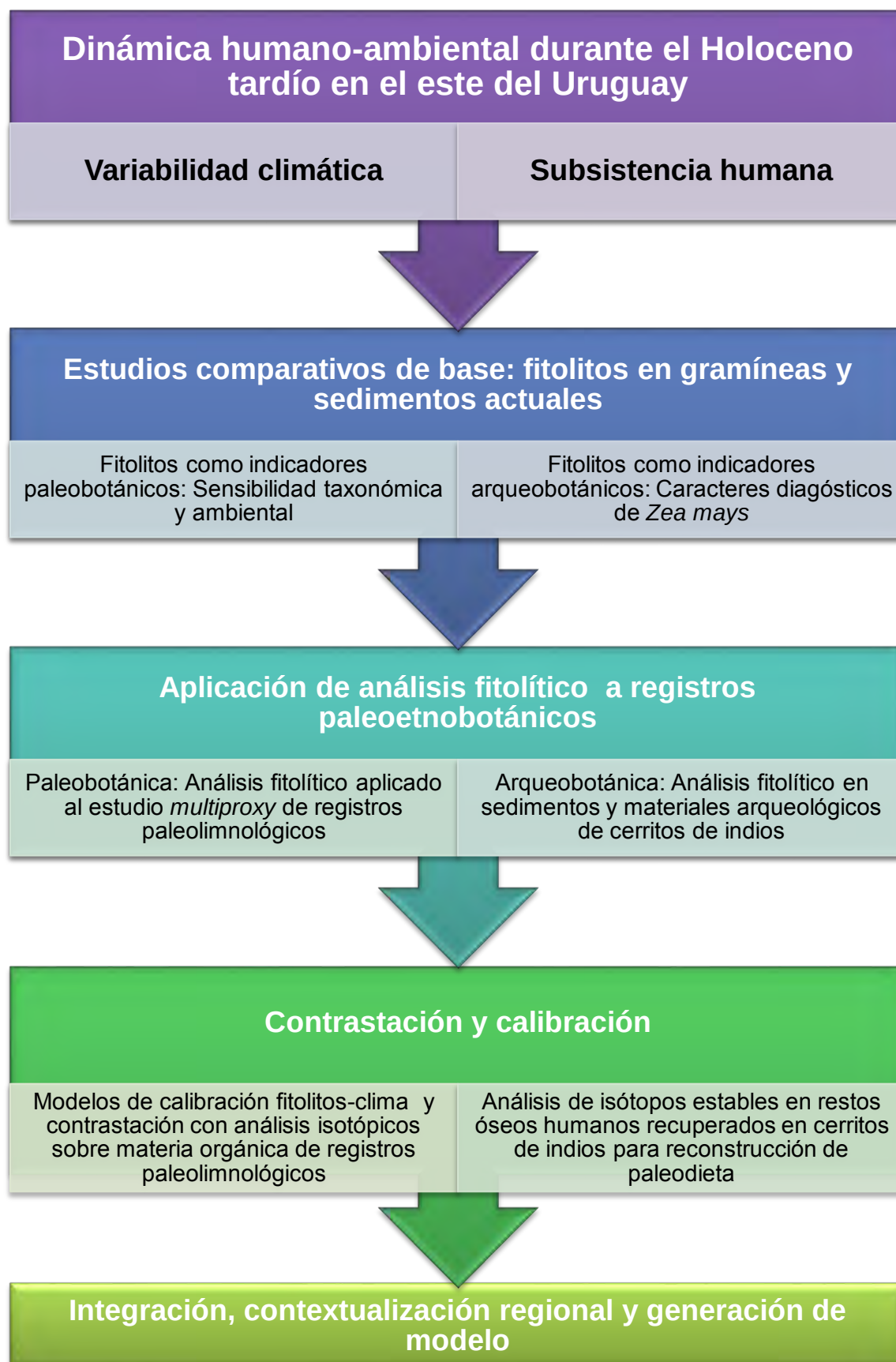


Figura I.5. Esquema de síntesis de la estrategia de investigación propuesta.

I.4.2 Diseño de la investigación

Con el fin de ordenar la producción y presentación de datos, la investigación se estructuró en tres módulos principales. El primero se centra en la reconstrucción paleoclimática/paleoambiental a partir del análisis de registros sedimentarios de fondos lacustres. El segundo hace foco en el análisis de las estrategias prehistóricas de subsistencia, con énfasis en los modos de producción de recursos vegetales, a partir del análisis de sedimentos y artefactos de contextos arqueológicos. El tercer módulo busca articular la información generada y discutirla bajo un marco conceptual integrador y holístico.

Reconstrucción Paleoclimática y Paleoambiental

Debido a que los sistemas lacustres funcionan como trampas naturales de restos químicos, físicos y biológicos procedentes del propio cuerpo de agua y de su cuenca, los sedimentos depositados en sus fondos contienen registros de alta resolución para la reconstrucción paleoambiental. En este sentido, las asociaciones fitolíticas obtenidas a partir de testigos sedimentarios de fondos lacustres constituyen una excelente fuente de información para reconstruir los cambios en la vegetación producto de variaciones climáticas y ambientales. Esto es especialmente válido en ecosistemas de pastizales templados, gracias al potencial de las células cortas silicificadas de gramíneas para discriminar la composición taxonómica (a nivel de subfamilia, tribu y hasta género) y funcional (en particular, el mecanismo fotosintético C_3 - C_4 de las plantas progenitoras, directamente vinculado al CO_2 atmosférico y al clima en general) de estos sistemas (ej. Bremond et al. 2008; Lu et al. 2006; Smith y White 2004). Teniendo en cuenta que más del 87% del territorio uruguayo está ocupado por pastizales naturales (Altesor et al. 2005) y que su estructura y composición son altamente sensibles a disturbios ambientales y climáticos (Epstein et al. 2002; Paruelo et al. 1998) el análisis de silicofitolitos constituye una herramienta promisoría para las reconstrucciones paleoambientales y paleoclimáticas.

Con el objetivo de fortalecer la línea de base para las reconstrucciones paleoambientales, previo a la aplicación del análisis fitolítico sobre los sedimentos lacustres, se procedió a profundizar los análisis comparativos actuales de silicofitolitos en especies de gramíneas y en sedimentos superficiales de parcelas de pastizales bajo distintas condiciones climático-ambientales. El análisis de fitolitos en gramíneas nativas buscó reafirmar el potencial de estos indicadores para discriminar grupos taxonómicos (tribus) y funcionales (mecanismo fotosintético). En forma complementaria, el análisis de fitolitos en sedimentos superficiales a lo largo de un gradiente

latitudinal (31º a 36º S) y bajo distintas condiciones de clima, suelo e historia de uso, procuró ratificar la sensibilidad climática-ambiental de estos indicadores. Estos análisis constituyeron la base para la aplicación de la técnica del análogo moderno sobre los registros paleolimnológicos, como forma de calibrar o ajustar la señal paleoclimática de los fitolitos.

Como otra vía independiente de calibración, junto a los silicofitolitos se analizó la composición isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) de la materia orgánica de sedimentos de fondos lacustres correspondientes a los últimos 2500 años. El objetivo principal fue comparar la señal climática de los silicofitolitos (en términos de relación C_3/C_4) con la señal isotópica $\delta^{13}\text{C}$ de la materia orgánica, analizando la consistencia entre ambas y considerando los parámetros que pudieran haber incidido en la magnitud de cada una, tales como: a) cambios en las fuente de procedencia de materia orgánica para cada testigo; b) estado trófico del cuerpo de agua; c) cambios en la vegetación de las cuencas; d) cambios en el balance hídrico.

Para contribuir a estimar dichos parámetros, en forma simultánea al análisis fitolítico se relevó la abundancia relativa de otras partículas biosilíceas, como valvas de diatomeas, cistos de crisófitas y espículas de espongiarios. A partir de esta información, se evaluó el cociente entre la abundancia relativa de silicofitolitos y de los restantes indicadores biosilíceos como medida del balance entre los aportes internos y externos del cuerpo de agua.

Paleoetnobotánica y paleodieta

Para caracterizar las estrategias de subsistencia e identificar cambios vinculables a variaciones en el hábitat, se procedió al análisis de silicofitolitos a partir de secuencias de matrices sedimentarias de cerritos de indios con registro cronológico del Holoceno tardío y que han sido objeto de excavaciones arqueológicas sistemáticas. Al mismo tiempo, se analizaron silicofitolitos extraídos de superficies activas de instrumentos líticos (morteros, manos de moler, filos de herramientas) y de tiestos recuperados en dichos contextos, a fines de aportar información concerniente a los modos de procesamiento, almacenamiento y consumo de los recursos vegetales. Los registros arqueobotánicos obtenidos fueron cotejados con la oferta de recursos silvestres inferida a partir del análisis paleoambiental y de la ponderación de recursos locales a partir, principalmente, de la investigación etnobotánica (del Puerto 2011a).

Se hizo especial hincapié en la identificación de vegetales cultivados y/o posiblemente manejados, bajo el entendido de que la implementación de prácticas vinculadas a la producción de alimentos constituye un cambio significativo en la interrelación de los grupos humanos con el

medio, con fuertes implicancias socioculturales y ecológicas. Para ello, junto al análisis arqueobotánico se desarrollaron estudios comparativos actuales orientados específicamente a afianzar las bases para la identificación de vegetales cultivados en contextos arqueológicos, con énfasis en la caracterización de fitolitos de *Zea mays* L.

Complementariamente, la aplicación de análisis isotópicos sobre restos óseos humanos recuperados de los mismos contextos sometidos al análisis arqueobotánico, permite dimensionar el rol de los recursos vegetales silvestres y cultivados (particularmente el maíz), al tiempo que brinda información más amplia y directa sobre la dieta de estas poblaciones prehistóricas.

Integración de la información

El conjunto de información generada fue contextualizado en el marco de información paleoambiental y arqueológica existente para el área y para la región e integrada para la generación de un modelo detallado de las variaciones climáticas y de las interacciones humano-ambientales acaecidas durante el Holoceno tardío en la región.

Por un lado, los resultados de la aplicación de la técnica del análogo moderno y el registro integrado de fitolitos e isótopos estables en muestras paleolimnológicas, fueron articulados en la generación de un modelo de alta resolución de los cambios climáticos y ambientales, cotejado a su vez con modelos regionales y globales. Del mismo modo, los datos de silicofitolitos e isótopos estables aplicados a restos arqueológicos fueron conjugados y puestos en el contexto arqueológico local y regional para obtener un panorama comprehensivo de los saberes y las prácticas prehistóricas de manejo ecológico del medio y los recursos naturales.

Finalmente, mediante la integración de la información paleoambiental y arqueológica se buscó identificar pautas de interacción e impacto recíproco en la relación naturaleza-cultura, intentando no caer en explicaciones deterministas simples. Bajo este entendido, se procuró identificar indicadores de los cambios en las estrategias de subsistencia y modos de producción y buscar correlaciones con los cambios ambientales inferidos. La existencia y magnitud de estas correlaciones dará cuenta del impacto de los cambios ambientales sobre las poblaciones humanas (vulnerabilidad), en tanto la dirección de la respuesta ante esos cambios ilustrará las estrategias culturales específicas desarrolladas (ductilidad) y su potencial impacto sobre el entorno ambiental y social.

II. Análisis Paleoambiental

II.1 Introducción General

II.2 Silicofitolitos en gramíneas nativas y sedimentos modernos bajo exclusión ganadera: bases taxonómicas y correlaciones ambientales para aplicaciones paleoecológicas

II.3 Nuevas evidencias de cambio ambiental durante el Holoceno tardío en el SE del Uruguay: aportes del análisis de partículas biosilíceas en testigos de la Laguna de Peña

II.4 Variaciones climáticas durante el Holoceno tardío en el Este del Uruguay: estimaciones cuantitativas basadas en registros fitolíticos e isotópicos de testigos Paleolimnológicos.

II.5 Conclusiones del Capítulo:
Reconstrucción Paleoclimática para el Holoceno tardío en el este de Uruguay



II.1 Introducción General

La costa oriental sudamericana experimentó importantes cambios climáticos y ambientales durante el Holoceno medio y tardío (ej. Pérez 2014; Behling 2007; Iriarte 2006a; Mancini et al. 2005). Para las latitudes medias, la mayoría de los modelos paleoambientales postula la existencia de un periodo cálido y húmedo conocido como *hypsiethermal* u *optimum climaticum* previo al 5200 a¹⁴C AP, coincidente con el máximo transgresivo del Holoceno (ej. Bracco et al. 2014; Martínez y Rojas 2013; Cavallotto et al. 2004). A este le habrían seguido condiciones templadas a frías y subhúmedas a marcadamente estacionales entre el 5200 y 3000-2500 a¹⁴C AP, periodo en que el nivel del mar se hallaba en marcado descenso hacia su nivel actual. A partir del 2000 a¹⁴C AP, el clima comenzó progresivamente a estabilizarse en condiciones similares a las actuales (Piovano et al. 2009; Quattrocchio et al. 2008; Mancini et al. 2005; Zárate 2003), tendencia que se vio interrumpida por eventos de corta duración y alta intensidad como el Periodo Cálido Medieval (hacia el 1000 a¹⁴C AP) y la Pequeña Edad de Hielo (800-200 a¹⁴C AP) (ej. Pérez 2014; Piovano et al. 2009; Iriarte 1999; Politis 1984;). Para el sudeste de Uruguay, estos cambios climáticos y ambientales han sido parcialmente registrados por Bracco et al. (2014, 2011a, 2005), del Puerto et al. (2011, 2008, 2006), García Rodríguez et al. (2010, 2009), Inda et al. (2006a) e Iriarte (2006a) a partir de registros sedimentarios de lagunas costeras y paleocauces.

Debido a procesos de erosión y resuspensión propios de los sistemas muestreados, el periodo correspondiente a los últimos 2500 años se halla poco representado y/o cuenta con poca resolución temporal. La reconstrucción paleoclimática para el Holoceno tardío en el este del Uruguay requiere, por ende, de la obtención y análisis de registros de mayor resolución para dicho periodo (del Puerto et al. 2011). Al mismo tiempo, se ha precisado la necesidad de profundizar en la resolución de los modelos paleoambientales propuestos mediante la calibración de los indicadores utilizados (del Puerto 2011b). En este sentido, si bien los estudios paleolimnológicos han desarrollado el análisis integrado de múltiples indicadores (biológicos, físicos y geoquímicos), la reconstrucción paleoclimática se ha basado mayormente en el registro de silicofitolitos (Bracco et al. 2011a, 2009, 2005; del Puerto et al. 2011, 2008, 2006; Iriarte 2006a, entre otros). A pesar de la larga trayectoria de estos estudios en el país y en la región, así como de los esfuerzos por afianzar las propiedades de los silicofitolitos como indicadores paleoambientales (del Puerto 2011; Iriarte y Alonso 2009; Iriarte 2006a), estas reconstrucciones han sido de carácter semi-cuantitativo, permitiendo describir tendencias en los parámetros de interés: aumento o disminución de la temperatura/humedad, condiciones templadas/cálidas/subhúmedas, etc.

Por esta razón, con el objetivo de incrementar la resolución de los modelos paleoambientales para el Holoceno tardío en el este del Uruguay, la investigación se desarrolló en tres niveles complementarios y secuenciales que involucraron:

- 1) Estudios actualísticos tendientes a consolidar el potencial de los silicofitolitos como indicadores paleobotánicos en relación con: a) la capacidad de discriminar grupos de gramíneas de relevancia taxonómica y funcional; b) la sensibilidad como indicadores de cambios climáticos y ambientales.
- 2) Aplicación del análisis fitolítico al estudio de nuevos registros paleolimnológicos de mayor resolución para el Holoceno tardío.
- 3) Estimaciones cuantitativas de los cambios climáticos acaecidos durante el Holoceno tardío, mediante modelos de calibración fitolitos-clima y de la intercalibración de la señal climática (C_3/C_4) de los fitolitos con análisis isotópicos ($\delta^{13}C$) sobre materia orgánica de registros paleolimnológicos de mayor resolución para el periodo.

II.2 Silicofitolitos en gramíneas nativas y sedimentos modernos bajo exclusión ganadera: bases taxonómicas y correlaciones ambientales para aplicaciones paleoecológicas¹

II.2.1 Introducción

Los silicofitolitos han sido exitosamente aplicados a reconstrucciones paleoambientales en ecosistemas de pastizales alrededor del mundo (ej. Zucol et al. 2005; Scot 2002; Boyd 2002; Alexandre et al. 1999, 1997; Fredlund y Tieszen 1997, 1994; Fisher et al. 1995). Su constitución mineral y su producción cuantiosa y diferencial en muchas plantas, particularmente dentro de las gramíneas, les confiere a estos indicadores un gran potencial para reconstruir la dinámica pasada de los pastizales templados. Sin embargo, para que cumplan con su rol de indicador, además de resistentes y abundantes, deben permitir la identificación de los organismos progenitores a un nivel taxonómico o ecológicamente relevante. En este sentido, si bien los fenómenos de multiplicidad y redundancia (Rovner 1992) limitan el carácter diagnóstico de los fitolitos, éstos permiten la identificación de grupos funcionales de alta sensibilidad climática y ambiental.

A partir de la morfología de las células cortas silicificadas producidas en el tejido epidérmico de gramíneas, es posible identificar grupos taxonómicos a nivel de subfamilia, género y excepcionalmente especie (ej. Iriarte y Alonso 2009; Fernández Honaine et al. 2006; Gallego y Distel 2004; Zucol et al. 2001, 2000, 1998). Pero más allá de la identificación taxonómica de las especies parentales, su mayor potencial para la reconstrucción paleoambiental es el de permitir la identificación de grupos funcionales con diferente mecanismo fotosintético, diferente hábito y hábitat (ej. Lu et al. 2006; Smith y Anderson 2001; Fredlund y Tieszen 1994; Twiss 1992). El mecanismo fotosintético de las gramíneas se correlaciona estrechamente con el CO₂ atmosférico y con el clima en general, determinando una distribución latitudinal y altitudinal diferencial de los grupos con mecanismo C₃ y C₄ (Twiss 1992; Figura II.1). El potencial de diferenciar los mecanismos fotosintéticos predominantes a partir de las asociaciones de células cortas silicificadas, hace de los silicofitolitos un potente indicador para reconstrucciones paleoclimáticas en ecosistemas de pastizales (Smith y White 2004; Fredlund y Tieszen 1997).

¹ Trabajo presentado en el XIV Simposio Brasileiro de Paleobotanica e Palinologia & 5º Encontro Latinoamericano de Fitolitos. Rio de Janeiro 2013: del Puerto, L.; Piñeiro, G.; Iñda, H.; Fagúndez, C. Silicofitolitos en gramíneas nativas y sedimentos modernos bajo exclusión ganadera: bases taxonómicas y correlaciones ambientales para aplicaciones paleoecológicas.

Si bien existen importantes antecedentes regionales sobre estudios taxonómicos y de asociaciones fitolíticas en sedimentos actuales (ej. del Puerto 2011b; Iriarte y Alonso 2009; Fernández Honaine et al. 2006; Gallego y Distel 2004; Zucol 2000, 1998) aún se requiere fortalecer la línea de base para consolidar la aplicación de estos indicadores en reconstrucciones paleoclimáticas y paleoambientales de alta resolución. En particular, es necesario dar mayor sustento empírico a dos de los supuestos del principio del actualismo: a) que la distribución y composición de las asociaciones fitolíticas actuales y fósiles (y de la vegetación productora) está en equilibrio con el clima; b) que es posible establecer estimaciones cuantitativas que relacionen el registro fitolítico con las variables climáticas de interés.

En este sentido, es preciso tener en cuenta que la configuración actual de los pastizales es el resultado de dos factores principales: 1) el clima (régimen de precipitaciones y temperatura) y 2) las perturbaciones (herbivoría, fuego, introducción de especies exóticas). A nivel local, distintos factores como la topografía y el desarrollo edáfico, aportan un mayor grado de variabilidad (Smith y White 2004).

En el caso del Uruguay, el impacto antrópico sobre las pasturas nativas – principalmente por la introducción del ganado doméstico bovino y ovino – ha modificado en forma significativa la estructura de la comunidad de pastizal (Altesor et al. 2005; Rodríguez et al. 2003; Panario y Bidegain 1997) haciendo que su composición, estructura y funcionamiento ecosistémico no se hallen en equilibrio natural con el clima.

El presente trabajo busca alternativas ante estas limitantes, profundizando los estudios de base a partir de análisis comparativos de silicofitolitos en material vegetal actual y en sedimentos superficiales en parcelas excluidas de ganado doméstico, ubicadas a lo largo de un gradiente latitudinal y bajo diferentes condiciones de clima, suelo e historia de uso. Estos estudios constituyen una continuación de los trabajos ya iniciados en esta línea, cuyos resultados parciales han sido reportados por del Puerto (2011b) y del Puerto et al. (2011). A partir del análisis de fitolitos en gramíneas actuales, estos estudios previos permitieron crear un sistema de clasificación de células cortas compuesto por 15 categorías de morfotipos básicos (Figura II.1). Estos morfotipos resultaron característicos, aunque no exclusivos, de grupos taxonómicos relevantes (subfamilia y eventualmente tribu). También en estos trabajos se abordó el estudio de sedimentos superficiales procedentes de parcelas bajo exclusión ganadera, aunque el escaso número de muestras (n=5) no permitió más que una caracterización macro-regional y la definición de correlaciones preliminares con variables climáticas como temperatura media anual y precipitación (del Puerto et al. 2011).

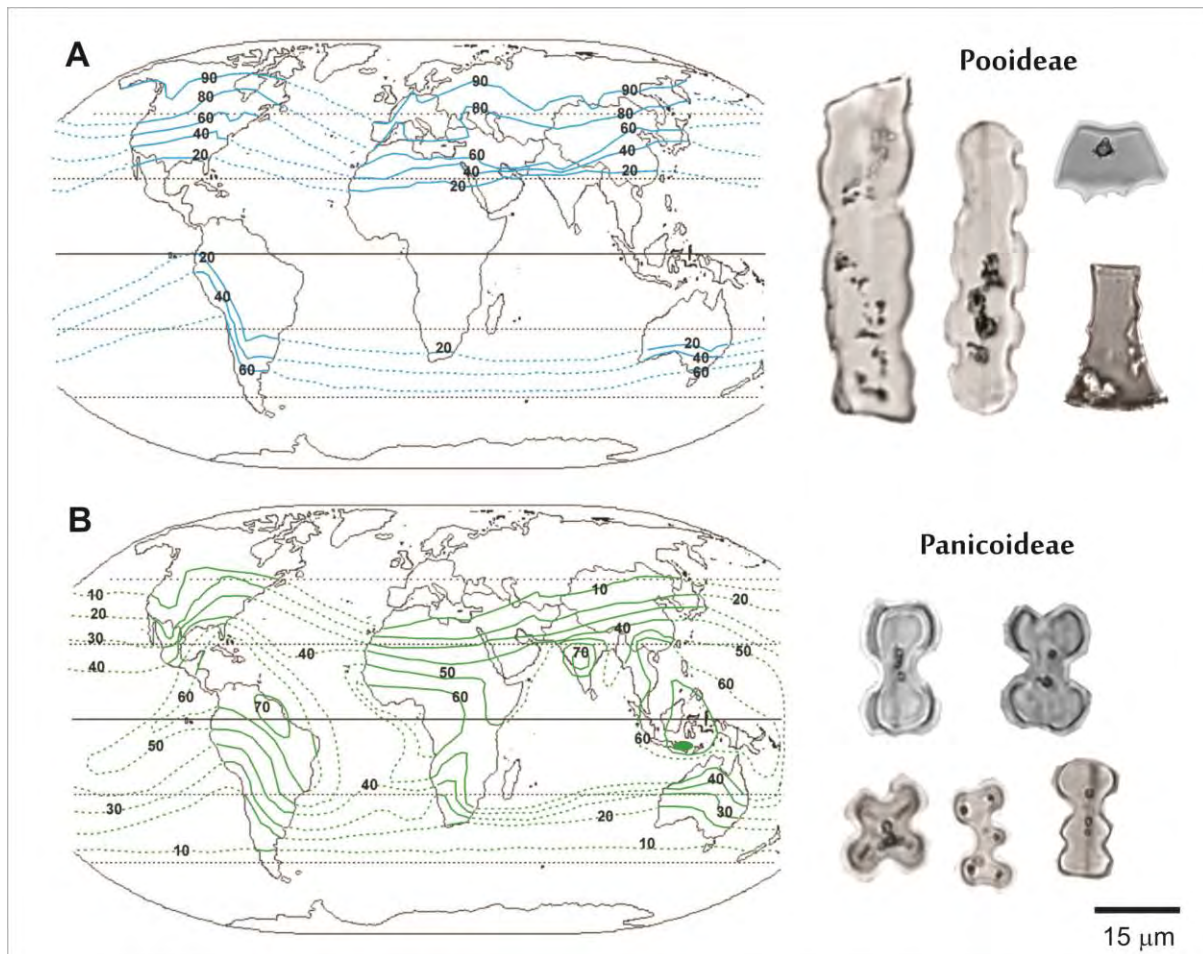


Figura II.1 Ejemplos de distribución mundial de subfamilias de gramíneas de diferente mecanismo fotosintético (basado en Twiss 1992) y sus morfotipos de silicofitolitos característicos (en base a del Puerto 2011b): A) subfamilia Pooideae, compuesta por especies C_3 que predominan en altas latitudes o elevaciones; B) subfamilia Panicoideae, con especies predominantemente C_4 que dominan en bajas latitudes y elevaciones.

Dando continuidad y profundizando en los resultados obtenidos en estos estudios previos, en esta oportunidad se suman nuevas muestras a la base de referencia y se aplican nuevos abordajes analíticos, manteniendo el objetivo principal de ratificar los atributos de los silicofitolitos como indicadores paleobotánicos en términos de taxonomía, sensibilidad climática y sensibilidad ambiental.

II.2.2 Materiales y Métodos

Región de Estudio

La zona de estudio se ubica dentro de los denominados Pastizales del Río de la Plata (Soriano 1991) (Figura II.2). Esta región, de más de 700.000 km², comprende la extensión de los pastizales templados sub-húmedos entre los 28° y 38° S del sector Este de Sudamérica. Abarca las vastas planicies del centro-

este argentino, Uruguay y el sur de Brasil, en una especie de arco que rodea al Río de la Plata (Soriano 1991). Dentro de esta área general, el material de referencia analizado procede principalmente de las subregiones de los campos del sur y norte en Uruguay y en menor proporción de la pampa inundable y pampa mesopotámica en Argentina (Figura II.2).

De acuerdo el sistema mundial de clasificación climática de Köppen-Geiger (McKnight y Hess 2000) el área cuenta con un clima Mesotermal (C), con precipitaciones que exceden a la evaporación y se presentan constantes a lo largo del año (Cf). En gran parte de la región el verano es caluroso ($>22^{\circ}\text{C}$) determinando un clima Subtropical (Cfa). En el sector sudeste el clima es de tipo Templado (Cfb) pues no se alcanzan los 22°C de media en el mes más cálido. Si bien las precipitaciones se extienden durante todo el año, disminuyen a lo largo de un gradiente longitudinal que determina condiciones secas a sub-húmedas en el oeste (400 mm anuales) y húmedas en el este (1600 mm anuales, Soriano 1991). Este balance hídrico diferencial determina en gran medida divergencias en la estructura y composición de los pastizales del área, con déficit hídrico incipiente en los tipos secos (pampas) y exceso hídrico incipiente en los tipos húmedos (campos).



Figura II.2 Ubicación geográfica de los pastizales del Río de la Plata y sus subdivisiones: pampa ondulada (A), pampa interior (B) [1- pampa llana y 2- pampa occidental], pampa meridional (C), pampa inundable (D), pampa mesopotámica (E), campos del sur (F) y campos del norte (G) (Soriano, 1991), con señalización de las localidades de muestreo de sedimentos actuales de referencia.

El amplio predominio de especies herbáceas se refleja en la configuración fisionómica del tipo de vegetación dominante, referida como “campos”, “praderas”, “estepas”, “sábanas estépicas”, “pastizales” (Grela 2004). Se trata de comunidades herbáceas heterogéneas en las que sobresalen las gramíneas de bajo y mediano porte, anuales y perennes, con alguna estacionalidad en su productividad dada por las temperaturas y precipitaciones (Sganga 1994; del Puerto 1969; Rosengurtt 1944). La coexistencia de especies de ciclo invernal y estival responde al clima mesotermal del área, en situación intermedia entre los climas cálidos por debajo de los 30° de latitud sur y los climas templados o fríos por encima de los 35° S (Rosengurtt 1979). La existencia de gradientes climáticos al interior del área determina la existencia de diferencias en la fisonomía y composición de la vegetación dominante de estepa y pseudoestepa de gramíneas.

La heterogeneidad de especies, hábitos de crecimiento y ciclos anuales, indica que se trata de comunidades en desequilibrio actual con las condiciones de los suelos y del clima, como consecuencia de la herbivoría de animales domésticos introducidos, principalmente ovinos y bovinos (ej. Altesor et al. 2005; Rodríguez et al. 2003; Rosengurtt 1944). En este sentido – y más allá de que la pradera de gramíneas constituye la vegetación climáxima del territorio– la composición botánica parece estar más influenciada por el manejo de los campos que por las características del medio físico (Rosengurtt 1944). Las escasas descripciones históricas previas a la introducción del ganado doméstico, así como las investigaciones fitosociológicas desarrolladas en parcelas excluidas de la ganadería (ej. Altesor et al. 2005; Rodríguez et al. 2003, Panario y May 1994; Rosengurtt 1944), ilustran un pastizal alto y cerrado con mayor predominio de especies invernales de alto porte.

Material vegetal de referencia

En la tabla II.1 se presenta el listado de las especies de gramíneas sujetas a análisis. La mayor parte de estas especies fue analizada en trabajos previos (del Puerto 2011b), contándose con muestras procesadas y preparados prontos para observación. En esta instancia se llevó a cabo un nuevo relevamiento, registrando y describiendo en forma exhaustiva los morfotipos de fitolitos producidos en estas especies y no solo los tipos básicos previamente definidos. También se incorporaron cinco nuevas especies a la base comparativa.

Tabla II.1 Listado de especies de gramíneas analizadas con información taxonómica, sinonimia, centro de origen y mecanismo fotosintético. Fuentes: Clayton et al. (2006), Watson and Dallwitz (1994), Tropicos.org. Missouri Botanical Garden (11 Jun 2014).

SUBFAMILIA	TRIBU	NOMBRE CIENTÍFICO	ABREV.	SINÓNIMO	ORIGEN	MEC. FOT.
ARUNDINOIDEAE	Aristidae	<i>Aristida spgazzinii</i> Arechav.	Ar.spe		América	
		<i>Aristida teretifolia</i> Arechav.	Ar.ter		América	C ₄
		<i>Aristida uruguayensis</i> Henrard	Ar.uru		América	
	Danthonieae	<i>Cortaderia selloana</i> (Schult. & Schult. f.) Asch. & Graebn.	Cor.sell		América	
		<i>Danthonia montevidensis</i> Hack. & Arechav.	Dan.mon		América	C ₃
	Bambuseae	<i>Chusquea ramosissima</i> Lindm.	Ch.ram		América	
<i>Chusquea tenella</i> Nees		Ch.ten	<i>Chusquea uruguayensis</i> Arechav.	América	C ₃	
BAMBUISOIDEAE	Oryzeae	<i>Guadua trinii</i> (Nees) Nees ex Rupr.	Gua.tri		América	
		<i>Leersia distichophylla</i> Balansa & Poit.	Lee.dis		América	
		<i>Leersia hexandra</i> Sw.	Lee.hex		Pantropical	
		<i>Luziola peruviana</i> Juss. ex J.F. Gmel.	Lux.per		América	
		<i>Oryza latifolia</i> Desv.	Or.lat		América	C ₃
		<i>Oryza sativa</i> L.	Or.sat		Asia	
		<i>Rhynchoryza subulata</i> (Nees) Baill.	Rhy.sub		América	
		<i>Zizaniopsis bonariensis</i> (Balansa & Poitr.) Speg.	Zi.bon		América	
		<i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr.	Bou.cur		América	
		<i>Bouteloua megapotamica</i> (Spreng.) Kuntze	Bou.meg		América	
CHLORIDOIDEAE	Chlorideae	<i>Chloris canterae</i> Arechav.	Chl.can		América	
		<i>Chloris canterae</i> var. <i>grandiflora</i> (Roseng. & Izag.) D.E. Anderson	Chl.gra		América	
		<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.	Dac.aeg		África	
		<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Ele.ind		Pantropical	
		<i>Eleusine tristachya</i> (Lam.) Lam.	Ele.tri		América	C ₄
		<i>Eustachys brevipila</i> (Roseng. & Izag.) Caro & E.A. Sánchez	Eus.bre	<i>Chloris brevipila</i> Roseng. & Izag.	América	
		<i>Eustachys caribaea</i> (Spreng.) Herter	Eus.car		América	
		<i>Eustachys distichophylla</i> (Lag.) Nees	Eus.dis	<i>Chloris distichophylla</i> Lag.	América	
		<i>Eustachys retusa</i> (Lag.) Kunth	Eus.ret	<i>Chloris retusa</i> Lag.	América	
		<i>Eustachys uliginosa</i> (Hack.) Herter	Eus.uli	<i>Chloris uliginosa</i> Hack.	América	
Cynodonteae	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	Cyn.dac		Asia		

Tabla II.1 Continuación

PANICOIDEAE	Eragrostidae	<i>Leptochloa chloridiformis</i> (Hack.) Parodi	Lep.chl		América	C ₄
		<i>Leptochloa fusca</i> subsp. <i>uninervia</i> (J. Presl) N. Snow	Lep.fus	<i>Diplachne uninervia</i> (J. Presl) Parodi	América	
		<i>Agenium villosum</i> (Nees) Pilg.	Ag.vill		América	
		<i>Andropogon bicornis</i> L.	And.bic		América	
		<i>Andropogon glaucophyllus</i> Roseng., B.R. Arrill. & Izag.	And.gla		América	
		<i>Andropogon lateralis</i> Nees	And.lat		América	
		<i>Andropogon selloanus</i> (Hack.) Hack.	And.sell		América	
		<i>Andropogon ternatus</i> (Spreng.) Nees	And.ter		América	
	Andropogonae	<i>Bothriochloa barbinodis</i> (Lag.) Herter	Bot.bar		América	C ₄
		<i>Bothriochloa edwardsiana</i> (Gould) Parodi	Bot.edw		América	
		<i>Bothriochloa imperatoides</i> (Hack.) Herter	Bot.imp		América	
		<i>Bothriochloa laguroides</i> (DC.) Herter	Bot.lag		América	
		<i>Elionurus candidus</i> (Trin.) Hack.	Ely.can	<i>Elionurus muticus</i> (Spreng.) Kuntze	América	
		<i>Mnesithea selloana</i> (Hack.) de Koning & Sosef	Mne.sell	<i>Coelorachis selloana</i> (Hack.) A. Camus; <i>Rottboellia selloana</i> Hack.	América	
	Maydeae	<i>Zea mays</i> L.	Ze.may		América	C ₄
		<i>Echinochloa crus-pavonis</i> (Kunth) Schult.	Ech.crus		Pantropical	
		<i>Echinochloa helodes</i> (Hack.) Parodi	Ech.hel		América	
		<i>Panicum elephantipes</i> Nees ex Trin.	Pan.ele		América	
		<i>Panicum grumosum</i> Nees	Pan.grum		América	
		<i>Panicum prionitis</i> Nees	Pan.pri		América	
		<i>Paspalidium paludivagum</i> (Hitchc. & Chase) Parodi	Pas.pal		Pantropical	
	Paniceae	<i>Paspalum plicatulum</i> Michx.	Pas.pli		América	C ₄
		<i>Paspalum quadrifarium</i> Lam.	Pas.qua		América	
		<i>Paspalum rufum</i> Nees ex Steud.	Pas.ruf		América	
		<i>Paspalum urvillei</i> Steud.	Pas.urv		América	
		<i>Pennisetum latifolium</i> Spreng.	Penn.lat		América	
		<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach.	Penn.pur		África	
		<i>Stenotaphrum secundatum</i> (Walter) Kuntze	Ste.sec		América	
		<i>Aira caryophyllea</i> L.	Air.car		Europa	
	Aveneae	<i>Aira cristata</i> L.	Air.cri		Europa	C ₃
		<i>Aira elegans</i> Willd.	Air.elg		Europa	

Tabla II.1 Continuación

		<i>Aira elegantissima</i> Schur	Air.ele		Eurasia y África	
		<i>Amphibromus quadridentulus</i> (Döll) Swallen	Amp.qua		América	
		<i>Amphibromus scabrivalvis</i> (Trin.) Swallen	Amp.sca		América	
	Bromeae	<i>Bromus auleticus</i> Trin.ex Nees.	Br.aul		América	
		<i>Bromus catharticus</i> Vahl	Br.uni	<i>Bromus unioloides</i> Kunth	América	C ₃
		<i>Briza subaristata</i> Lam.	Bri.sub		América	
		<i>Poa annua</i> L.	Po.ann		América	
	Poeae	<i>Poidium poaemorphum</i> (J.Presl) Matthei	Poi.poe	<i>Panicum poaemorphum</i> J.Presl; <i>Microbriza poaemorpha</i> (J.Presl) Parodi ex Nicora & Rúgolo	América	C ₃
		<i>Vulpia myuros</i> (L.) C.C. Gmel.	Vu.myo		Europea	
STIPOIDEAE	Stipeae	<i>Nassella longiglumis</i> (Phil.) Barkworth	Nas.long	<i>Stipa longiglumis</i> Phil.	América	
		<i>Nassella neesiana</i> (Trin. & Rupr.) Barkworth	Nas.nee	<i>Stipa neesiana</i> Trin. & Rupr.	América	
		<i>Nassella trichotoma</i> (Nees) Hack. ex Arechav.	Nas.tri	<i>Stipa trichotoma</i> Nees	América	
		<i>Piptochaetium montevidense</i> (Spreng.) Parodi	Pip.mon		América	C ₃
		<i>Piptochaetium panicoides</i> (Lam.) E. Desv.	Pip.pan		América	
		<i>Piptochaetium ruprechtianum</i> E. Desv.	Pip.rup		América	
		<i>Piptochaetium stipoides</i> (Trin. & Rupr.) Hack. ex Arechav.	Pip.sti		América	

Procesamiento y observación

La extracción de los silicofitolitos de las nuevas especies se realizó mediante el método de incineración (500 °C) para obtener partículas desarticuladas y de oxidación (Peróxido de Hidrógeno 30%) para registrar los silicofitolitos en contexto anatómico (Piperno 1988). Se montaron preparados permanentes con Entellan (IR=1,7) para la observación microscópica. Se utilizó también glicerina como medio de montaje, para preparados móviles que permitieran observar la estructura tridimensional de las partículas biosilíceas.

Los preparados fueron observados en un microscopio Nikon Eclipse 50i a 200, 400 y 1000 magnificaciones, adaptado a cámara Micrometrics 519CU para la captura y digitalización de imágenes. Se llevó a cabo el análisis cualitativo y cuantitativo de las formas silíceas observadas: descripción morfológica y morfométrica, origen anatómico y abundancia relativa. Se analizó un mínimo de 500 células cortas por espécimen, relevándose y analizándose conjuntamente otros fitolitos generados en estas plantas (células bulliformes, apéndices dérmicos, etc). Para el análisis métrico las imágenes capturadas fueron procesadas con el software ImageTool 3.0. La descripción de los morfotipos se realizó según el ICPN 1.0 (Internacional Code for Phytolith Nomenclature, Madella et al. 2005), las propuestas de clasificación de Patterer et al. (2011), del Puerto et al. (2011) y Zucol et al. (2010).

Análisis estadístico

A partir de la abundancia relativa de los morfotipos de células cortas en las distintas especies de gramíneas que integran la colección de referencia, se efectuaron análisis multivariados como *clusters* y componentes principales, para visualizar el agrupamiento y ordenamiento de las especies en relación a los morfotipos relevados e identificar conjuntos de morfotipos indicadores de grupos taxonómicos relevantes. Dichos análisis fueron llevados a cabo con el software PAST 3.0 (Hammer et al. 2001).

También se llevaron a cabo análisis discriminantes con el software SPSS 22, a dos niveles:

- Taxonómico: para determinar la capacidad de discriminar entre subfamilias y tribus de gramíneas
- Funcional: discriminación de especies C_3 versus C_4 .

Fitolitos en suelo

Este análisis se llevó a cabo sobre muestras de suelo obtenidas de acuerdo a un diseño experimental de sitios pareados de clausura y pastoreo, seleccionando potreros donde los herbívoros domésticos habían sido excluidos por períodos mayores a los 10 años, tiempo durante el cual tiene lugar la mayoría

de los cambios florísticos inducidos por la exclusión de los herbívoros (Rodríguez et al. 2003). Las parcelas pareadas se localizaron en siete áreas diferentes: la Reserva de Flora y Fauna privada “El Relincho”, la Estación Experimental del Secretariado Uruguayo de la Lana (SUL), la Estación Experimental INIA-Glencoe, El Área Protegida Quebrada de los Cuervos, el Parque Nacional “El Palmar”, la Estancia “Las Chilcas” y el Establecimiento San Claudio (Figura II.2, Tabla II.2). El análisis de silicofitolitos se desarrolló sobre muestras superficiales (0-5 cm) de sedimentos de diferentes parcelas pareadas por localidad, intentando abordar no solo variaciones climáticas entre las localidades, sino también diferencias edáficas y en la historia del uso del suelo inter e intra-sitio (Tabla II.2).

Tabla II.2 Información geográfica de los sitios de exclusión y características edáficas de las distintas parcelas analizadas. Fuente: Piñeiro (2006; com. pers. 2012).

Exclusión	Latitud S	Longitud W	Parcela	Tipo de Suelo	MO	pH	Rocas	% Arena	% Limo	% Arcilla
PAL	31°49'60.00"	58°16'60.00"	A	Profundo	2,96	5,5	1,07	69,00	14,38	16,62
			B	Profundo	1,82	5,6	0,60	71,00	12,72	16,28
			C	Profundo	6,28	5,2	1,20	69,00	19,33	11,67
Glencoe	32° 0'0.00"	57° 7'60.00"	C94	Profundo	7	5,4	4,39	15,24	41,68	43,08
			C84	Superficial	6,42	5,6	11,37	25,06	37,43	37,50
			C84 layado	Superficial	4,64	5,6	8,02	25,82	42,20	31,98
Quebrada	32°55'36.66"	54°27'15.36"	S1	Superficial	5,33	4,8	40,80	13,81	40,55	45,62
			S2	Profundo	5,58	4,8	1,46	6,12	49,94	46,94
			S3	Superficial	5,23	5	3,38	16,15	34,53	49,32
			S4	Superficial	5,48	5	49,40	20,37	42,15	37,47
SUL	33°52'0.00"	55°32'60.00"	A	Profundo	3,65	5,3	3,84	34,61	44,43	20,97
Relincho	34°19'0.00"	57° 1'60.00"	Ñandú Sur	Superficial	5,02	5,6	4,00	31,00	43,20	25,80
			Blanqueal	Profundo	3,2	5,6	2,17	26,00	54,86	19,14
			Don Julio	Superficial	2,57	5,6	9,54	45,91	30,96	23,13
			Bonilla	Profundo	3,05	5,6	5,70	22,00	52,80	25,20
			Corral Casa	Profundo	4,74	5,5	0,73	35,00	41,94	23,06
			Los Zorros	Profundo	4,98	5,4	2,60	44,00	33,73	22,27
San Claudio	35°56'32.14"	61°12'9.73"	6	Profundo	4,18	6,2	0,00	53,67	23,17	23,17
			7	Profundo	2,75	6,2	0,00	56,74	23,60	19,67
Chilcas	36°30'0.00"	58°30'0.00"	B	Profundo	5,62	6,2	0,00	25,00	48,59	26,41
			C	Profundo	5,7	6,2	0,00	23,00	54,94	22,06

Procesamiento y observación

Para la extracción del contenido biosilíceo, las muestras sedimentarias fueron sometidas a un procedimiento estándar, modificado de Zhao y Pearsall (1998): eliminación de carbonatos mediante ataque ácido con HCL (35%), eliminación de materia orgánica con Peróxido de Hidrógeno (30%) a Baño María, defloculación en ultrasonido con Hexametáfosfato de Sodio (4%), extracción de la fracción arena

mediante tamizado y remoción de la fracción arcilla por decantación. Se realizaron preparados permanentes con Entellan para la observación y análisis de las partículas biosilíceas.

Se procedió al conteo, clasificación e identificación de silicofitolitos en las muestras analizadas, usando el nuevo sistema de clasificación de células cortas desarrollado a partir del análisis del material vegetal comparativo de la colección de referencia. Se hizo hincapié en el análisis y asignación taxonómica (subfamilia y tribu) y funcional (mecanismo fotosintético) de las células cortas de gramíneas, calculándose también los índices de temperatura y humedad propuestos por Twiss (1992) y utilizados ampliamente en reconstrucciones paleoambientales de la región (Bracco et al. 2011a, 2009; García-Rodríguez et al. 2010, 2009; del Puerto et al. 2011, 2008, 2006). Estos índices se calculan a partir de la relación de abundancia relativa de células cortas pooides, panicoides y chloridoides según las siguientes fórmulas:

$$IT = (\text{pooides} / (\text{pooides} + \text{panicoides} + \text{chloridoides})) * 100$$

$$IH = (\text{chloridoides} / (\text{chloridoides} + \text{panicoides})) * 100$$

Tienen su sustento en la distribución fitogeográfica a nivel mundial de las subfamilias de gramíneas Pooideae, Panicoidea y Chloridoideae y su relación con el clima a nivel global (Figura II.1). Mayores valores del índice de temperatura se relacionan con un predominio de fitolitos pooides (característicos de climas fríos de altas latitudes o elevaciones) y por ende con menores valores de temperatura. Mayores valores del índice de humedad reflejan condiciones de menor humedad o mayor estacionalidad en las precipitaciones, ya que responden al dominio de especies chloridoides dentro de las gramíneas C_4 , que predominan en regiones áridas y sub-áridas del globo (Twiss 1992).

Análisis estadístico

Se cotejó estadísticamente la relación entre los resultados obtenidos a nivel taxonómico y funcional a partir de las células cortas de gramíneas con la información climática existente para cada localidad y parcela bajo exclusión analizada. La información climática fue obtenida de la base www.worldclime.org, con una resolución espacial de 1km (Hijmans et al. 2005). Se utilizaron en particular las variables bioclimáticas, derivadas de valores mensuales de temperatura y precipitación para la generación de variables relevantes desde el punto de vista biológico (Tabla II.3). Estas variables representan tendencias anuales, estacionalidad y factores ambientales extremos o limitantes (Hijmans et al. 2005). Se efectuaron análisis de correlación utilizando el software PAST 2.17c (Hammer et al. 2001).

Tabla II.3 Valores de las variables bioclimáticas para los sitios de exclusión con parcelas analizadas. Fuente: www.worldclim.org, fecha de consulta abril de 2014.

Variables bioclimáticas	Localidad						
	PAL	Glencoe	Quebrada	SUL	Relincho	San Claudio	Chilcas
BIO1: temperatura (tº) media anual	18,3	18,1	17,1	16,7	17,1	15,5	14,9
BIO2: rango diurno medio de tº	12,5	12	12,2	11,5	10,5	13,1	12,7
BIO3: isothermalidad	48	46	49	47	44	47	47
BIO4: estacionalidad en la tº	464,5	466,7	426,6	441,7	453,3	508,2	476,8
BIO5: tº máxima mes más cálido	32,4	32,1	30,5	30,2	30,2	31	30
BIO6: tº mínima del mes más frío	6,4	6,6	5,6	5,9	6,7	3,3	3,5
BIO7: rango anual de tº	26	25,6	24,6	24,3	23,4	27,7	26,5
BIO8: tº media de la estación húmeda	21,4	23,8	11,2	17	17,3	21,5	20,7
BIO9: tº media estación seca	12,5	12,4	20,9	21,1	12,1	9	8,9
BIO10: tº media estación cálida	24,4	24,4	22,7	22,3	23	22	21
BIO11: tº media estación fría	12,5	12,5	11,5	11,2	11,4	9	8,9
BIO12: precipitación (pp) media anual	1188	1216	1267	1286	1183	965	909
BIO13: pp mes más húmedo	141	132	120	121	122	128	97
BIO14: pp mes más seco	63	73	84	92	79	36	52
BIO15: estacionalidad en pp	23	18	10	7	12	37	21
BIO16: pp estación húmeda	367	359	335	343	329	334	279
BIO17: pp estación seca	208	236	273	294	257	121	159
BIO18: pp estación cálida	325	317	288	300	292	310	270
BIO19: pp estación fría	208	236	335	323	262	121	160

II.2.3 Resultados

Material vegetal de referencia

En las Figuras II.3 a II.7 se presentan ilustraciones de los 132 identificados relevados en las 75 especies de gramíneas analizadas. La descripción de cada tipo se presenta en el Anexo I, junto a la de otros morfotipos relevados en especies de otras familias vegetales.

Del total de morfotipos de gramíneas, 71 (sin incluir algunos subtipos) corresponden a células cortas, células especializadas silíceas que tienen funciones de sostén y resistencia y que revisten el mayor potencial diagnóstico (ej. Fredlund y Tieszen 1994; Mulholland y Rapp 1992). Los restantes morfotipos pertenecen a apéndices dérmicos (pelos, espinas, tricomas, papilas, etc), células buliformes, células largas y estomas. En muy escasa proporción, se observaron también elementos de conducción y fibras

silicificados. Para cada especie se relevó la asociación completa de silicofitolitos, información que se presenta en el Anexo II.

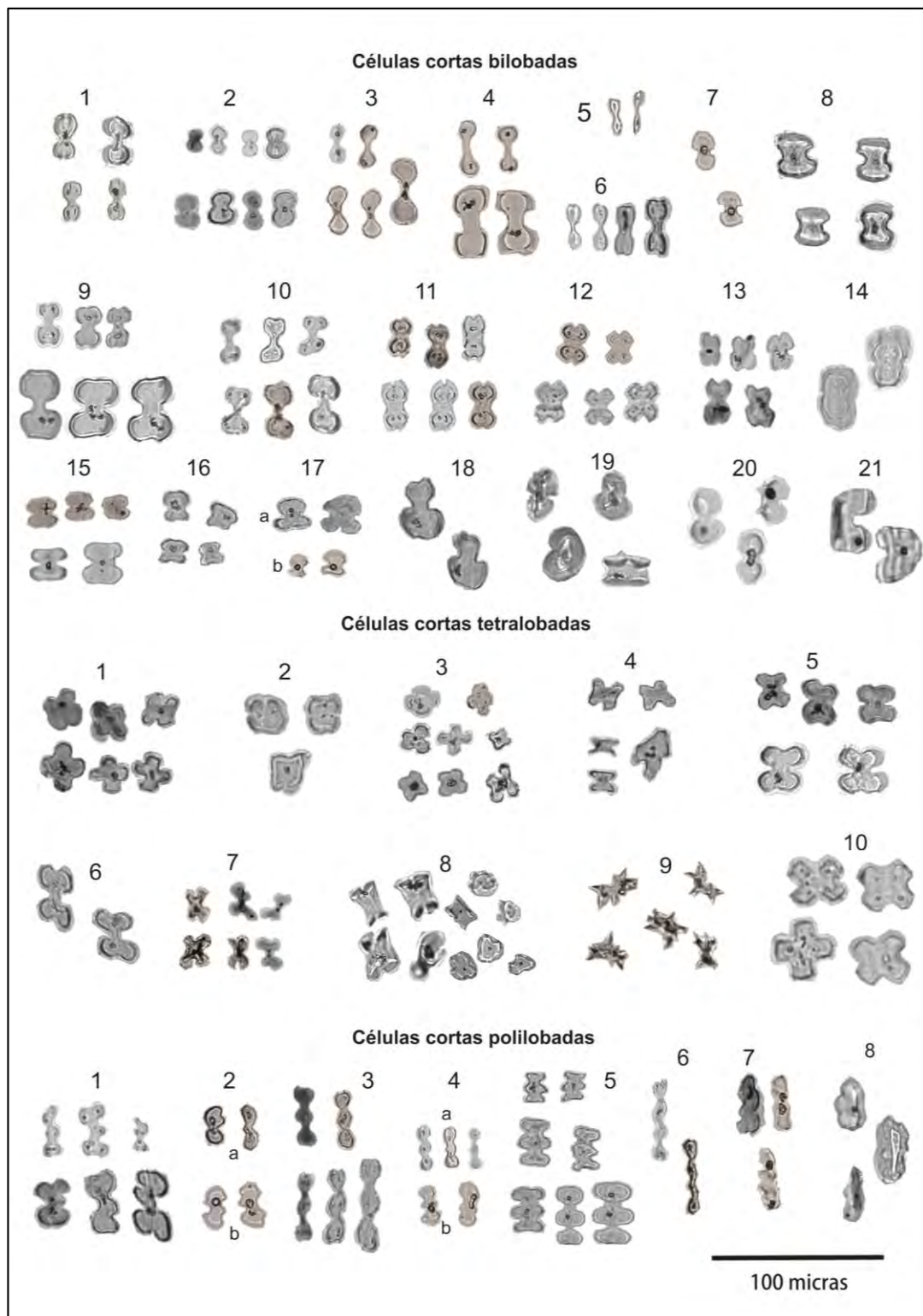


Figura II.3. Imágenes ilustrativas de los morfotipos correspondientes a células cortas bilobadas, tetralobadas y polilobadas registrados en las especies analizadas. La descripción de cada tipo se presenta en el Anexo I.



Figura II.4. Imágenes representativas de los morfotipos de células cortas de gramíneas circulares, cónicas, en forma de silla de montar y trapezoidales registrados en el material comparativo. La descripción de cada tipo se presenta en el Anexo I.

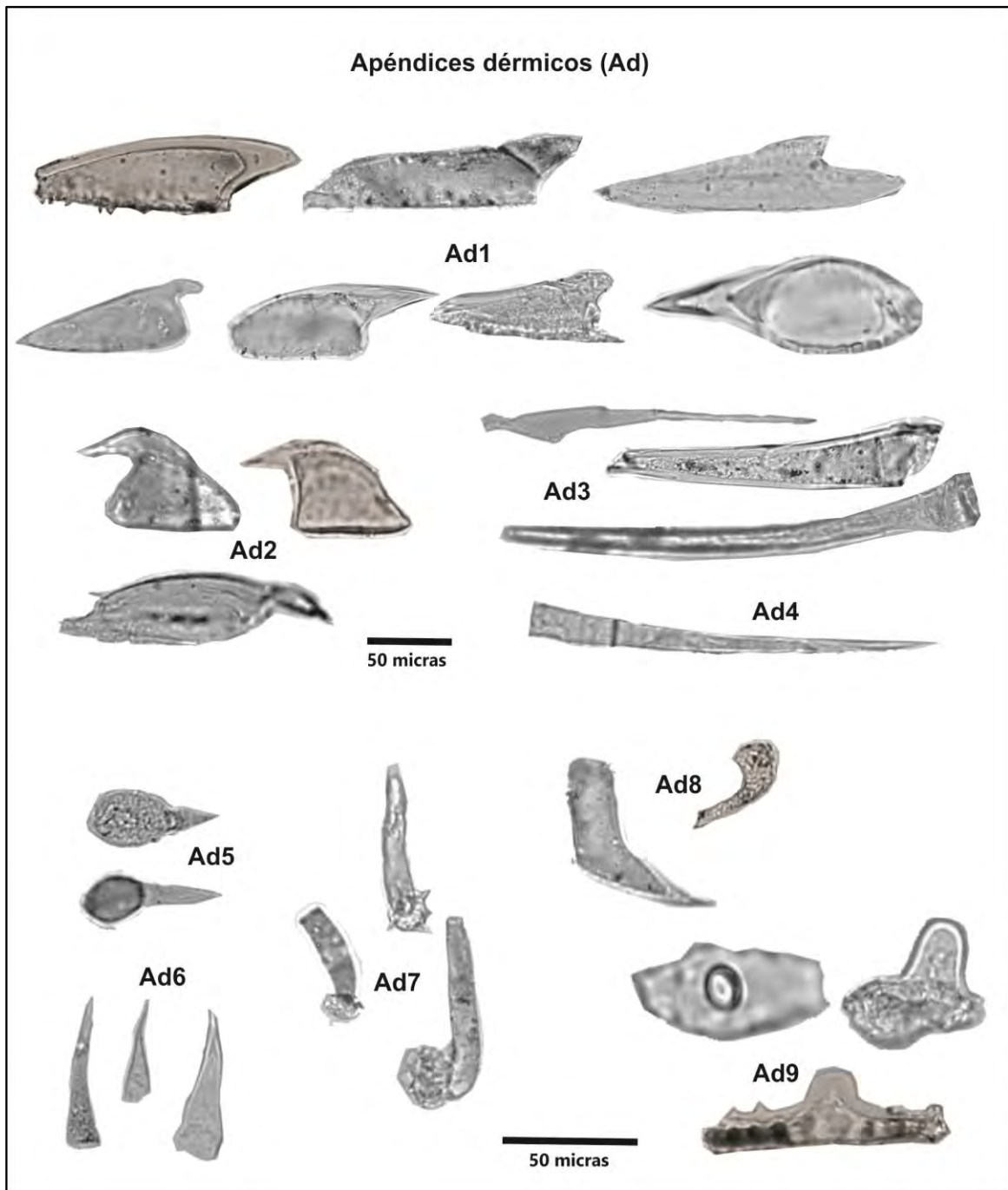


Figura II.5. Principales morfotipos de apéndices dérmicos registrados en el material comparativo. La descripción de cada tipo se presenta en el Anexo I.

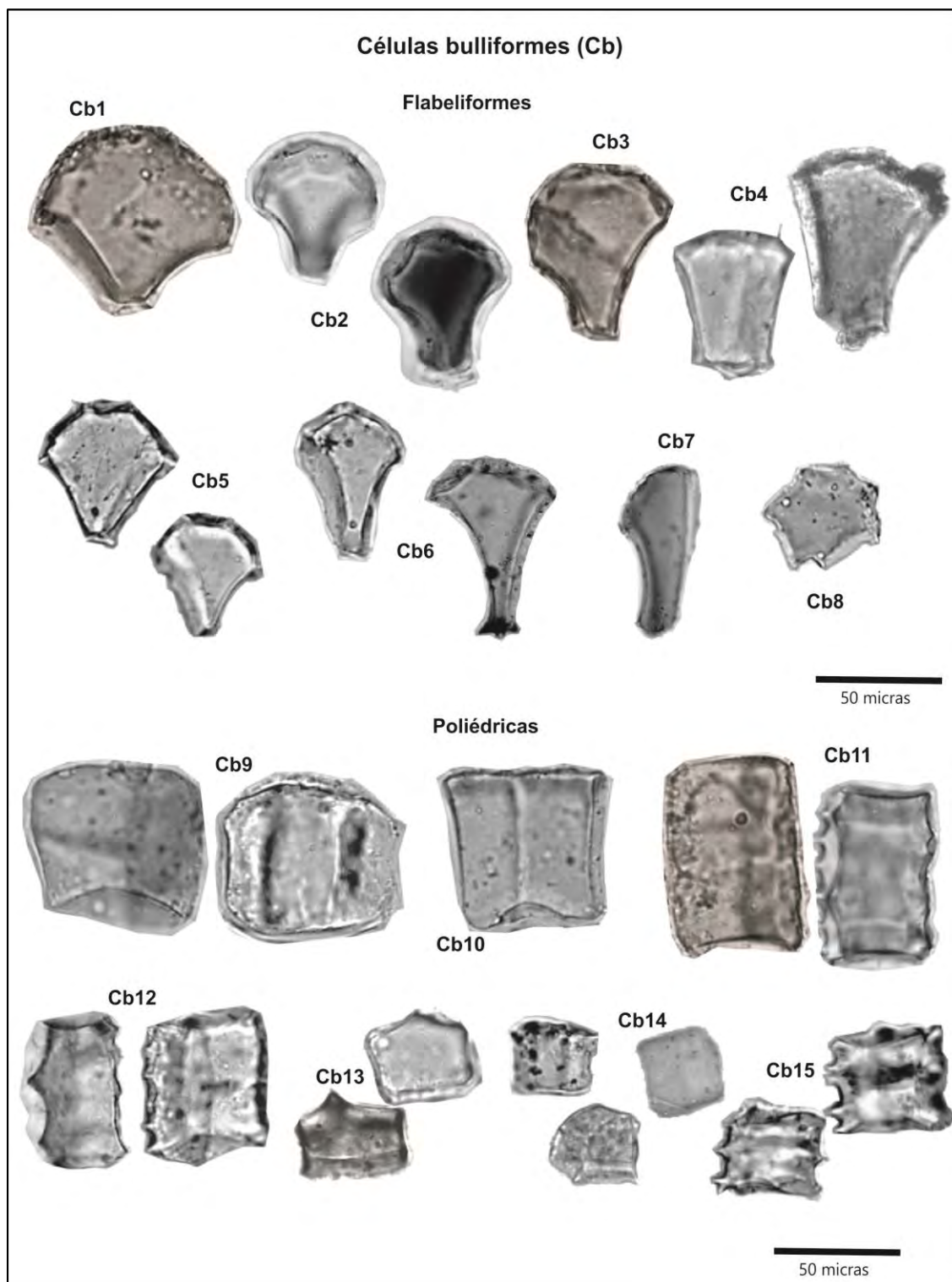


Figura II.6. Principales morfotipos de células bulliformes identificados en el material comparativo. La descripción de cada tipo se presenta en el Anexo I.

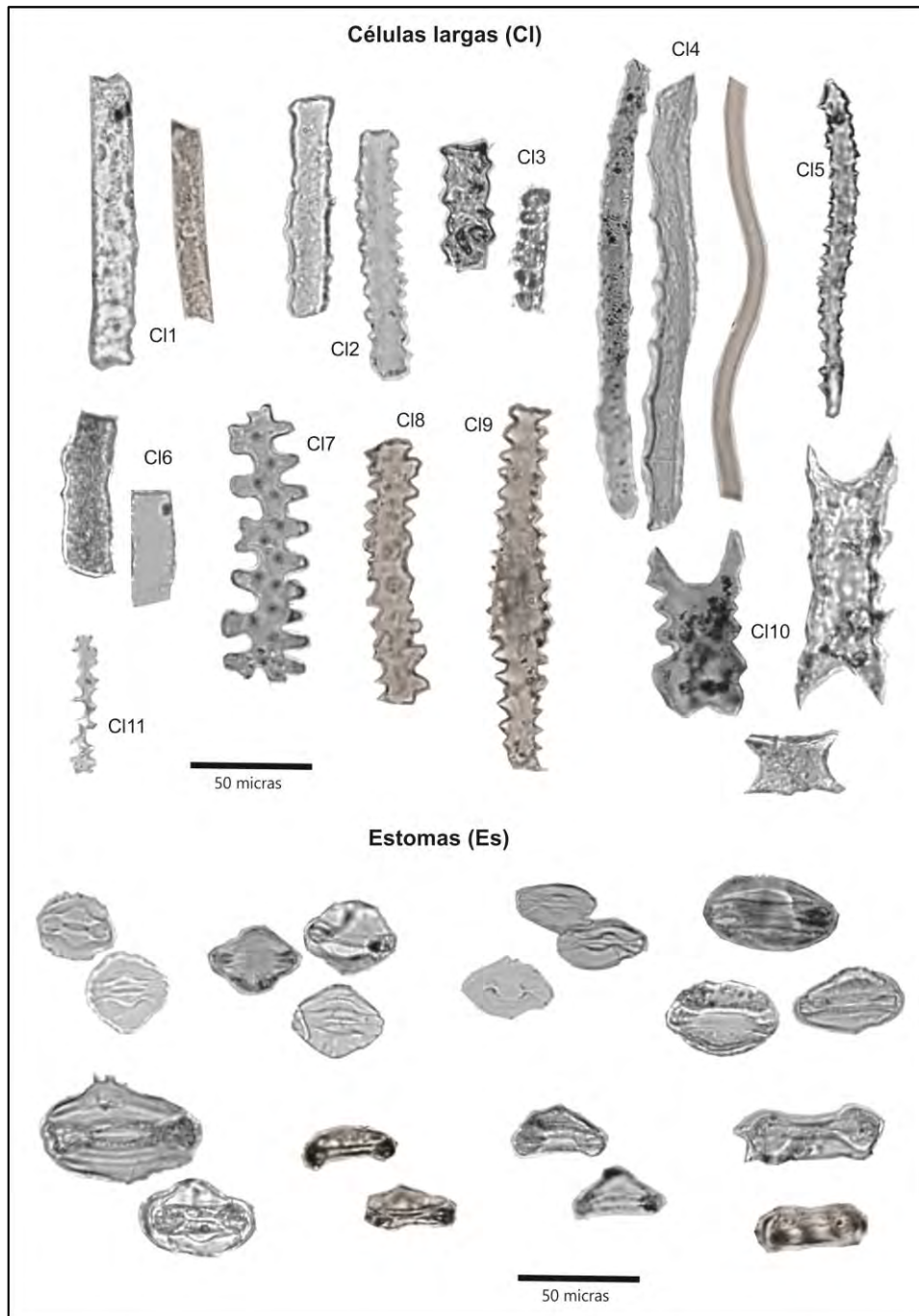


Figura II.7. Morfotipos correspondientes a células largas (arriba) y complejos estomáticos silicificados (abajo) identificados en el material vegetal de referencia. La descripción de cada tipo se presenta en el Anexo I.

La distribución de abundancias relativas de estos morfotipos de acuerdo a las especies y grupos taxonómicos (subfamilia y tribus) se presenta en las Figuras II.8 a II.11. Las especies están ordenadas alfabéticamente al interior de los grupos taxonómicos (subfamilia y tribu) tal como se presenta en la Tabla II.2. Como criterio de inclusión, se consideraron solo aquellos morfotipos con abundancias relativas superiores al 2% en al menos 3 especies o superiores al 5% en una especie (Karst y Smol 2000).

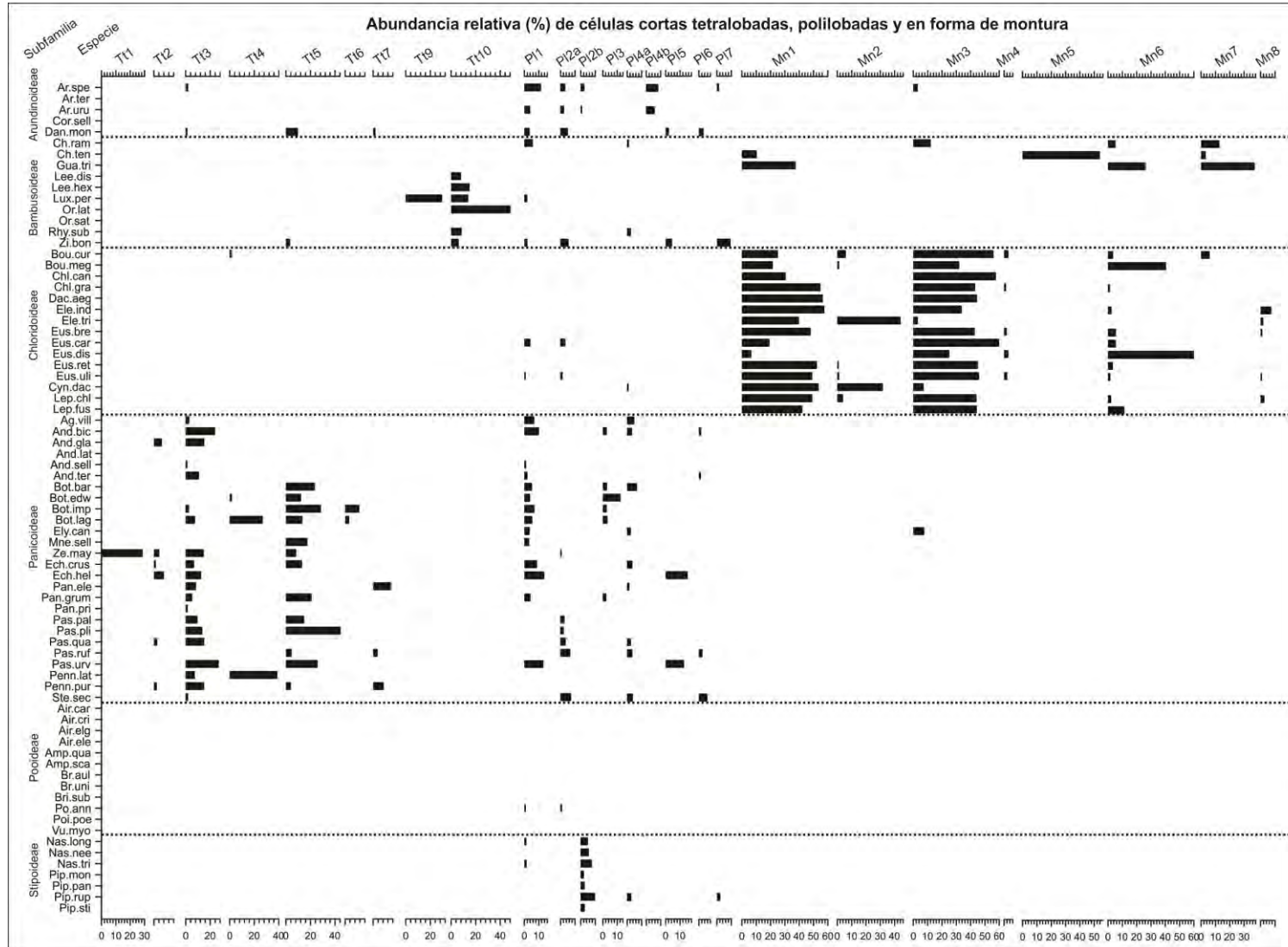


Figura II.9 Distribución de abundancia relativa de células cortas tetralobadas, polilobadas y en forma de silla de montar en las especies de gramíneas analizadas (abreviaturas en Tabla II.1) ordenadas por subfamilia.

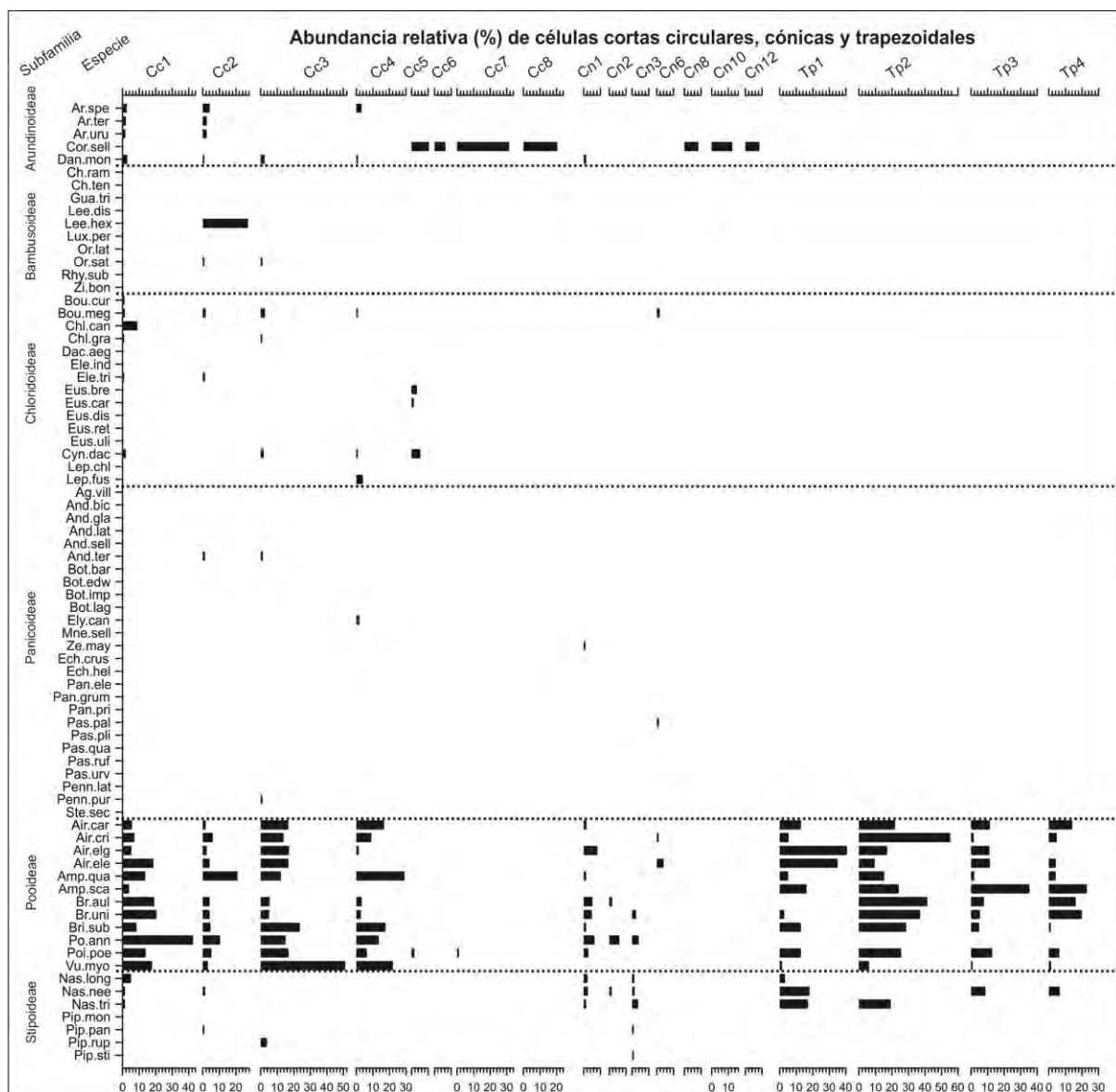


Figura II.10. Distribución de abundancia relativa de células cortas circulares, cónicas y trapezoidales en las especies de gramíneas analizadas (abreviaturas en Tabla II.1) ordenadas por subfamilia.

Como se aprecia en los gráficos de las Figuras II.8 a II.10, hay conjuntos de morfotipos de células cortas de gramíneas que son producidos en mayor frecuencia en especies de algunas subfamilias y tribus, aunque son raros los morfotipos exclusivos a nivel de especie o grupo taxonómico mayor. Dentro de ellos, se puede mencionar al morfotipo Bl20 correspondiente a una célula corta en forma de pesa de gimnasia heterogénea, con una cara plana bilobada y la otra cara aquillada que termina en una superficie delgada. Este morfotipo ha sido registrado únicamente en especies de la subfamilia Stipoideae y de la tribu Stipeae. Sin embargo, aunque ese morfotipo sea exclusivo de esta subfamilia y tribu, es producido junto a otros morfotipos compartidos con otros grupos taxonómicos (Figuras II.8 a II.10). En forma similar, los morfotipos Bl11, Bl12, Tt9 y Tt10 han sido registrados únicamente en

especies de tribu Oryzeae y, en el caso de Tt9 solo en la especie *Luziola peruviana* (Figura II.9). Otros morfotipos de fácil asignación taxonómica son las células cortas en forma de silla de montar referidas como Mn5 y Mn7, que fueron observadas únicamente en especies de la tribu Bambuseae. Al igual que en los casos anteriores, son producidos junto a otros morfotipos no necesariamente característicos del mismo grupo.

A nivel de asociaciones de morfotipos de células cortas, se pueden identificar visualmente algunas tendencias. Por ejemplo, la mayor parte de células circulares, cónicas y trapezoidales es producida en especies de la subfamilia Pooideae, predominando las formas trapezoidales en las tribus Avenae y Bromeae y las formas circulares en la tribu Poeae (Figura II.10). En forma similar, las células en forma de silla de montar (a excepción de los morfotipos Mn5 y Mn7 ya referidos) parecen caracterizar a la subfamilia Chloridoideae, sin mayores distinciones entre las distintas tribus. Dentro de la familia Arundinoideae, la tribu Aristidae se caracterizó por la mayor representación de células bilobadas de los tipos Bl3, Bl4 y Bl17b (Figura II.8). En la tribu Danthonieae, no obstante, no se halló ninguna similitud entre los morfotipos producidos por las dos especies analizadas dentro del taxón (Figuras II.8 a II.10). *Cortaderia selloana* presentó una distribución de morfotipos bastante característica, con células circulares y cónicas muy escasas en otras especies (Figura II.10). Sin embargo, la asociación de morfotipos relevada en la otra especie de la tribu, *Danthonia montevidensis*, se asemeja más especies de otras tribus y subfamilias.

Finalmente, la subfamilia Panicoideae presentó una gran variedad de morfotipos producidos por las 26 especies del taxón que integran el material de referencia. Si bien no se registraron formas exclusivas a nivel de tribu o subfamilia (a excepción de *Zea mays* que será abordado específicamente en Capítulo III) es claro que la mayor parte de las células bilobadas y tetralobadas (exceptuando las referidas previamente para otros grupos: ej. Bl3,4, 11, 12, 17b y 20; Tt9 y 10) son producidas mayormente dentro de esta subfamilia (Figura II.8).

En el caso de otros morfotipos que no corresponden a células cortas (Figura II.11), resulta más difícil aún hallar ejemplares únicos o diagnósticos a niveles taxonómicos relevantes. En muchos casos, estos fitolitos responden a mecanismos pasivos de silicificación que están determinados por las condiciones del ambiente de crecimiento del vegetal (características del suelo, disponibilidad de sílice, estrés hídrico, etc.) variando considerablemente su producción incluso entre ejemplares de la misma especie (Fredlund y Tieszen 1994; Mulholland y Rapp 1992; Piperno 1988). Por tal motivo, estos otros morfotipos no fueron considerados en los análisis multivariados, aunque no dejan de ser importantes a la hora de ilustrar las asociaciones características de los grupos y de la familia Poaceae en general.

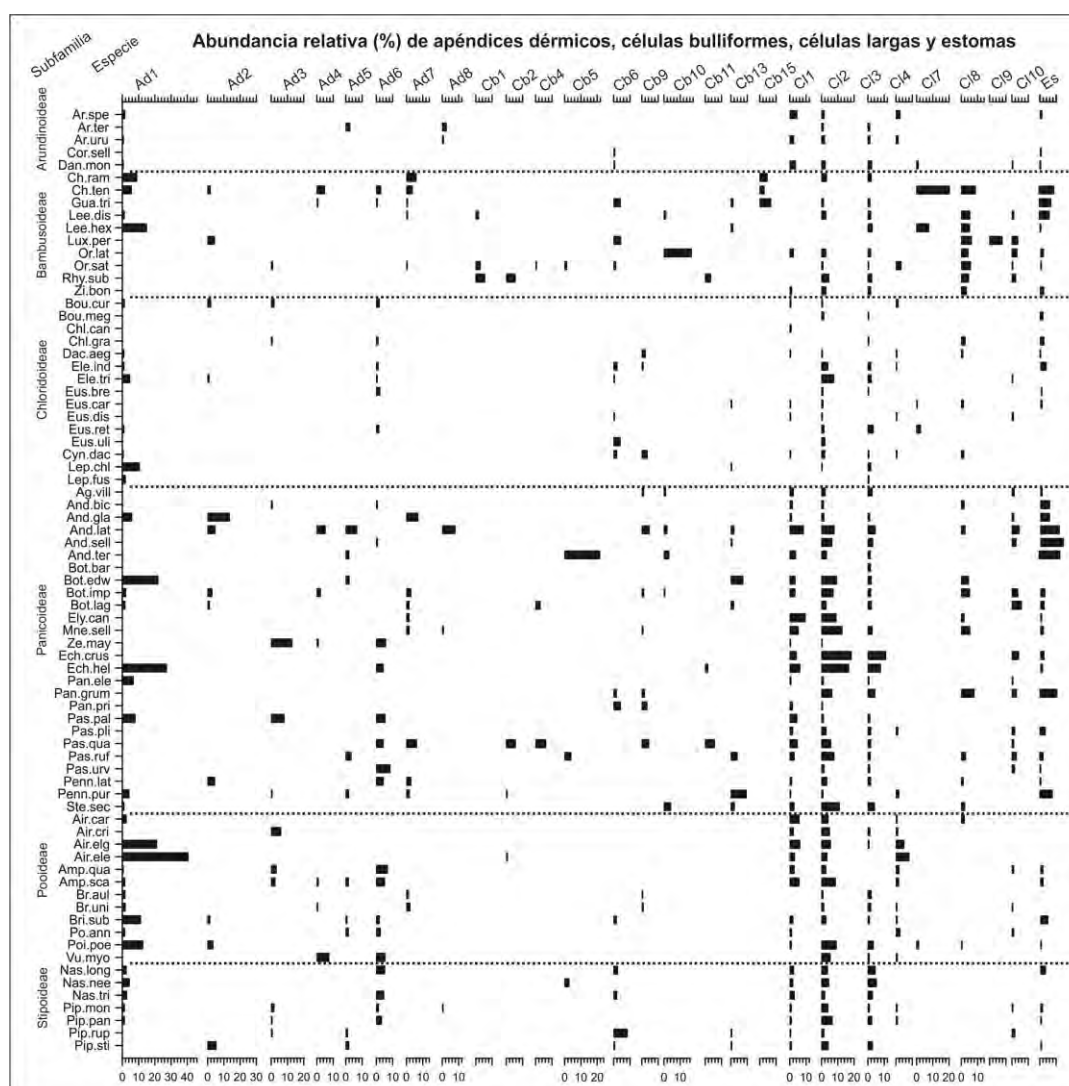


Figura II.11. Distribución de abundancia relativa de morfotipos correspondientes a apéndices dérmicos, células bulliformes, células largas y estomas en las especies de gramíneas analizadas (abreviaturas en Tabla II.1) ordenadas por subfamilia.

El dendrograma de la Figura II.12 muestra las agrupaciones obtenidas a partir de las asociaciones de fitolitos de células cortas silicificadas, utilizando el método *Neighbour joining clustering* y el índice de Morisita para medir la fuerza de asociación. En el mismo se aprecia claramente que las asociaciones fitolíticas son efectivas para agrupar correctamente la mayoría de las especies analizadas. Las excepciones están dadas por *Danthonia montevidensis* (Arundinoideae-Danthonieae) y por *Chusquea ramossissima* (Bambusoideae-Bambuseae), ambas agrupadas con la subfamilia Panicoideae. La amplia producción en estas especies de morfotipos bilobados característicos de la subfamilia Panicoideae (Figura II.8), explica su ubicación en el grupo que reúne a las especies de esta familia.

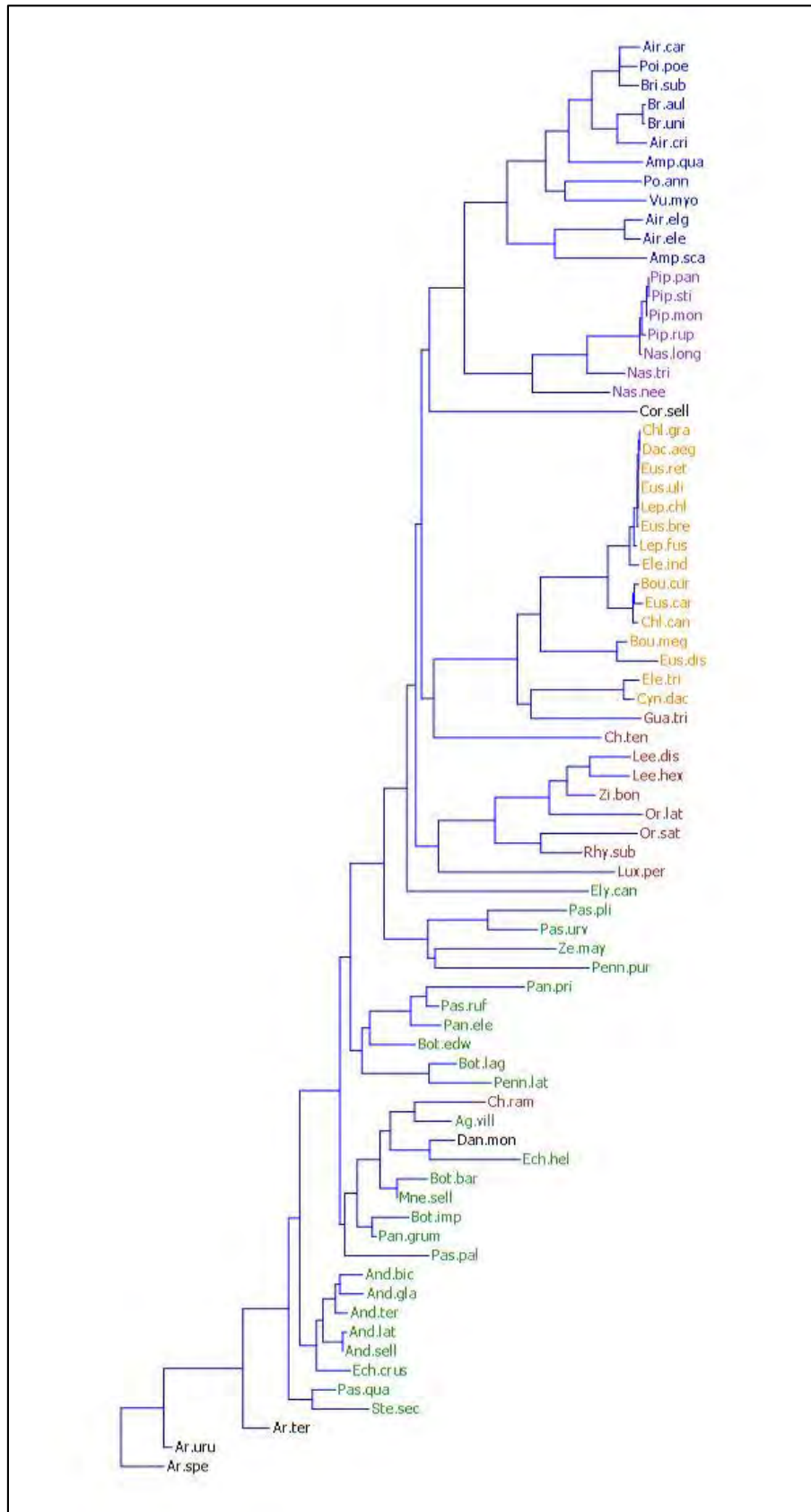


Figura II.12. Dendrograma resultante del análisis *Neighbour Joining Clustering* a partir de la abundancia relativa de morfotipos de células cortas de gramíneas. Los distintos colores identifican a las subfamilias de pertenencia de las especies (Tabla II.1).

En los gráficos de la figura II.13 se presentan los resultados del Análisis de Componentes Principales (ACP) efectuado sobre la misma matriz de datos de células cortas de las 75 especies de gramíneas. Se incluyen tanto las especies (puntos) como los morfotipos (flechas) para contribuir a identificar los morfotipos característicos de los grupos taxonómicos. Los primeros 3 factores explican el 58 % de la variabilidad (29,52, 18,68 y 9,29 respectivamente), pero aun así pueden confirmarse asociaciones de especies y morfotipos ya identificadas en los gráficos de distribución de abundancia relativa.

Entre las asociaciones más fácilmente distinguibles se encuentra la de morfotipos en forma de montura (Mn1, 2 y 3) con especies de la subfamilia Chloridoideae sin distinción de tribu. También las especies de las subfamilias Pooideae y Panicoideae se asocian en conjunto al interior de cada subfamilia sin distinción de tribus. En el primer caso, a partir de morfotipos trapezoidales (Tp1 a 4) y circulares (Cc1-6), mientras que el segundo es definido por los morfotipos bilobados Bl1, Bl9, Bl10 y tetralobados Tt1 a Tt5.

Las especies de la tribu Stipeae (subfamilia Stipoideae) se diferencian claramente y se hallan fuertemente definidas por el morfotipo Bl20. Finalmente, la tribu Oryzeae se distingue claramente a partir de los morfotipos Bl11, Bl12 y Tt10.

A partir de los resultados obtenidos de los análisis multivariados (Figuras II.12 y II.13) y de los gráficos de distribución de abundancias relativas de morfotipos (Figuras II.8 al 10) se definieron los grupos taxonómicos de interés y las asociaciones de morfotipos que los caracterizan (Tabla II.4).

Tabla II.4 Principales grupos taxonómicos de gramíneas y asociaciones de morfotipos características

Grupo Taxonómico	Grupo Fitolítico	Morfotipos característicos
1.Aristidae	Aristidoide	Bl3, Bl4, Bl7, Bl17b, Pl4b
2.Danthonieae	Danthonioide	Cc5, Cc6, Cc7, Cc8, Cn8, Cn9, Cn12
3.Bambuseae	Bambusoide	Bl21, Pl7, Mn5, Mn7
4.Oryzeae	Oryzoide	Bl11, Bl12, Bl15, Tt9, Tt10
5.Chloridoideae (Chlorideae, Eragrostidae, Cynodontae)	Chloridoide	Mn1, Mn2, Mn3, Mn4, Mn6, Mn8
6.Panicoideae (Andropogonae, Maydeae y Paniceae)	Panicoide	Bl1, Bl2, Bl5, Bl6, Bl8, Bl9, Bl10, Bl13, Bl16, Bl17a, Bl18, Bl19, Tt1, Tt2, Tt3, Tt4, Tt5, Tt6, Tt7, Tt8, Pl3, Pl4a, Pl5, Pl6
7.Pooideae (Avenae, Bromeae y Poeae)	Pooide	Cc1, Cc2, Cc3, Cc4, Cn1, Cn2, Cn3, Cn4, Cn5, Cn6, Tp1, Tp2, Tp3, Tp4
8. Stipoideae (Stipeae)	Estipoide	Bl20, Pl2b

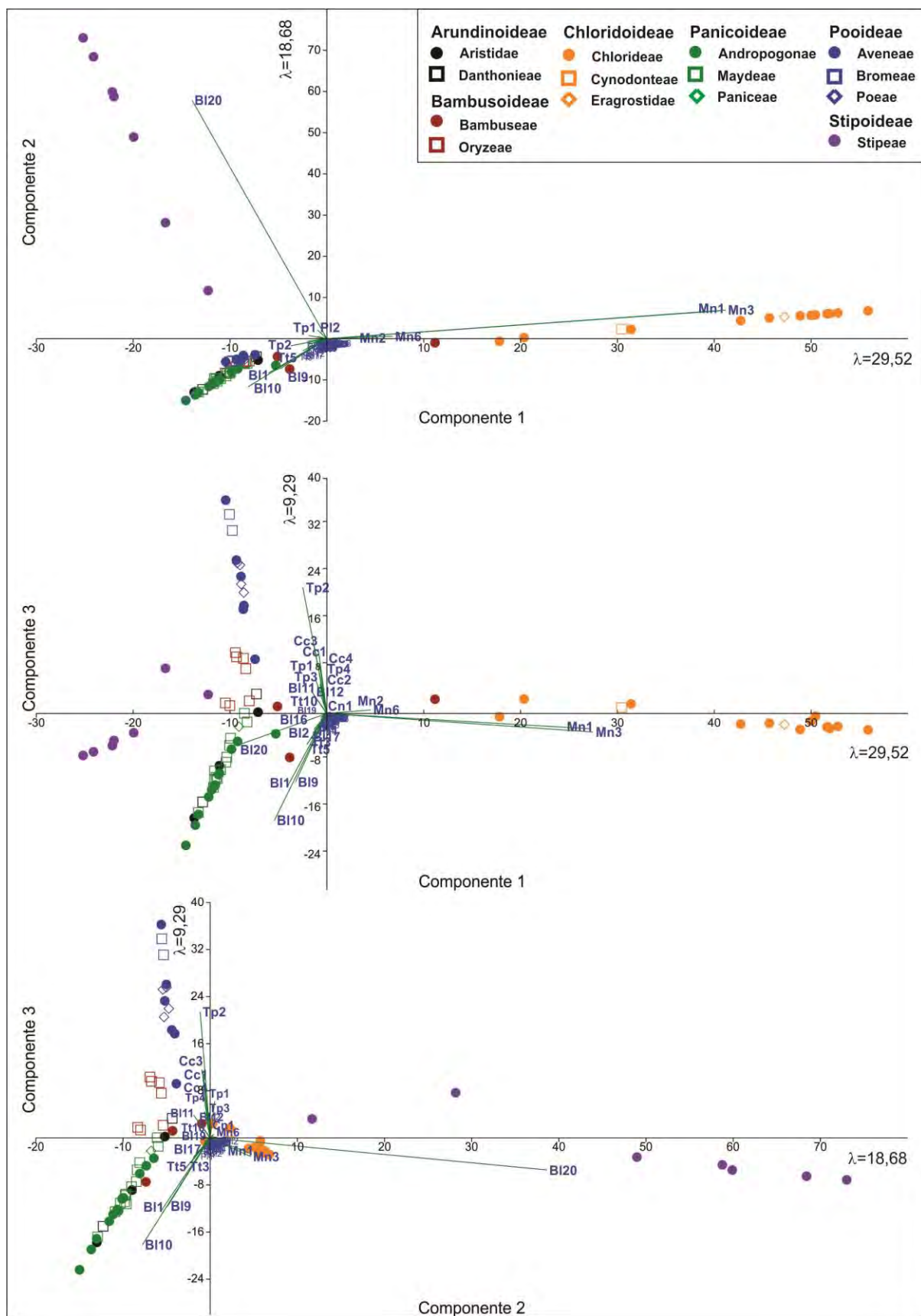


Figura II.13. Representación gráfica del resultado del ACP para los tres primeros componentes.

Ratificando el potencial taxonómico de los conjuntos de morfotipos de células cortas definidos, en la Figura II.14 se presenta el gráfico de los dos primeros factores resultantes del Análisis Discriminante para los grupos taxonómicos (subfamilias y tribus): 1.Aristidae 2.Danthonieae, 3.Bambuseae, 4.Oryzeae, 5.Chloridoideae (Chlorideae, Eragrostidae, Cynodontae), 6.Panicoideae (Andropogonae, Maydeae y Paniceae), 7.Pooideae (Avenae, Bromeae y Poeae) y 8. Stipoideae (Stipeae).

Las dos primeras funciones explican el 79 % de la varianza (Tabla II.5), siendo el 98,7 % de las especies exitosamente clasificadas (Tabla II.6). Solo *Danthonia montevidensis* fue clasificada fuera de su grupo taxonómico. Como se refirió anteriormente, esta especie presentó una asociación de morfotipos característica de una especie de la subfamilia Panicoideae y a ello responde su clasificación anómala dentro de este grupo. Para las restantes especies, los conjuntos de morfotipos resultaron efectivos a la hora de clasificar en los grupos taxonómicos correspondientes.

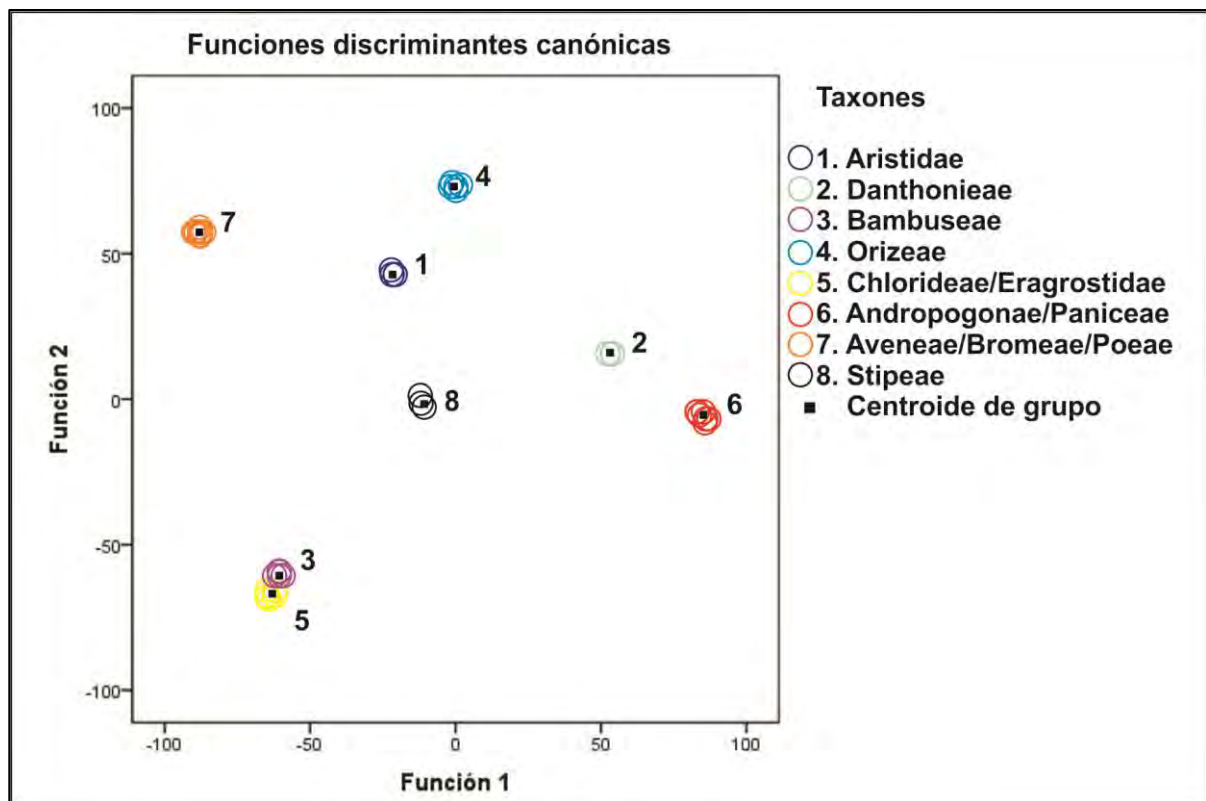


Figura II.14. Dispersión de los grupos taxonómicos de gramíneas en relación a las dos primeras funciones del análisis discriminante.

Tabla II.5 Autovalores de las funciones discriminantes canónicas

Función	Autovalor	% de varianza	% acumulado	Correlación canónica
1	145,637 ^a	59,3	59,3	,997
2	48,228 ^a	19,6	78,9	,990
3	24,469 ^a	10,0	88,8	,980
4	17,051 ^a	6,9	95,8	,972
5	5,500 ^a	2,2	98,0	,920
6	3,915 ^a	1,6	99,6	,892
7	,942 ^a	,4	100,0	,697

a. Se utilizaron las primeras 7 funciones discriminantes canónicas en el análisis.

 Tabla II.6 Resultados de clasificación^a del análisis discriminante entre grupos taxonómicos

Grupo taxonómico		Pertenencia a grupos pronosticada								Total
		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	
Original	Recuento	1,00	3	0	0	0	0	0	0	3
		2,00	0	1	0	0	0	1	0	2
		3,00	0	0	3	0	0	0	0	3
		4,00	0	0	0	7	0	0	0	7
		5,00	0	0	0	0	15	0	0	15
		6,00	0	0	0	0	0	26	0	26
		7,00	0	0	0	0	0	0	12	12
		8,00	0	0	0	0	0	0	7	7
%		1,00	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
		2,00	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	100,0
		3,00	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
		4,00	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	100,0
		5,00	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0
		6,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
		7,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
		8,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0

a. 98,7% de casos agrupados originales clasificados correctamente.

Finalmente, en la Figura II.15 se presenta el gráfico resultante del Análisis Discriminante de las especies de acuerdo a su mecanismo fotosintético C₃ o C₄, considerando la totalidad de los morfotipos sin agrupar. La clasificación fue 100% exitosa (Tabla II.7), denotando que los morfotipos de células cortas son efectivos en la discriminación de grupos funcionales, más allá de su asignación a taxones particulares.

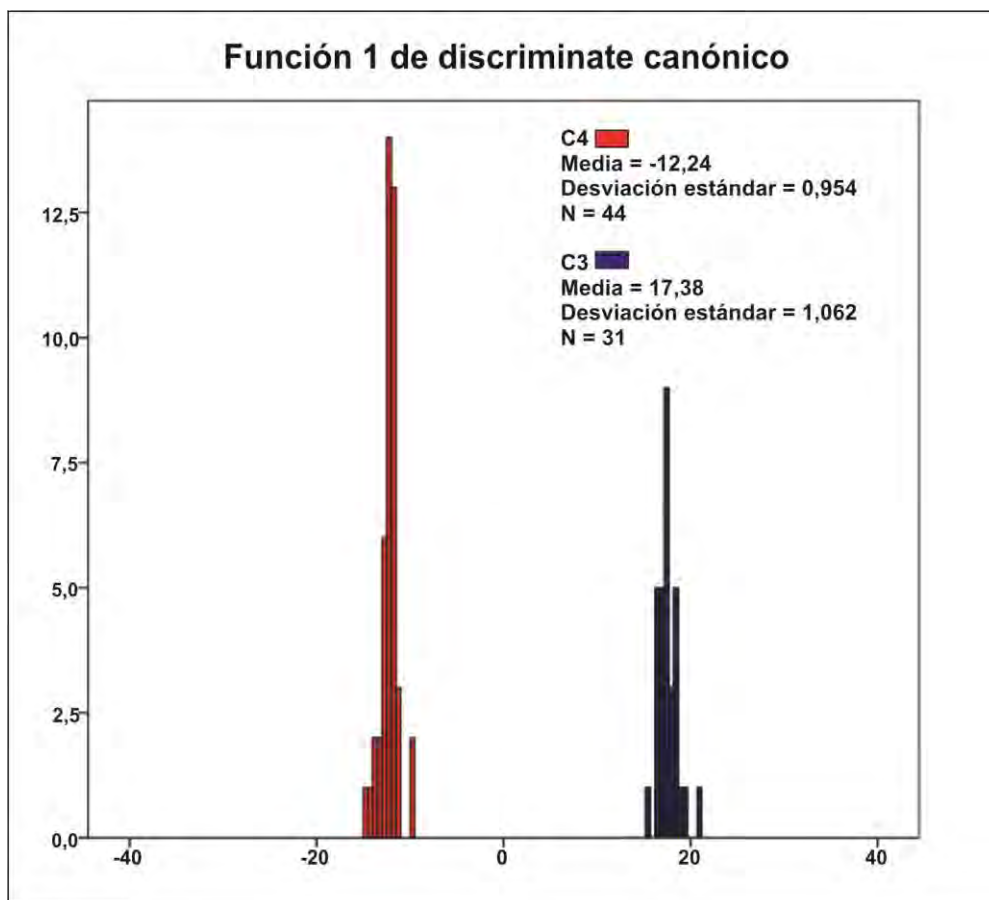


Figura II.15. Histograma resultante de la función discriminante para grupos de gramíneas C₃ y C₄.

Tabla II.7 Resultados de clasificación^a del Análisis Discriminante para especies C₃ o C₄

		Pertenencia a grupos pronosticada			
C ₃ /C ₄		1,00	2,00		Total
Original	Recuento	1,00	44	0	44
		2,00	0	31	31
	%	1,00	100,0	0,0	100,0
		2,00	0,0	100	100,0

a. 100,0% de casos agrupados originales clasificados correctamente.

Fitolitos en suelo

En la Figura II.16 se presenta la distribución de abundancia relativa de fitolitos por grupo taxonómico identificado, incluyendo no solo a las gramíneas sino también arecáceas, ciperáceas y dicotiledóneas leñosas. Asimismo, se presentan los resultados obtenidos de la relación de morfotipos de gramíneas $C_3:C_4$, dicotiledóneas leñosas:poaceas (D:P) y de los índices de temperatura y humedad.

Se destacan las diferencias en las abundancias relativas de taxones entre las parcelas pareadas bajo exclusión y pastoreo. En la mayoría de los sitios los fitolitos pooides, atribuibles a las tribus Poeae, Bromeae y Aveneae, resultaron más abundantes en las parcelas excluidas de ganado doméstico, a excepción de los sitios de la Provincia de Buenos Aires (San Claudio 6-7 y Chilcas b-C) donde los guarismos resultaron inferiores o iguales respecto a las parcelas bajo pastoreo. Por su parte, los morfotipos panicoides, chloridoides y aristidoides, característicos de las tribus Andropogonae-Paniceae-Maydeae, Chlorideae-Eragrostida-Cynodontae y Aristidae respectivamente (Tabla II.4), tendieron a predominar en las parcelas bajo pastoreo (Figura II.16). La relación de fitolitos de gramíneas $C_3:C_4$ expresa las diferencias observadas, con valores superiores en todas las parcelas bajo exclusión, exceptuando San Claudio 7. Los valores obtenidos mediante los índices de temperatura y humedad también denotan diferencias marcadas entre los tratamientos, principalmente entre las parcelas ubicadas en la subregión de los campos (Figura II.16). El registro de las parcelas bajo ganadería indicaría condiciones de mayor temperatura (menor valor del IT) y menor humedad/mayor estacionalidad en las precipitaciones (mayor valor del IH) respecto a las exclusiones de cada par.

Los fitolitos de arecáceas y de vegetación leñosa fueron en general más abundantes en las clausuras respecto a los pastoreos para cada parcela pareada, salvo algunas parcelas ubicadas sobre suelos superficiales o someros como los de Glencoe C84layado y Relincho Ñandú Sur (Figura II.16).

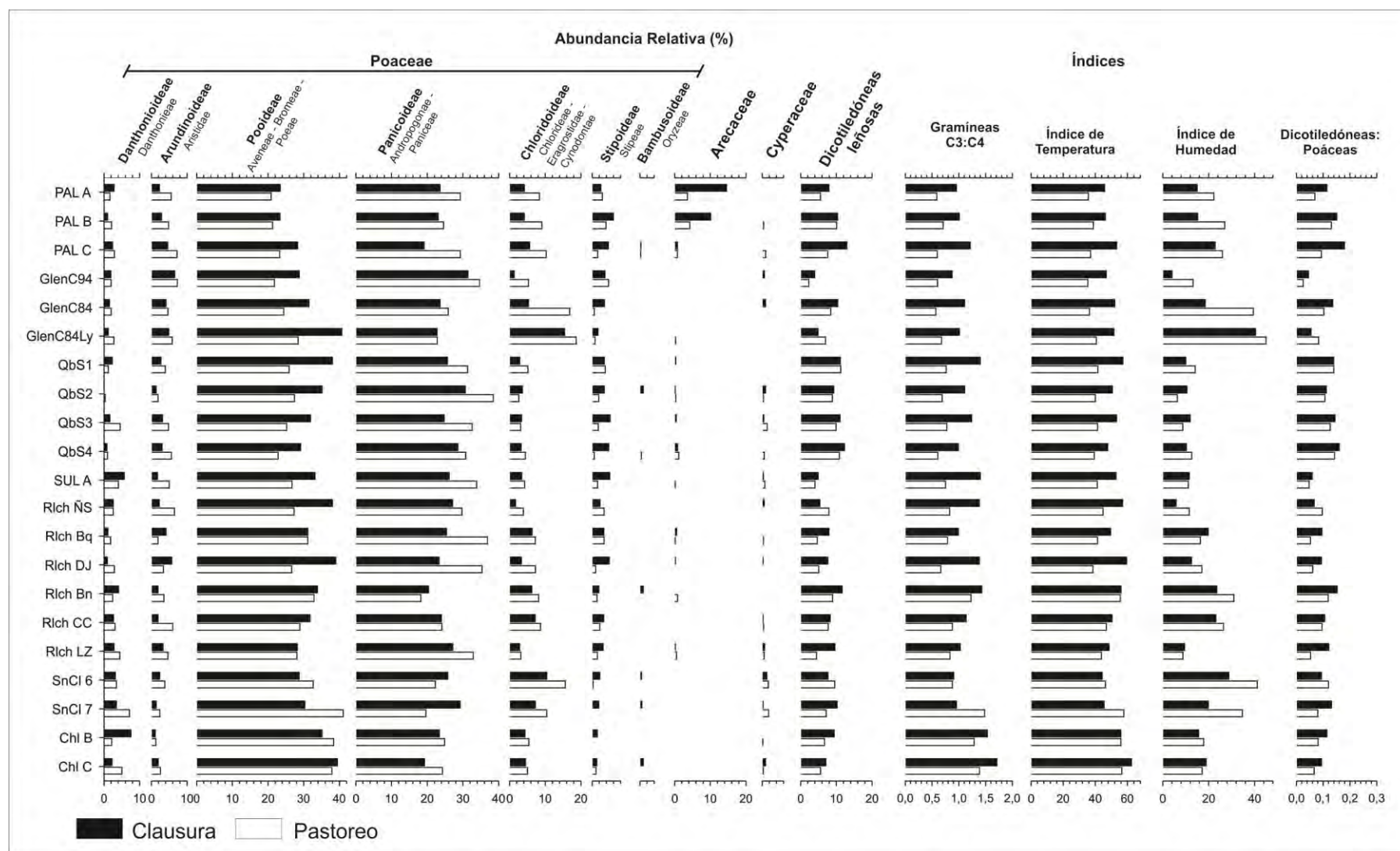


Figura II.16. Distribución de abundancias relativas de fitolitos por grupos taxonómicos y valores de los índices de temperatura, humedad y C₃:C₄ para las 21 parcelas pareadas (ver Tabla II.2 por información referente a las parcelas analizadas).

Por otra parte, se observaron importantes diferencias en las abundancias relativas de morfotipos entre parcelas ubicadas sobre diferentes tipos de suelo dentro de las mismas localidades, ya sea bajo clausura o pastoreo. Un ejemplo notorio está dado por los morfotipos chloridoides, que en las parcelas de Glencoe denotan abundancias de más de dos órdenes de magnitud superior en suelos superficiales y someros (GLC84 y C84Ly) respecto a suelos profundos (GLC94) en ambos tratamientos (Figura II.16). No obstante, la diferencia en la representación proporcional entre tratamientos supera a la registrada entre tipos de suelo.

A pesar de estas diferencias internas vinculadas a las condiciones edafológicas intra-sitio, se encontraron correlaciones estadísticamente significativas entre la distribución de algunos grupos taxonómicos relevados en las parcelas bajo exclusión y las variables bioclimáticas consideradas (Tabla II.8).

Tabla II.8 Correlaciones de Pearson entre abundancia relativa de grupos taxonómicos e índices climáticos (IT= Índice de temperatura; IH= Índice de Humedad; relación de gramíneas C₃:C₄) y valores de las variables bioclimáticas. Se destacan en gris las correlaciones significativas a $p < 0.05$ (gris oscuro) y $p < 0.1$ (claro).

Variables bioclimáticas	Grupos taxonómicos e índices								
	Danth.	Arist	Poeae - Aveneae	Androp. - Panic.	Chlor. - Eragr.	Stip.	IH	IT	C3:C4
BIO1: tº media anual	-0,65	0,79	-0,49	0,04	-0,11	0,66	-0,15	-0,64	-0,74
BIO2: Rango diurno tº	0,06	-0,27	-0,27	-0,06	0,42	-0,38	0,48	-0,30	-0,17
BIO3: Isotermalidad	-0,07	-0,30	-0,28	0,09	-0,24	0,31	-0,26	-0,15	-0,02
BIO4: Estacionalidad en la tº	0,18	-0,11	-0,23	-0,12	0,84	-0,73	0,93	-0,40	-0,30
BIO5: tº máxima mes cálido	-0,55	0,70	-0,71	-0,10	0,44	0,18	0,48	-0,63	-0,72
BIO6: tº mínima mes más frío	-0,46	0,69	-0,20	0,01	-0,34	0,68	-0,38	-0,05	-0,24
BIO7: Rango anual de tº	0,12	-0,20	-0,28	-0,10	0,67	-0,58	0,76	-0,38	-0,25
BIO8: tº estación húmeda	0,11	0,36	-0,24	-0,37	0,69	-0,47	0,83	-0,26	-0,26
BIO9: tº media estación seca	0,00	-0,09	0,08	0,46	-0,65	0,83	-0,84	0,09	0,14
BIO10: tº estación cálida	-0,69	0,86	-0,57	0,01	0,13	0,48	0,12	-0,48	-0,66
BIO11: tº media estación fría	-0,58	0,76	-0,36	0,03	-0,25	0,71	-0,30	-0,20	-0,38
BIO12: pp media anual	-0,34	0,44	-0,16	0,36	-0,46	0,90	-0,62	-0,12	-0,21
BIO13: pp mes más húmedo	-0,55	0,58	-0,84	0,25	0,34	0,50	0,27	-0,84	-0,86
BIO14: pp mes más seco	-0,08	0,23	0,24	0,21	-0,70	0,76	-0,82	0,32	0,22
BIO15: estacionalidad en pp	-0,04	-0,10	-0,43	-0,05	0,81	-0,61	0,89	-0,56	-0,46
BIO16: pp estación húmeda	-0,50	0,61	-0,72	0,33	0,18	0,67	0,07	-0,73	-0,76
BIO17: pp estación seca	-0,13	0,26	0,18	0,24	-0,67	0,79	-0,81	0,25	0,16
BIO18: pp estación cálida	-0,39	0,56	-0,82	0,17	0,47	0,39	0,43	-0,83	-0,82
BIO19: pp estación fría	-0,15	0,14	0,20	0,34	-0,71	0,79	-0,87	0,24	0,17

Dentro de los grupos taxonómicos, las gramíneas danthonioides y panicoides son las que menor relación presentan con las variables climáticas. A diferencia de estas, la abundancia de arístidas se

correlaciona positivamente con la temperatura media anual y con los valores medios de temperatura en las estaciones cálida y fría. Las estipas también exhiben correlaciones significativas con temperatura y precipitación, tanto con los valores medios anuales como con las medias de la estación seca. Las pooides, por su parte, se correlacionan negativamente con las temperaturas máximas y con las precipitaciones en los periodos cálidos y húmedos. Finalmente, se destacan las correlaciones que presentan las chloridoides con los valores de estacionalidad, tanto en temperatura como en precipitación. Siendo que el índice de humedad propuesto por Twiss (1992) se calcula a partir de la abundancia relativa de los morfotipos chloridoides, la correlación con los valores de estacionalidad en la precipitación es de especial relevancia.

Esto también se halla evidenciado por las correlaciones identificadas entre los índices (temperatura, humedad y relación de gramíneas $C_3:C_4$) y las variables bioclimáticas. El IH se correlaciona positivamente con la estacionalidad en precipitación y temperatura y negativamente con los valores de precipitación y temperatura en las estaciones fría y seca. El índice de temperatura presenta solo correlaciones negativas, tanto con la temperatura (media anual y mes más cálido) como con la precipitación, particularmente en las estaciones cálidas y húmedas (Tabla II.5). Es preciso recordar que los mayores valores de IT e IH representan menores condiciones de temperatura y humedad. Es decir, las correlaciones negativas del IT significan correlaciones positivas de la temperatura inferida respecto a las variables correlacionadas. Finalmente, la relación $C_3:C_4$ se correlaciona con las mismas variables que el IT, siendo en algunos casos las correlaciones notoriamente más fuertes (Tabla II.5).

II.2.4 Síntesis y Discusión

Los resultados obtenidos del análisis de silicofitolitos en gramíneas actuales verifican y refuerzan el potencial de estos indicadores para identificar grupos de gramíneas a nivel taxonómico y funcional. La identificación y clasificación de los distintos morfotipos de gramíneas contribuye a la caracterización de las asociaciones fitolíticas de las distintas especies, tribus y subfamilias analizadas, así como de grupos funcionales (mecanismo fotosintético, hábitat, etc). Los análisis multivariados permitieron reducir la multiplicidad de formas, identificando conjuntos fitolíticos característicos de grupos taxonómicos a nivel de subfamilia y tribu. Si bien el resultado del análisis discriminante entre grupos taxonómicos no es aplicable a contextos multi-taxón (como las asociaciones fitolíticas de muestras sedimentarias), confirmó las relaciones establecidas entre taxones y conjuntos de morfotipos al clasificar exitosamente el 98,7% de las especies analizadas.

En forma complementaria, las asociaciones fitolíticas identificadas en sedimentos actuales a lo largo de gradientes climático-ambientales mostraron correlaciones estadísticamente significativas con variables bioclimáticas, demostrando que los grupos taxonómicos y funcionales identificables mediante el análisis fitolítico son relevantes para la reconstrucción paleoambiental. Conjuntamente, estos análisis han sustentado la validez de los índices climáticos (IT e IH) propuestos por Twiss (1992) a partir de la relación de células cortas de gramíneas. Por su parte, la relación $C_3:C_4$ inferida mediante el análisis de fitolitos de células cortas de gramíneas, aportó la más alta correlación con los valores de temperatura media anual para los sitios analizados, denotando el vínculo entre mecanismos fotosintéticos y clima y respaldando el uso de este parámetro para la reconstrucción paleoambiental.

Finalmente, la comparación del registro fitolítico de parcelas pareadas, bajo ganadería y exclusión de pastoreo, demuestra que el principio del actualismo debe aplicarse en forma crítica. En este caso particular, mediante el análisis de fitolitos en parcelas bajo exclusión fue posible obtener registros que se presumen más acordes con las variables climáticas de interés, demostrando que es posible establecer relaciones cuantificables entre ambos. Si bien trabajar con parcelas bajo exclusión ganadera limita seriamente el número de muestras disponibles, la base comparativa existente sienta las bases para el uso de herramientas de calibración aplicables al análisis paleoecológico.

II.3 Nuevas evidencias de cambio ambiental durante el Holoceno tardío en el SE del Uruguay: aportes del análisis de partículas biosilíceas en testigos de la Laguna de Peña²

II.3.1 Introducción

Desde hace más de una década diferentes líneas de investigación han confluído en los registros de las lagunas litorales del Uruguay. A partir de esos registros y utilizando distintos *proxy records* se ha aumentado el conocimiento sobre la historia de esos cuerpos de agua (ej. García-Rodríguez et al. 2011, 2010, 2004; Inda et al. 2006a), sobre las variaciones relativas regionales del nivel del mar para el Holoceno (ej. Bracco et al. 2014, 2011b; García-Rodríguez et al. 2009, 2004) y sobre la historia climática regional (ej. del Puerto et al. 2011, 2006; Bracco et al. 2011a, 2009).

A través de los registros paleobotánicos – principalmente a partir del análisis de silicofitolitos – se han observado oscilaciones climáticas para los últimos 1500 años ¹⁴C (del Puerto et al. 2011; Bracco et al. 2009) que por sus características y cronología remiten a eventos globales cuya expresión se ha indicado en áreas vecinas, como el Periodo Cálido Medieval (PCM) y la Pequeña Edad de Hielo (PEH). Continuando con esa línea de investigación, este trabajo buscó aportar información paleoclimática y paleoambiental de mayor resolución para el Holoceno tardío en la región. Con ese fin se extrajeron dos testigos de fondo de la Laguna de Peña, una pequeña laguna somera de agua dulce ubicada en el litoral Este del Uruguay. La elección de este cuerpo de agua respondió principalmente a su posición topográfica y características geomorfológicas, que sugieren que su génesis y evolución no habrían estado directamente vinculadas a cambios en los niveles marinos holocenos.

El registro obtenido se extendió desde el 2360 a¹⁴C AP, sin evidencias de interrupciones y con una tasa de sedimentación neta entre 0,6 y 2 mm a⁻¹. Esto significa que los testigos sedimentarios de Laguna de Peña cuentan con gran potencial de contener registros de alta resolución para el periodo de interés. La estrategia de investigación se orientó al análisis *multi-proxy* (análisis de partículas biosilíceas, sedimentológicos y geoquímicos), para reconstruir las principales tendencias paleoambientales. Se procuró identificar cambios en la dinámica y funcionamiento del cuerpo de agua y de su cuenca, vinculables a cambios climáticos y ambientales de mayor escala, evaluando la resolución de los distintos sectores del registro y la información aportada por cada indicador.

² Basado en: del Puerto, L., R. Bracco, H. Inda, O. Gutiérrez, D. Panario, F. García-Rodríguez. 2013. Assessing links between late Holocene climate change and paleolimnological development of Peña Lagoon using opal phytoliths, physical and geochemical proxies. *Quaternary International* 287:89-100.

II.3.2 Características del Área de Estudio

La Laguna de Peña es un pequeño cuerpo de agua dulce que se ubica en departamento de Rocha (baricentro: 34° 00'13.63"S - 53° 33'10.38" O) sobre una estrecha franja sedimentaria denominada "La Angostura", que se extiende entre el Océano Atlántico y la Laguna Negra, en el extremo Sur de la cuenca de la Laguna Merín (Figura II.17). Con una superficie aproximada de 5 há, una profundidad máxima de 1,8 metros y una cuenca de ~50 ha, la Laguna de Peña es parte de un grupo de pequeños lagos que se encuentran entre cota 10 - 20 msnm a lo largo del litoral oceánico y del Río de la Plata. Su posición topográfica indica que, a diferencia de lagunas litorales mayores, su génesis no está directamente relacionada a los niveles positivos holocénicos del mar, que en estas latitudes no habrían superado los 5 msnm (ej. Bracco et al. 2014; Martínez y Rojas 2013; Cavallotto et al. 2004; Martin y Suguio 1992). Posiblemente este grupo de lagos se originó como consecuencia del represamiento o modificación (ahogamiento) de los cursos de la vertiente oceánica y estuárica, por movimientos de los campos de médanos litorales determinados por los procesos transgresivos-regresivos y las condiciones climáticas (Panario y Piñeiro 1997).

Según Garreaud et al. (2009) la región donde se ubica Laguna de Peña es parte de la frontera entre las latitudes subtropicales y templadas del borde oriental atlántico. El régimen de vientos y masas de aire está determinado por la interacción entre el Anticiclón Tropical del Atlántico Sur y el Anticiclón Migratorio Polar (Zarate 2003). La presencia atlántica causa una amplitud térmica, tanto diaria como anual, moderada y un alto nivel relativo de humedad atmosférica. La temperatura media es de 17 °C y la precipitación total anual es de aproximadamente 1200 mm (IBERSIS 2001:14-19).

El entorno de la laguna fue fuertemente modificado a partir de la creación del Parque de Santa Teresa, dentro del cual se encuentra. En el parque actualmente conviven más de 250 especies vegetales (64 indígenas y 186 exóticas) destacándose amplias plantaciones de pinos y eucaliptus (Arredondo 1958). Previo a estas modificaciones antrópicas, es de suponer que la vegetación dominante correspondía a las formaciones típicas de la vegetación costera del litoral atlántico, entendiendo como tal a la flora natural que se dispone en una banda de unos pocos kilómetros (de unos cientos de metros a 12 km) de ancho sobre formaciones sedimentarias litorales: campos de médanos, depósitos aluvionales y barrancas (Alonso y Basagoda 2002).

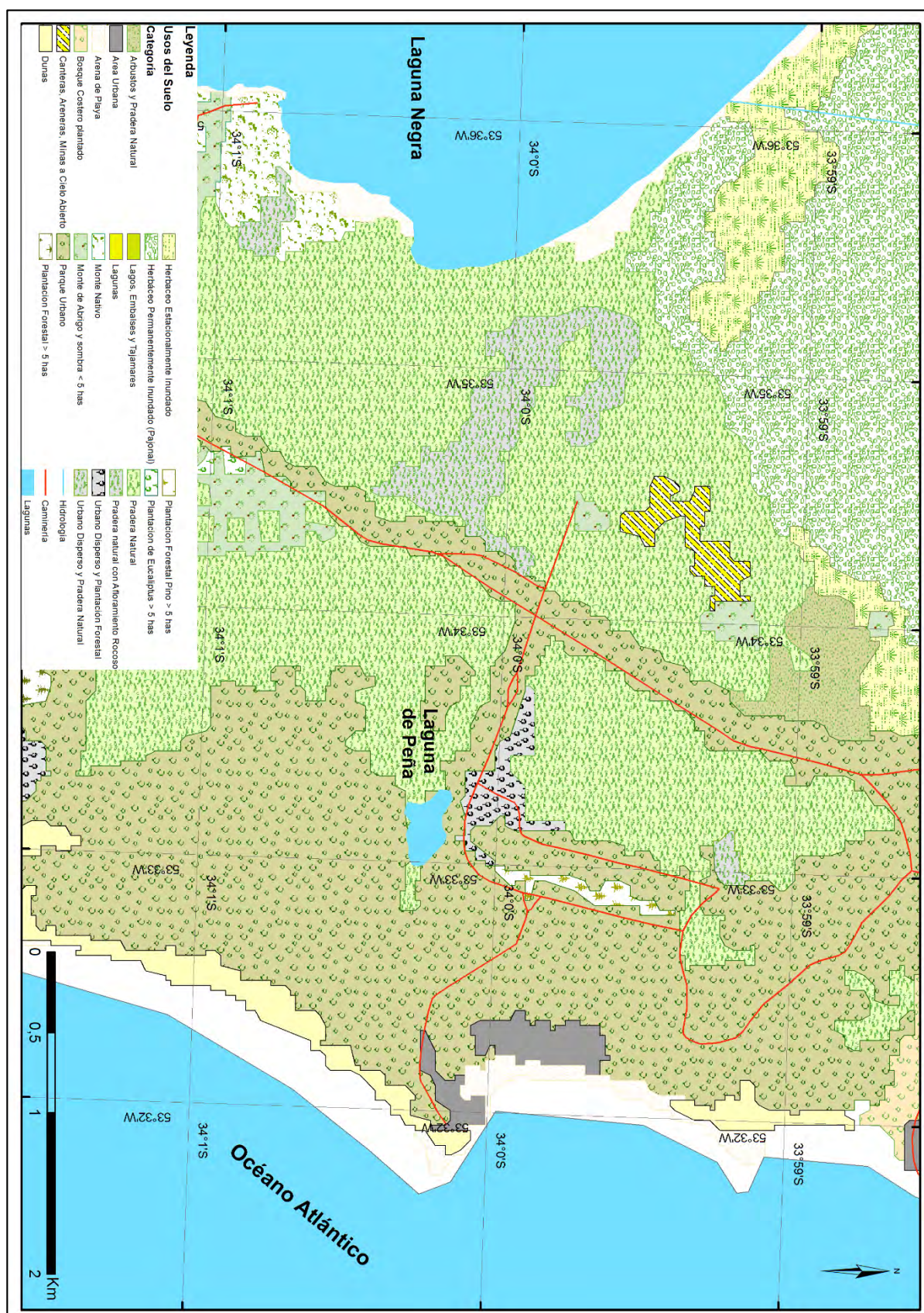


Figura II.17. Ubicación geográfica de la Laguna de Peña y principales coberturas de suelo identificadas en la cuenca. Fuente: MTOP 2000

La vegetación natural de la franja costera comprende 848 plantas (una gimnosperma y 30 helechos) correspondientes a 110 familias y 411 géneros de angiospermas. Hay 324 especies que se relacionan con ambientes de bañados, lagunas o depresiones intermedanasas, representando el 75% de las citadas para el Uruguay (Alonso y Basagoda 2002; Alonso 1997).

Tabla II.9. Principales formaciones vegetales de la zona costera del Sudeste del Uruguay. Basado en Alonso (1997), Alonso y Basagoda (2002) y Probides (1998).

	Comunidad	Hábitat	Especies típicas
Herbáceas	Pastizal psamófilo	Suelos arenosos en zonas costeras	<i>Andropogon arenarius</i> , <i>Aristida pallens</i> , <i>Schyzachirium microstachyum</i>
	Humedal	Planicies bajas inundadas la mayor parte del año	<i>Canna glauca</i> , <i>Erythrina cristagalli</i> , <i>Juncus acutus</i> , <i>Phyllanthus sellowianus</i> , <i>Scirpus californicus</i> , <i>S. giganteus</i> , <i>Sebastiania schottiana</i> , <i>Spartina densiflora</i> , <i>Thalia geniculata</i> , <i>Thypha dominguensis</i> , <i>Zizaniopsis bonariensis</i>
	Hidrófilas	Áreas permanentemente inundadas (bañados y litoral lacustre)	Floating: <i>Eichornia azurea</i> , <i>Pistia stratiotes</i> , <i>Pontederia cordata</i> , <i>P. rotundifolia</i> , <i>Salvinia auriculata</i> . Submerged: <i>Myriophyllum brasiliensis</i> . Emergent: <i>Scirpus giganteus</i> , <i>Typha dominguensis</i>
	Psamófilas pioneras	Dunas móviles	<i>Panicum racemosum</i> , <i>Hydrocotyle bonariensis</i> , <i>Senecio crassiflorus</i> , <i>Androtrichum trigynum</i> , <i>Ischaemum urvilleanum</i> , <i>Calystegia soldanella</i>
Leñosas	Matorral psamófilo	Elevaciones corteras (sierras y lomadas), sobre suelos arenosos incipientes	<i>Cereus uruguayanus</i> , <i>Colletia paradoxa</i> , <i>Opuntia arechavaletae</i> , <i>Schinus engleri</i>
	Bosque ripario	Margen de ríos y cursos de agua	<i>Allophylus edulis</i> , <i>Erythrina cristagalli</i> , <i>Pouteria salicifolia</i> , <i>Salix humboldtiana</i> , <i>Sapium montevidensis</i> , <i>Syagrus romanzoffiana</i> ,
	Bosque psamófilo	Costa oceánica y lacustre	<i>Cereus uruguayanus</i> , <i>Colletia paradoxa</i> , <i>Daphnopsis racemosa</i> , <i>Lithraea brasiliensis</i> , <i>Opuntia arechavaletae</i> , <i>Rapanea laetevirens</i> , <i>Schinus engleri</i> , <i>Scutia buxifolia</i> .

En la zona costera la vegetación se presenta tanto en mosaico (dependiendo de las características hídricas del suelo) como en zonación (gradiente costa-continente con variaciones de salinidad y acción de los vientos). La vegetación de los campos de médanos incluye plantas y formaciones vegetales muy diversas, comprendiendo plantas pioneras halo-psamófilas en las dunas más próximas a la playa y pioneras psamófilas por detrás del primer campo de dunas. En las dunas semifijas y fijas aparecen

plantas leñosas subarborescentes, arbustivas y arbóreas características, constituyendo matorrales psamófilos, matorrales espinosos y bosques psamófilos (Tabla II.9).

En las zonas bajas intermedanas se pueden desarrollar formaciones vegetales hidrófilas uliginosas, paludosas o acuáticas, según el grado de saturación e inundación del suelo. Cuando en el inicio del siglo pasado se comenzaron las plantaciones de árboles para fijar los médanos e impedir el avance de la arena sobre los campos y poblaciones circundantes, se perdió una buena parte de estos ambientes, debido al agotamiento de la napa freática que las alimentaba (Alonso y Basagoda 2002).

En las lagunas costeras y en el tramo inferior de los cursos que desembocan en la costa con escasa pendiente, existe una parte central permanentemente inundada con vegetación acuática (arraigada y flotante) y zonas concéntricas de suelos estacionalmente inundados y estacionalmente saturados con plantas emergentes (Alonso y Basagoda 2002; Probides 1999; Alonso 1997).

II.3.3 Materiales y Métodos

Muestreo

Dos testigos de sedimento (95 y 135 cm de potencia) fueron tomados en abril de 2010 con un *piston corer* de 60 mm de diámetro interno, a una distancia menor a 4 metros entre sí. Se procedió a su apertura en laboratorio, descripción de las unidades litoestratigráficas y submuestreos para los distintos análisis. Una de las mitades de cada testigo fue seccionada a intervalos de 2 cm, con el objetivo de hacer análisis geoquímicos y de partículas biosilíceas, guardándose respaldos para análisis polínicos. La segunda mitad fue seccionada a intervalos sucesivos de 7 y 3 centímetros. Los primeros para datación por ^{14}C , los segundos para análisis textural.

Litología

Las unidades litoestratigráficas fueron reconocidas/definidas en base a cambios de color (Sistema Munsell), textura a mano y estructura, observando particularmente las concentraciones de restos vegetales. Para la clasificación físico-textural muestras procedentes de cada unidad identificada fueron tamizadas para cuantificar gravas y arenas a intervalos de un grado de phi, mientras que la fracción pelítica (limos y arcillas) fue determinada por el Método Internacional de la Pipeta (Carver 1971). Los porcentajes del contenido de arena, limo y arcilla se utilizaron para la clasificación granulométrica según Folk (1954).

Dataciones radiocarbónicas

Las dataciones radiocarbónicas se efectuaron en el Laboratorio de Datación ^{14}C de la Facultad de Química, Universidad de la República, Uruguay. Se determinó la edad de la materia orgánica de seis muestras de sedimento. Las muestras fueron tratadas con HCl 8% durante 24 horas para remover carbonatos y ácidos húmicos. La fracción datada fue la retenida por un tamiz de 0,5 mm, donde dominaban pequeños restos vegetales de color pardo a negro. A partir del C de la materia orgánica se sintetizó benceno y se midió la actividad ^{14}C en un contador de centelleo líquido Packard 1600 TR. Las edades son expresadas en años ^{14}C AP convencionales corregidos por fraccionamiento isotópico y en años calibrados AD ($\pm 2\sigma$)(CALIB REV 7.0) (Tabla II.10).

Geoquímica

La estimación del contenido de materia orgánica y carbonatos se efectuó mediante el método LOI (*loss on ignition*), siguiendo a Heiri et al. (2001).

Silicofitolitos y otras partículas biosilíceas

Las muestras para análisis biosilíceos fueron procesadas siguiendo un método modificado de Zao y Pearsall (1998), según se detalló en el apartado II.2. Se relevó un mínimo de 500 fitolitos por muestra. Los morfotipos fueron descritos siguiendo el Código Internacional de Nomenclatura Fitolítica (Madella et al. 2005) e identificados de acuerdo a la colección de referencia y claves propias (Apartado II.2, Anexo I) y a distintas fuentes bibliográficas (ej. Patterer et al. 2011; Zucol et al. 2010; Iriarte y Alonso 2009; Fernández Honaine et al. 2006; Gallego y Distel 2004).

A partir de las abundancias relativas de los distintos grupos taxonómicos identificados se determinaron las Zonas de Asociación de Silicofitolitos (ZAS) mediante un *stratigraphically constrained clustering*, usando el índice de Morisita para medir la fuerza de la asociación con el programa PAST 3.0 (Hammer et al. 2001). También se calcularon los índices de temperatura (IT) y humedad (IH) de acuerdo con Twiss (1992), a partir de la relación de abundancia relativa de células cortas pooides, panicoides y chloroides. La correlación de estos índices con variables bioclimáticas para la región de estudio fue establecida en el apartado II.2 (Tabla II.8).

En forma complementaria se calculó la relación de gramíneas $\text{C}_3:\text{C}_4$ reconstruida en base a la representación relativa de todos los morfotipos de células cortas de acuerdo al grupo taxonómico característico. Como se mostró en el apartado anterior (II.2), una mayor abundancia de morfotipos atribuibles a gramíneas C_3 se vincula con menor temperatura media anual y menor precipitación en la estación cálida y en la estación húmeda (entre otras variables bioclimáticas) para la región de los

pastizales rioplatenses (Tabla II.8). La relación entre dicotiledóneas leñosas *versus* gramíneas también fue computada, siguiendo el índice D:P propuesto por Alexandre et al. (1997) y ajustado por del Puerto (2009) para el Este de Uruguay. Finalmente, se relevó la relación entre silicofitolitos y otras partículas biosilíceas (SF:OSB) como indicador de cambios en las fuentes de materia orgánica (cuenca *versus* cuerpo de agua).

II.3.4 Resultados

Cronología

La Tala II.10 muestra la edad de los sedimentos en los intervalos datados y los correspondientes números de laboratorio. La sección basal del testigo LP2 (133-126 cm) fue datada en 2360 ± 55 años ^{14}C AP, indicando que el registro comienza en el Holoceno tardío. El intervalo 10-3 cm del testigo LP1 mostró un $F^{14}\text{C} = 1134 \pm 0.008$ (efecto bomba, Reimer et al. 2009), por lo cual su edad es posterior a 1950 AD. Usando el set de calibración Wellington (Calib 7.0), corresponde al año 1960 ± 2 AD. Esto indica que el registro se extiende hasta el presente. A partir de los fechados ^{14}C obtenidos se estimó la tasa de depósito, generando el modelo presentado en la Figura II.18.

Tabla II.10. Edad de los sedimentos según los intervalos fechados

Lab #	Procedencia	Edad ^{14}C	Prof. (cm)	Edad calibrada (2 σ)
URU 0545	LP1 0-7	$F^{14}\text{C} : 1,134 \pm 0,008$	3,5	1962 AD
URU 0547	LP1 70-77	322 ± 45	73,5	1462-1650 (p=1) AD
URU 544	LP1 93-100	568 ± 45	95	1298-1372 (p=.589), 1378-1431 (p=.411) AD
URU 0549	LP2 120-127	775 ± 45	97,5	1169-1287 AD (p=1)
URU 0550	LP2 140-147	1515 ± 70	117,5	409-650 AD (p=1)
URU 0546	LP2 150-157	2400 ± 55	127,5	754-680 (p=.178), 670-608 (p=.103), 595-391 (p=.719) AC

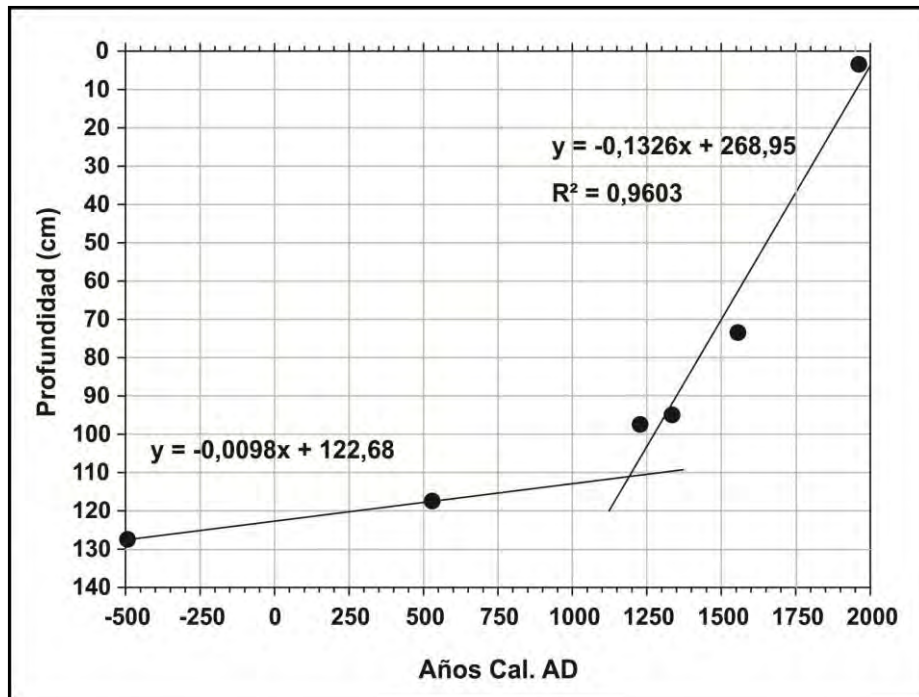


Figura II.18. Modelo Edad/Profundidad derivado de los fechados radiocarbónicos calibrados de los testigos LP1 y LP2

Litología y geoquímica

Siete unidades litológicas (UL) fueron identificadas entre los dos testigos, estando las unidades II a IV presentes en ambos (Figura II.19). La pérdida de peso relativa a carbonatos fue despreciable en todas las muestras analizadas, por lo que no se incluye la información gráfica. De base a tope, las unidades presentaron las siguientes características:

UL VII: expresada en la base del testigo LP2 (140-128 cm), se caracterizó por una textura areno-arcillosa de color marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), con presencia de finas laminaciones de arena gruesa y muy gruesa y gravilla intercalada en la matriz arcillosa. Esta unidad presentó los menores valores de contenido de materia orgánica, que promediaron el 5%.

UL VI: también fue identificada en el testigo LP2, entre los 128 y 115 cm de profundidad. Presentó textura areno-fangosa y coloración marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2). Se observó la presencia de finos niveles de arena fina en la matriz fangosa. El contenido de materia orgánica continuó en descenso, evidenciando valores del orden de 10%.

UL V: se desarrolló entre los 115-109 cm de profundidad en el testigo LP2, presentando una textura fango-arenosa marrón muy oscuro (10YR 2/2), con presencia de macro-restos vegetales. El contenido de materia orgánica mostró un marcado descenso respecto a la unidad supra yacente, alcanzando valores de 20%.

UL IV: estuvo registrada en ambos testigos, correspondiendo a la base de LP1 (93-89 cm) y al sector entre 109-99 cm en LP2. Presentó una textura arcillosa y coloración negra (10YR 2/1), consistente con un nuevo aumento en el contenido de materia orgánica, alcanzando el máximo valor registrado para ambos perfiles (42%).

UL III: fue la más potente en ambos testigos, extendiéndose 49 cm en LP1 (89-40 cm) y 59 cm en LP2 (99-40 cm). Se caracterizó por una textura fangosa a fango-arenosa, marrón muy oscuro a marrón grisáceo muy oscuro. Los valores de materia orgánica decrecieron hacia el tope de la unidad.

UL II: sector superior de LP2 (40-20 cm) y segunda unidad de LP1 (40-15 cm). Macro-restos botánicos fueron observados en una matriz arcillosa negra (10YR 2/1) muy rica en materia orgánica (~40%)

UL I: corresponde al tope de LP1 (15-0 cm profundidad). Presentó las mismas características texturales que la Unidad II, diferenciándose por la coloración gris muy oscura (10YR 3/1), coincidente con un menor contenido de materia orgánica (~23%).

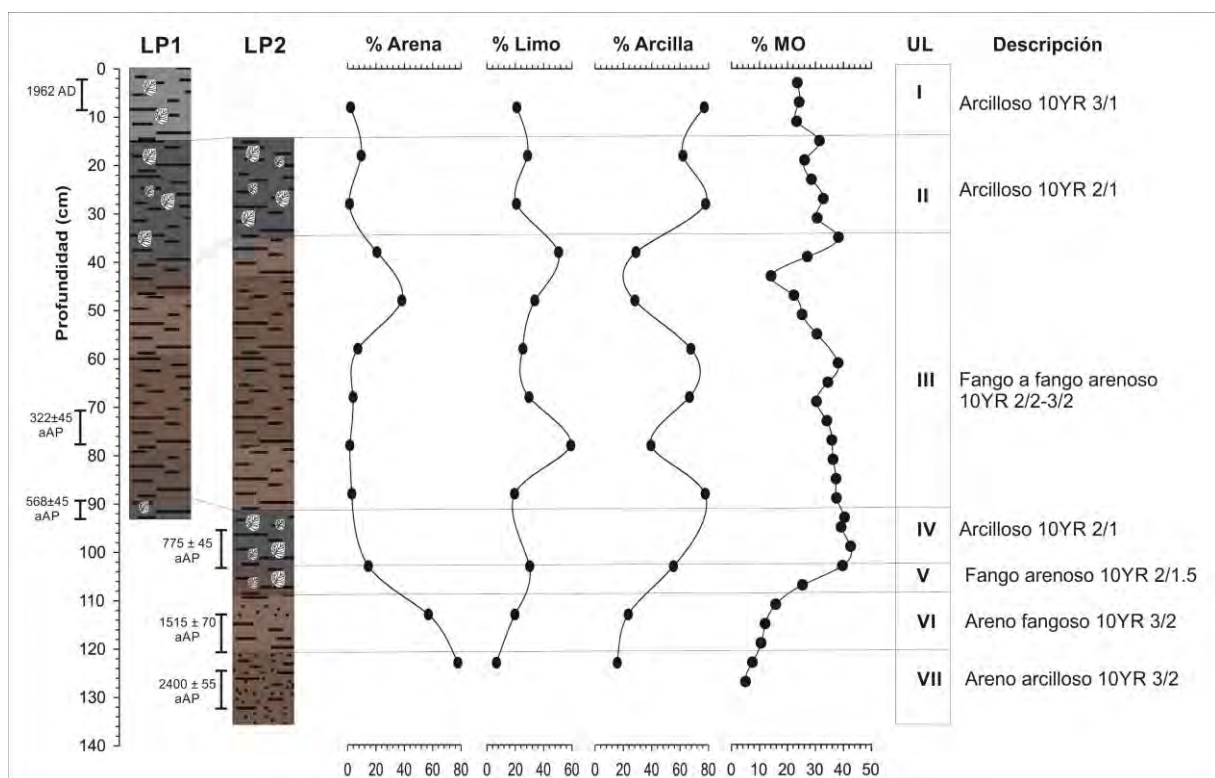


Figura II.19 Correlación cronológica y litoestratigráfica entre los testigos LP1 y LP2 y descripción textural de las unidades litoestratigráficas (UL) identificadas

Silicofitolitos

En la Figura II.20 se presenta la distribución vertical de abundancia relativa de los grupos taxonómicos identificados a partir del análisis de silicofitolitos, así como los índices calculados y las zonas de asociación definidas para el registro integrado de ambos testigos. El registro conjunto de ambos testigos permitió identificar cinco Zonas de Asociación de Silicofitolitos (ZAS):

ZAS I: está representada en el sector basal del testigo LP2 (135-106 cm). Hacia la base de la ZAS se registró co-dominancia de fitolitos y otras partículas biosilíceas, mientras que los fitolitos dominaron hacia el tope con mayores valores para el índice SF:OSB. Dentro de las asociaciones fitolíticas, predominaron los morfotipos de células cortas de gramíneas, principalmente aquellos correspondientes a las subfamilias Pooideae y Panicoideae. Los índices de Temperatura y Humedad presentaron valores similares a los registros actuales (50 y 20, respectivamente), mostrando una disminución hacia los 120 cm y un incremento final hacia el tope de la zona. La relación de gramíneas $C_3:C_4$ es consistente con los índices climáticos, mostrando valores próximos a 1 a la base de la unidad e incrementando el dominio de C_3 hacia el tope. El índice D:P sugiere el predominio de vegetación herbácea, pero con importante presencia de vegetación arbórea/arbustiva en la cuenca.

ZAS II: esta unidad se extiende entre los 105-95 cm en LP2. Los silicofitolitos mantuvieron sus niveles de abundancia relativa, representando más del 50% del total de partículas biosilíceas registradas. Se constató un incremento de morfotipos pertenecientes a las subfamilias Pooideae y Chloridoideae, junto a la disminución de aquellos atribuibles a la subfamilia Panicoideae. En consecuencia, se registró un aumento en el valor de los índices de humedad y temperatura, denotando menores valores en la temperatura media anual y menor humedad o mayor estacionalidad en las precipitaciones. Esto también se expresó en la relación $C_3:C_4$ que presentó en esta unidad los valores más altos de todo el registro.

ZAS III: Esta se extiende entre los 94-70 cm, estando registrada en ambos testigos. Se observó un marcado descenso en el contenido de silicofitolitos (menos del 10%) en relación a otras partículas biosilíceas. También se constató un incremento de los morfotipos de afinidad panicoide, con la consecuente disminución de los valores de los índices de humedad, temperatura y $C_3:C_4$.

ZAS IV: esta zona (69-52 cm) estuvo caracterizada por la dominancia de diatomeas sobre otros indicadores biosilíceos. A nivel de los fitolitos, se observó una tendencia creciente en la abundancia de morfotipos de gramíneas de afinidad pooide y chloridoide, así como de morfotipos atribuibles a vegetación leñosa. El índice D:P indica la expansión de vegetación arbórea/arbustiva, mientras que los índices IT, IH y $C_3:C_4$ sugieren disminución de la temperatura y la humedad.

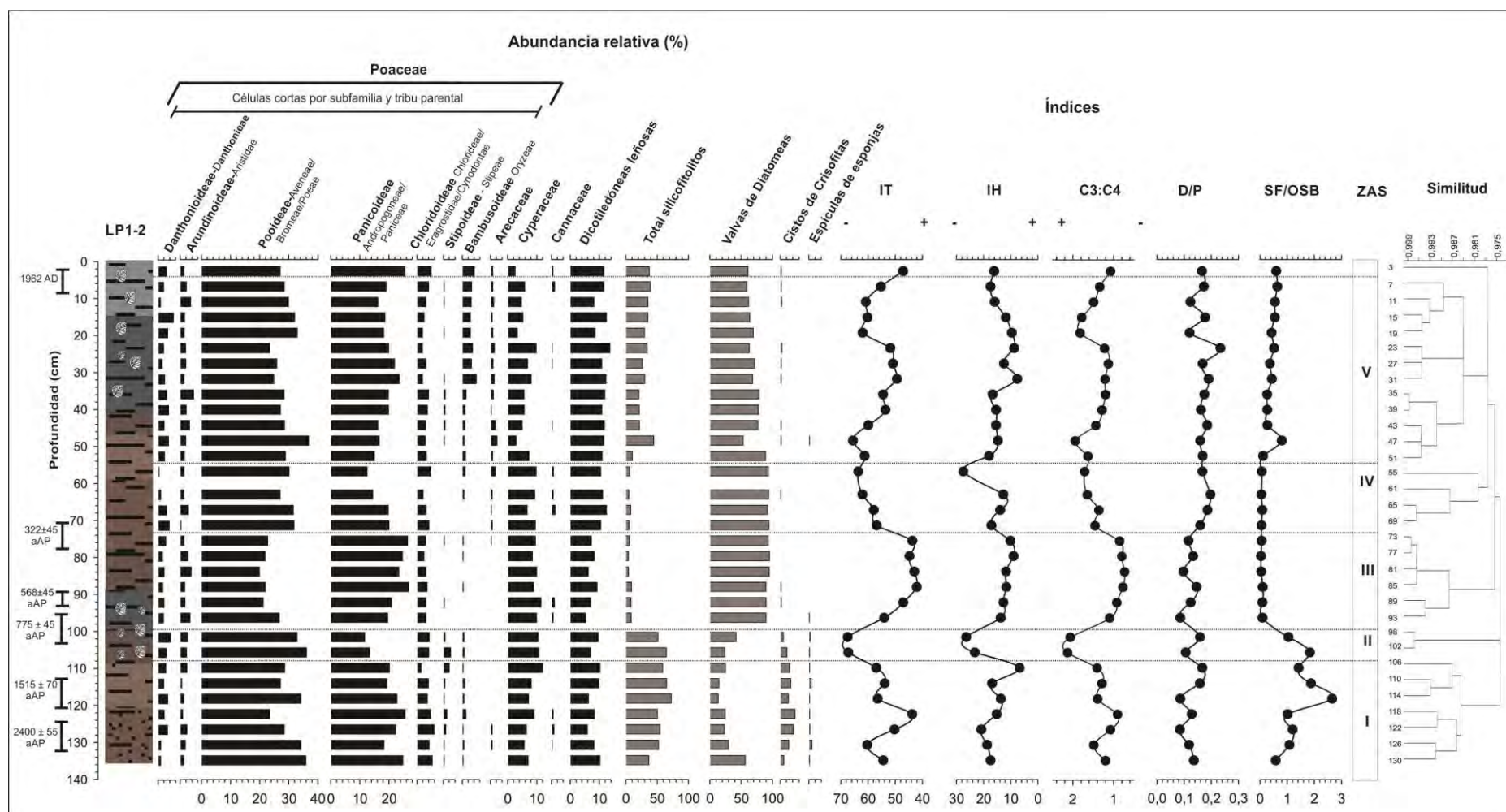


Figura II.20. Distribución vertical de abundancias relativas de los principales grupos taxonómicos identificados mediante el análisis fitolítico en el registro integrado de los testigos LP1 y LP2, valores de los índices de temperatura, humedad, C₃:C₄, D:P y SF:OSB y zonación resultante del *Stratigraphically Constrained Clustering*

ZAS V: esta zona se extiende entre los 51-5 cm. Se caracterizó por un incremento en el contenido de silicofitolitos en el total de partículas biosilíceas. Dentro de estos se registraron morfotipos correspondientes a gramíneas C_3 y C_4 , con fuerte presencia de oryzáceas, así como de elementos arbóreo/arbustivos.

Finalmente, en el tope del testigo LP1 (5-0 cm) los fitolitos continuaron mostrando una tendencia en aumento, con alta abundancia de morfotipos chloridoides y oryzoides y la disminución de ciperáceas.

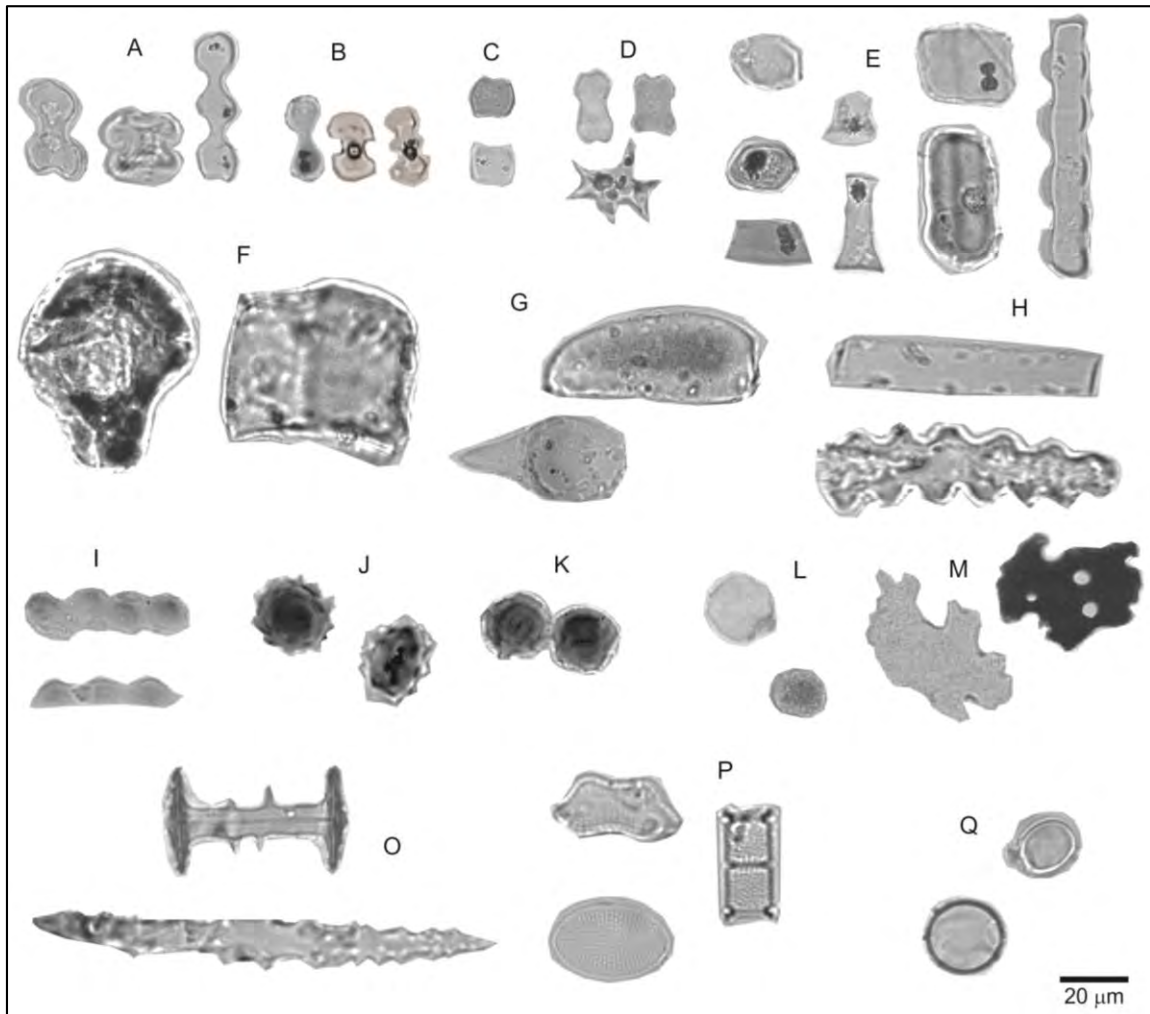


Figura II.21. Imágenes ilustrativas de distintos morfotipos de fitolitos (A-M) y otras partículas biosilíceas (O-Q) registrados en sedimentos de ambos testigos. A-E morfotipos de células cortas de gramíneas de los grupos panicoides (A), aristoides (B), chloridoides (C), oryzoides (D) y pooides (E); F-G otros morfotipos de gramíneas correspondientes a células bulliformes (F), apéndices dérmicos (G) y células largas (H); I fitolitos tabulares papilados de ciperáceas; J morfotipos globulares espinosos atribuidos a arecáceas; K fitolitos globulares rugosos de cannáceas; L globulares lisos y granulados producidos en dicotiledóneas leñosas; M fitolitos tabulares en forma de puzzle y perforados característicos de vegetación arbóreo/arbustiva; O-Q otras partículas biosilíceas registradas como espículas de espongiarios (O), valvas de diatomeas (P) y cistos de crisofitas (Q).

II.3.5 Discusión

El comportamiento de los parámetros medidos indica dos secciones bien definidas dentro del registro, separadas por una unidad transicional. Esta transición corresponde a la UL VII y a la ZAS II y coincide con la intersección de los dos ritmos de sedimentación que se infieren a partir de las edades ^{14}C (Figura II.18). La cronología señala que el quiebre se produjo en el entorno al 1200 AD. Ello muestra un cambio en las condiciones (o la dinámica) del cuerpo de agua y por ende un cambio en la escala (intensidad) de las señales ambientales. Asimismo la diferencia en la tasa de sedimentación determina niveles muy diferentes de resolución. Cambios en la escala de la intensidad de las señales ambientales y diferencias en el grado de resolución limitan la comparación entre los sectores identificados en los testigos.

El primer sector del registro comprende a las unidades UL VII y VI y la ZAS I. Se depositó entre *circa* 2500 y 800 a ^{14}C AP en un ambiente de baja energía (arcillas y fangos) consistente con un sistema léntico, pero con presencia de fuertes pulsos de alta energía responsables del depósito de arenas medias y gruesas. Estos pulsos, que procederían de la cuenca, se evidencian también en el índice SF:OSB que presenta los máximos valores en este sector. La mayor abundancia relativa de partículas biosilíceas de origen terrestre estaría indicando el predominio de aportes de la cuenca por sobre la productividad primaria del sistema. En este sentido, el bajo contenido en materia orgánica y la dominancia de crisofitas sobre diatomeas (Figura II.20) denota el predominio de condiciones oligotróficas (ej. Inda et al. 2006a; Smol 1985). El registro de silicofitolitos, aunque con un número limitado de datos (7), evidencia un período de condiciones húmedas y templadas a cálidas que se inició luego del 2400 ± 55 a ^{14}C AP y finalizó antes del 775 ± 45 a ^{14}C AP. Este registro es concordante con el procedente de testigos de Laguna Negra (LN3) y Laguna Blanca (LBI1), cuyas asociaciones fitolíticas también indican la instalación de condiciones subtropicales similares a las actuales con posterioridad al 2500 a ^{14}C AP.

El segundo sector del registro corresponde a una unidad transicional, representada por la UL V y la ZAS II. Como se mencionó anteriormente, coincide con la intersección de las dos tasas de sedimentación inferidas a partir de las edades radiocarbónicas (Figura II.18), que habría ocurrido *circa* 750 a ^{14}C AP (1200 AD). Este cambio en la dinámica y las condiciones del sistema se ve reflejado también en la granulometría de los depósitos, con mayor abundancia de arcillas y limos respecto al sector subyacente (Figura II.19). A pesar de estos cambios, los aportes de la cuenca continuaron siendo importantes, según lo indican los altos valores del índice SF:OSB (Figura II.20). Los fitolitos señalan un mayor aporte de gramíneas C_3 , incrementando los valores del índice de temperatura y de la relación $\text{C}_3:\text{C}_4$ que presentan sus máximos en este sector del registro. También en índice de humedad alcanza el máximo en este sector, debido a que dentro de las gramíneas C_4 predominaron las de afinidad chloridoide. En conjunto,

los índices sugieren condiciones de menor temperatura y humedad, o mayor estacionalidad en las precipitaciones para el periodo en que se depositó esta unidad.

El tercer sector identificado comprende las UL IV a I y las ZAS III a V. Se caracterizó por texturas finas, dominadas por arcillas y fangos, depositadas en un ambiente léntico con aportes sedimentarios de origen eólico (arenas finas). También se distingue por el mayor contenido de materia orgánica de origen principalmente autóctono, según lo evidencia el bajo valor del índice SF:OSB y el dominio de diatomeas sobre crisofitas que sugiere un incremento en el estado trófico del sistema (Inda et al. 2006; Smol 1985). Más allá de esta caracterización general, se distinguen dos subsectores principales. El primero está representado en las UL IV y III y comprende las ZAS III y IV. Se caracterizó por los mayores valores de contenido de materia orgánica y los menores valores del índice SF:OSB. El registro de células cortas de gramíneas indicó un incremento en especies C_4 en la ZAS III, consistente con condiciones más cálidas. Tales condiciones se reinstalaron después del 600 a ^{14}C AP y prevalecieron hasta circa 450 a ^{14}C AP. De acuerdo al registro de la ZAS IV, a partir de esa última fecha comenzó un nuevo periodo más frío y seco que alcanzó su máximo alrededor del 300 a ^{14}C AP (Figura II.22). Este pulso máximo inferido a partir del registro fitolítico está en correspondencia con un pico de entrada de arena eólica en el sistema acuático (Figura II.19), respaldando el predominio de condiciones sub-húmedas. El final de este periodo y el inicio de la ZAS V indican el comienzo del sector superior del registro. Las UL II y I se caracterizaron por una textura netamente arcillosa, indicando un ambiente de sedimentación extremadamente léntico. La disminución del contenido de material orgánica y el incremento del índice SF:OSB sugieren el aumento de aportes desde la cuenca, o bien la proliferación de vegetación litoral. En este sentido, la mayor representación de morfotipos oryzoides (Figura II.21) puede estar indicando una progresiva colonización de vegetación hidrófila en la línea de costa. Tal proceso se habría iniciado bajo condiciones templadas y húmedas (Figuras II.20 y II.22). Finalmente, un nuevo descenso en la temperatura y de humedad se registró entre mediados del siglo XIX y comienzos del XX.

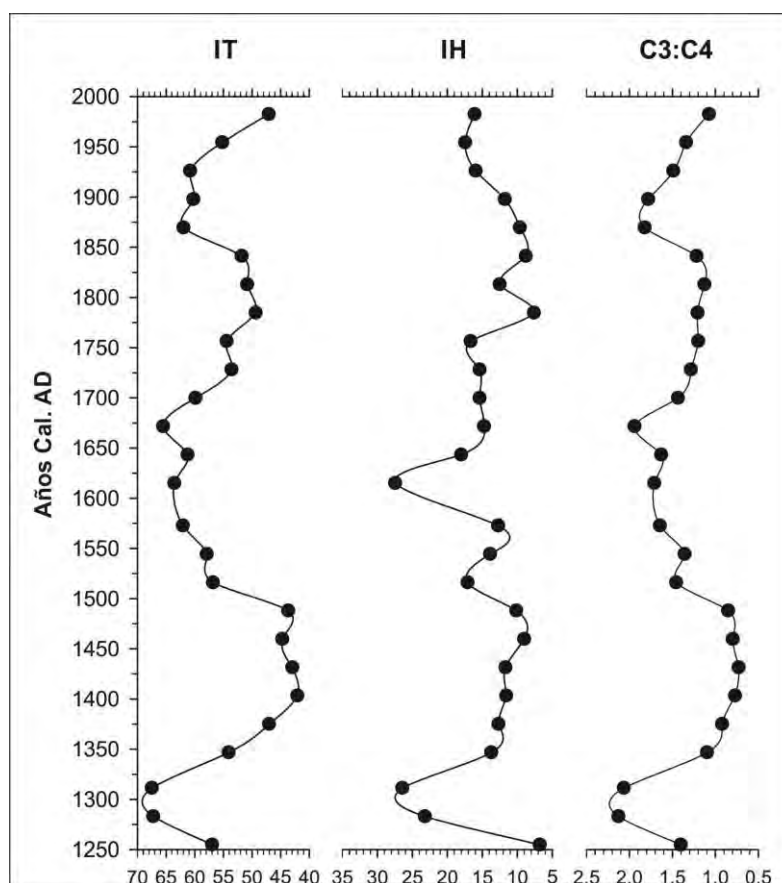


Figura II.22. Valores de los índices de temperatura (IT), humedad (IH) y $C_3:C_4$ versus edad calibrada AD para el sector superior del registro de Laguna de Peña. Los ejes horizontales están en orden inverso para facilitar la lectura de los gráficos. Hacia la derecha se infieren condiciones de mayor temperatura y/o humedad.

Las variaciones registradas en las asociaciones fitolíticas, junto a las evidencias estratigráficas, cronológicas, y biológicas indican, como ya se señaló, un cambio de las condiciones del cuerpo de agua entre el 1515 ± 70 a ^{14}C AP y el 775 ± 45 a ^{14}C AP. Este cambio coincide cronológicamente con el inicio de PEH y es explicable por las consecuencias esperables ante las nuevas condiciones. Admitiendo que la Laguna de Peña se formó como el resultado del represamiento natural de un pequeño curso por la movilización de médanos, la movilidad de los cuerpos de arena fue favorecida por las condiciones más frías y secas de la PEH. Los cambios sedimentológicos, biológicos y en los parámetros geoquímicos no sólo indican un cambio marcado en el régimen del curso, sino que también son consistentes con su transformación en un lago.

A pesar de que los indicadores analizados muestran variaciones que responden a cambios en el ambiente y a la evolución del cuerpo de agua, el abordaje *multiproxy* permitió discriminar aquellos sectores del registro y aquellos indicadores particulares que aportan información de mayor resolución sobre cada tipo de cambio: evolución del cuerpo de agua, variaciones en la cuenca y en las condiciones ambientales. Con respecto a esta última unidad de análisis, las asociaciones fitolíticas de la sección

superior del registro aportaron información climática de alta resolución para el Holoceno tardío, con énfasis en los últimos 800 años. De acuerdo a los resultados obtenidos, este periodo se habría caracterizado por una alta variabilidad y por presentar tres fases más frías y secas que alcanzaron sus máximos hacia el 1300, 1600 y 1900 AD (Figura II.22). Sus características y cronologías son también consistentes con la Pequeña Edad de Hielo (Mann 2009; 2002b; Piovano et al. 2009; Rabassa 2008).

Este registro es concordante con los reportados para Laguna Blanca y Laguna Negra en el sudeste de Uruguay. En testigos de ambas lagunas también se manifiesta un cambio a condiciones más secas y frías que se inicia a partir de aproximadamente el 700 a ^{14}C AP (ej. Bracco et al. 2011a, 2009; del Puerto et al. 2011, 2006). Al igual que en el registro de Peña, estas condiciones no fueron estables, sino que se caracterizaron por pulsos más fríos y secos intercalados por periodos más templados y húmedos. En forma concordante, para la región central argentina Piovano et al. (2009) identifican al menos dos pulsos fríos y secos durante la PEH. El primer pulso se habría dado entre los siglo XV y XVI y habría sido seguido por condiciones menos extremas. Consistentemente, Prieto y Jorba (1991) señalan, a partir de datos históricos para la Provincia de Buenos Aires, un aumento de precipitaciones entre 1650-1740 AD. Politis (1984) a partir de las actas de los Acuerdos del Cabildo de Buenos Aires correspondientes al período 1589 - 1821, consigna una menor frecuencia de años secos entre los años 1792 y 1821. De acuerdo con Piovano et al. (2009) hacia la primera mitad del siglo XVIII vuelven a instalarse condiciones más frías y secas, correspondiendo al segundo pulso de la PEH para la región central argentina, que se habría extendido hasta finales del siglo XIX.

La consistencia de los registros a nivel regional – más allá de algunos desfasajes temporales esperables al trabajar con modelos cronológicos y por las diferencias en resolución y tiempo de respuesta de los indicadores considerados – denota que los cambios climáticos acaecidos en el último milenio fueron significativos en cuanto a su extensión e intensidad. La magnitud que tuvieron estos cambios se explora en el siguiente apartado.

II.4 Variaciones climáticas durante el Holoceno tardío en el Este del Uruguay: estimaciones cuantitativas basadas en registros fitolíticos e isotópicos de testigos paleolimnológicos³

II.4.1 Introducción

Los estudios paleoecológicos tienen por objeto principal la reconstrucción de ciertas características de los ambientes pasados a partir de indicadores indirectos recuperados de registros fósiles de origen terrestre o marino. El creciente interés por temas tales como la variabilidad natural de los ecosistemas, la naturaleza y ritmo de las respuestas bióticas al cambio ambiental, el establecimiento de condiciones de línea de base, la identificación de los umbrales y la resiliencia de los ecosistemas, entre otros, ha incentivado el desarrollo de técnicas cuantitativas para inferir condiciones ambientales pasadas a partir de información paleoecológica (ej. Birks et al. 2010). Las demandas de reconstrucciones cuantitativas de los cambios climáticos pasados, en particular, se vinculan al desarrollo de modelos generales de circulación del sistema climático terrestre, de modelos de predicción del riesgo ante futuros cambios climáticos, de reconstrucciones que integran el clima pasado con los cambios sociales históricos y con todos los enfoques que abordan la variabilidad climática terrestre a distintas escalas témporo-espaciales (ej. Juggins 2013; Juggins y Birks 2012; Birks et al. 2010).

Las reconstrucciones paleoambientales para el Holoceno en la región de los Pastizales del Río de la Plata han sido mayormente de carácter semicuantitativo, presentando modelos de amplios rangos climáticos (como “templado”, “sub-húmedo”, “tropical”) o denotando cambios en relación con periodos previos o sucesivos (condiciones “más secas”, “más cálidas”, etc.). El carácter semi-cuantitativo de las reconstrucciones, junto a diferencias en la escala de resolución espacial y temporal de los registros y de los indicadores analizados, puede explicar al menos parcialmente algunas discrepancias existentes entre las inferencias climáticas efectuadas (ver por ejemplo Iriarte et al. 2008; Bracco et al. 2008b).

El antecedente regional más directo de estimaciones cuantitativas a partir de indicadores biológicos de registros paleoecológicos, consiste en la elaboración de modelos de calibraciones polen-clima y aplicación de la técnica del Análogo Moderno a secuencias polínicas fósiles del Pleistoceno tardío-Holoceno en el centro y sudoeste de los pastizales pampeanos (Tonello y Prieto 2010). Las reconstrucciones climáticas para el Holoceno tardío (3000 a.cal AP) basadas en modelos de

³ Trabajo presentado en XIV *Simposio Brasileiro de Paleobotânica e Palinologia & 5º Encontro Latinoamericano de Fitólitos*. Rio de Janeiro, Brasil, 2013. del Puerto, L.; Bracco, R.; García-Rodríguez, F; Inda, H.; Capdepon, I.: Silicofitolitos e isótopos estables como indicadores de cambios ambientales y Paleolimnológicos.

precipitación, sugieren una regionalización del clima con condiciones subhúmedas húmedas similares a las actuales para la región central y el advenimiento de las condiciones subhúmedas secas a semiáridas actuales en el sudoeste a partir del 500 a.cal AP (Tonello y Prieto 2010).

Más distante del área de estudio de este trabajo, la reconstrucción hidrológica semi-cuantitativa efectuada a partir de indicadores sedimentológicos y geoquímicos de registros paleolimnológicos en la Laguna Mar Chiquita (Provincia de Córdoba), constituye el antecedente de mayor resolución para reconstruir los cambios climáticos del Holoceno tardío (Piovano et al. 2009, 2004). Articulando estos registros con otras reconstrucciones paleoambientales, información arqueológica e histórica, Piovano et al. (2009) identifican dos periodos climáticos principales para los últimos 2000 años en la región central argentina. El primero, caracterizado por condiciones cálidas y húmedas se habría extendido entre el 1400 y 800 a ^{14}C AP, correspondiendo cronológica y climáticamente con el PCM. La fase húmeda, especialmente entre el 1410 y 1068 a.cal AP, fue interrumpida por una fase seca reconocida en la reconstrucción paleohidrológica en Mar Chiquita (Piovano et al. 2004). El segundo se caracterizó por condiciones secas y frías y se lo identifica con el periodo conocido como PEH (Piovano et al. 2004, 2002; Iriondo 1999; Politis 1984). Se desarrolló desde comienzos del siglo XV hasta mediados o finales del siglo XIX y estuvo comprendido por dos pulsos fríos principales interrumpidos por una fase comparativamente cálida y húmeda entre fines del siglo XVI y comienzos del XVII. Este periodo – y en particular el último pulso – está testimoniado por múltiple referencias documentales (Deschamps et al. 2003; Politis 1984).

Para el sector oriental de la región de pastizales y en particular para la subregión de los campos del sur, son pocos los registros paleoecológicos reportados con buena resolución para el Holoceno tardío, procedentes en su mayoría de depósitos de fondo de sistemas lacustres. Las reconstrucciones paleoclimáticas inferidas a partir de indicadores biológicos, sedimentológicos y geoquímicos han sido de carácter semicuantitativo, pero han permitido identificar ciertos cambios para los últimos 2000 años. En particular, a partir del análisis de silicofitolitos de registros paleolimnológicos obtenidos en Laguna Negra, Laguna Blanca y Laguna de Peña en el sudeste de Uruguay, se han reconstruidos condiciones que podrían ser asignables al PCM hacia el 1000 a ^{14}C AP y a la PEH entre el 800 y 200 a ^{14}C AP (ver entre otros del Puerto et al. 2011; Bracco et al. 2011a, 2009; García-Rodríguez et al. 2010).

Dando continuidad a estos precedentes, este trabajo busca explorar la posibilidad de establecer, a partir del análisis fitolítico, estimaciones cuantitativas de los cambios ambientales para el Holoceno tardío en el sudeste uruguayo. Para ello, en primer lugar se llevó a cabo la calibración fitolitos-clima actual, relevando la distribución y abundancia de ciertos taxones en relación a variables climáticas de interés, a lo largo de un gradiente latitudinal que comprende distintas condiciones climáticas y

ambientales. Posteriormente, se reconstruyeron los cambios cuantitativos de aquellas variables climáticas para las que el modelo de calibración resultó óptimo, efectuando una sustitución “tiempo por espacio” al aplicar la técnica del Análogo Moderno (Juggins y Birks 2012; Birks et al. 2010; Jackson y Williams 2004; Overpeck et al. 1985) a las asociaciones fósiles de testigos con mayor resolución para el periodo de interés.

Sobre estos mismos testigos se llevaron a cabo análisis de la composición isotópica de la materia orgánica, como una vía independiente de intercalibrar la señal $C_3:C_4$ de los fitolitos con la señal $\delta^{13}C$ de la materia orgánica. La materia orgánica presente en los sedimentos lacustres procede de fuentes autóctonas y alóctonas, lo que dificulta el uso de las señales químicas e isotópicas como indicadores ambientales y de fluctuaciones climáticas. El valor $\delta^{13}C_{org}$ depende de la relación isotópica del CO_2 disuelto en el agua (fuente de carbono inorgánico) y de la composición y productividad de los productores primarios. Cada uno de estos orígenes está caracterizado por diferentes valores isotópicos de carbono (Wei et al. 2010). La fuente de MO terrestres está dominada por tres grupos de plantas que emplean tres vías fotosintéticas distintas: C_3 , C_4 y CAM. Éstas producen diferentes niveles de fraccionamiento lo que lleva a que cada grupo presente rangos distintos de sus valores de $\delta^{13}C$. Por ello, los valores $\delta^{13}C$ son particularmente útiles cuando se combinan con la relación TOC/TN, en la medida en que permite discriminar mejor las fuentes de origen (autóctona *versus* alóctona) de la materia orgánica (ej. Lamb et al. 2006; Wilson et al. 2005; Piovano et al. 2004). Esta información, en combinación con los datos aportados por los análisis biosilíceos y texturales, permitirá una mejor aproximación a la reconstrucción de los cambios ocurridos en la cuenca y en el propio cuerpo de agua como respuesta a variaciones climáticas y ambientales de mayor escala.

Los resultados obtenidos serán integrados con los antecedentes existentes para la región y discutidos a la luz de los potenciales y limitaciones de los métodos de calibración e intercalibración empleados.

II.4.2 Materiales y Métodos

Área de estudio

El área general de estudio se sitúa en la Región de los Pastizales del Río de la Plata, cuya ubicación geográfica y descripción de las principales características climáticas y fitogeográficas se encuentra detallada en el apartado II.2. Dentro de esta región, las muestras utilizadas para el modelo de calibración fitolitos-clima proceden de las subregiones de los campos del norte y del sur, pampa interior y pampa inundable (Figura II.23). Finalmente, la reconstrucción paleoclimática basada en estimaciones cuantitativas, es efectuada para la subregión de los campos del sur y, más precisamente, para la región

sureste del Uruguay. Las características climáticas de esta región y las principales unidades de vegetación asociadas a los sistemas lacustres costeros se encuentran detalladas en el apartado II.3.

Calibración fitolitos-clima actual

La base de datos de distribución y abundancia actual de fitolitos comprende 33 muestras, cuya distribución se presenta en la Figura II.23 y Tabla II.11. De estas muestras, 21 proceden de parcelas bajo exclusión de ganado doméstico (Apartado II.2), cuyo análisis permitió definir la correlación entre ciertos grupos taxonómicos de gramíneas y variables bioclimáticas de interés. Debido a que estas muestras provienen de solo 7 localidades (Tabla II.2), se incorporaron muestras superficiales de distintos sistemas límnicos estudiados en distintas partes del país y la región, con la finalidad de ampliar el rango climático-ambiental y, por ende, la cantidad de análogos potenciales.

Registro	Localidad	Latitud S	Longitud O	Muestra	Fuentes
Sistemas límnicos	Laguna de Formosa	31°48'31.73"	54°28'46.25"	LFor1 0-5	del Puerto s/p
	Laguna Colmatada	32°13'7.86"	55° 5'6.29"	Lcol 0-5	del Puerto 2011c
	Río Cebollatí	33°12'11.20"	53°47'51.24"	Cb1 0-5	Bracco et al. 2012
	Laguna de Ajos	33°41'9.49"	53°56'55.88"	LAj2 0-5	del Puerto s/p
	Laguna de Peña	34° 0'14.15"	53°33'10.86"	LP1 0-3	Apartado II.3
	Laguna Clotilde	34°17'40.49"	53°48'16.45"	Uy17-1 0-3	Lotter et al. 2008
	Laguna de Castillos	34°21'32.74"	53°51'57.19"	LCa11 0-5	del Puerto 2011a
	Laguna de Rocha	34°34'6.51"	54°16'17.02"	LRo10 0-3	del Puerto 2011a
	Laguna del Sauce	34°49'4.92"	55° 3'37.82"	LSa1 0-3	Inda 2011
	Laguna Blanca	34°53'53.59"	54°50'12.11"	Uy14-1 0-3	del Puerto 2011a
	Laguna del Diario	34°54'10.23"	55° 0'25.81"	Uy16-1 0-3	Inda 2011
	Laguna Nahuel Rucá	37°37'10.06"	57°25'49.39"	NR 0-3	Stutz et al. 2010
Suelos bajo exclusión ganadera	Parque Nacional el Palmar	31°49'60.00"	58°16'60.00"	A 0-5 / B 0-5 / C 0-5	Apartado II.2
	Estación Glencoe	32° 0'0.00"	57° 7'60.00"	C94 0-5; C84 0-5; C84lay 0-5	
	Quebrada de los Cuervos	32°55'36.66"	54°27'15.36"	S1 0-5; S2 0-5; S3 0-5; S4 0-5	
	SUL	33°52'0.00"	55°32'60.00"	A 0-5	
	Estancia El Relincho	34°19'0.00"	57°1'60.00"	ÑS 0-5; BI 0-5; DJ 0-5; CC 0-5; LZ 0-5	
	San Claudio	35°56'32.14"	61°12'9.73"	6 0-5; 7 0-5	
	Chilcas	36°30'0.00"	58°30'0.00"	A 0-5; B 0-5	



Figura II.23. Ubicación geográfica de las localidades de procedencia de las muestras de suelo (estrellas) y de sedimentos de sistemas acuáticos (círculos) en el área de los Pastizales del Río de la Plata (Soriano 1992).

En la elaboración de los modelos de calibración se excluyeron aquellos taxones que no presentaron abundancias relativas mayores a 3% en al menos 3 muestras (Karst y Smol 2002), así como aquellos que se vinculan con condiciones ambientales específicas del sitio de muestreo (por ejemplo las ciperáceas y gramíneas de la tribu Oryzeae, que predominan en humedales y costas lacustres). Se trabajó con taxones de alto rango, incluyendo tribus y conjuntos de tribus de gramíneas (Aveneae/Bromeae/Poeae, Andropogonae/Paniceae, Chlorideae/Eragrostidae/Cynodontae, Aristidae, Stipeae y Danthonieae), así como el grupo genérico de dicotiledóneas leñosas. Los datos climáticos corresponden a las variables bioclimáticas tomadas de la base www.worldclime.org, con una resolución espacial de 1km (Hijmans et al. 2005).

La evaluación de los modelos de calibración fitolitos-clima para la estimación de las variables climáticas se presenta como el cálculo de r^2 , valor que muestra el resultado de la validación cruzada *leave-one-out* (jackknifing) con los análogos modernos (Hammer et al. 2001). Estos parámetros estadísticos junto a los diagramas de dispersión de valores estimados *versus* observados y de residuales *versus*

observados, permitieron seleccionar los modelos confiables para la estimación de las variables climáticas. Estos análisis se efectuaron con el programa PAST 2.17c (Hammer et al. 2001).

Datos fitolíticos fósiles

Para la aplicación del modelo de calibración a datos fósiles, se utilizó el registro de las asociaciones biosilíceas de testigos tomados en Laguna de Peña (Apartado II.3), Laguna Blanca (del Puerto et al. 2011, 2006) y Laguna Negra (García-Rodríguez et al. 2010; Bracco et al. 2005) (Figura II.24). En el caso de los registros de Laguna Blanca (LBI1) y Negra (LN3) se utilizaron solo los sectores superiores de ambos testigos, cronológicamente ubicados en los últimos 2000-2500 años (Figura II.25) y sin influencia directa de las fluctuaciones de los niveles marinos.

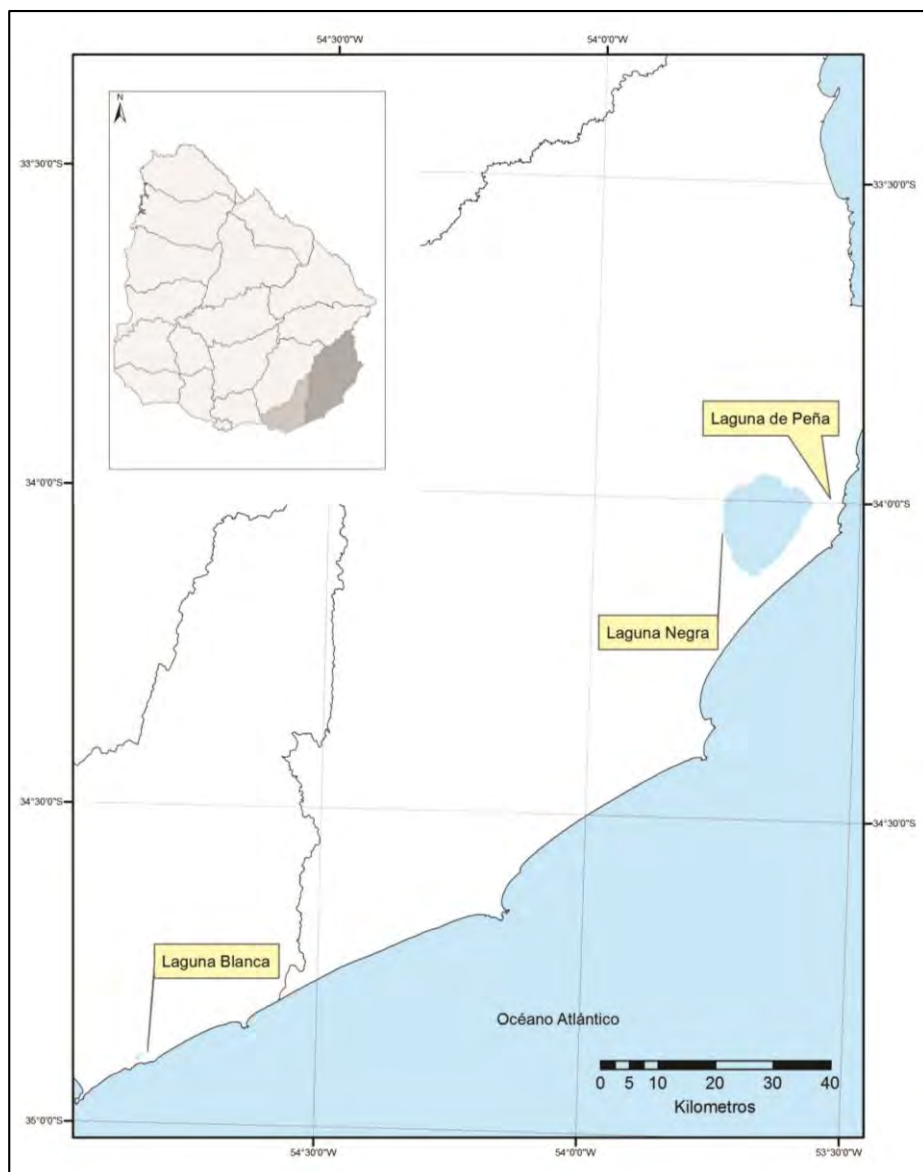


Figura II.24: Ubicación geográfica de los sistemas lacustres de procedencia de los registros.

Cada testigo o sector de testigo considerado cuenta con al menos tres fechados radiométricos (^{14}C y ^{210}Pb), totalizando 13 dataciones para el registro conjunto de los últimos 2500 años. Las edades ^{14}C han sido calibradas mediante el programa CALIB 7.0 y utilizadas para efectuar interpolaciones lineales en las tres secuencias (Figura II.25).

A partir de los datos de abundancia relativa de distintos morfotipos de fitolitos para cada testigo, se estimó la abundancia relativa de los principales grupos taxonómicos, se calculó la relación $\text{C}_3:\text{C}_4$ de gramíneas y los índices de temperatura y humedad. Conjuntamente, se calculó el índice SF:OSB (silicofitolitos:otra sílice biogénica) como medida independiente para evaluar cambios en los aportes de las cuencas a efectos de la intercalibración con los análisis isotópicos. También se calculó el índice crisofitas:diatomeas (C:D) como indicador de cambios en el estado trófico de los cuerpos de agua (García Rodríguez et al. 2004; Inda et al. 2006a).

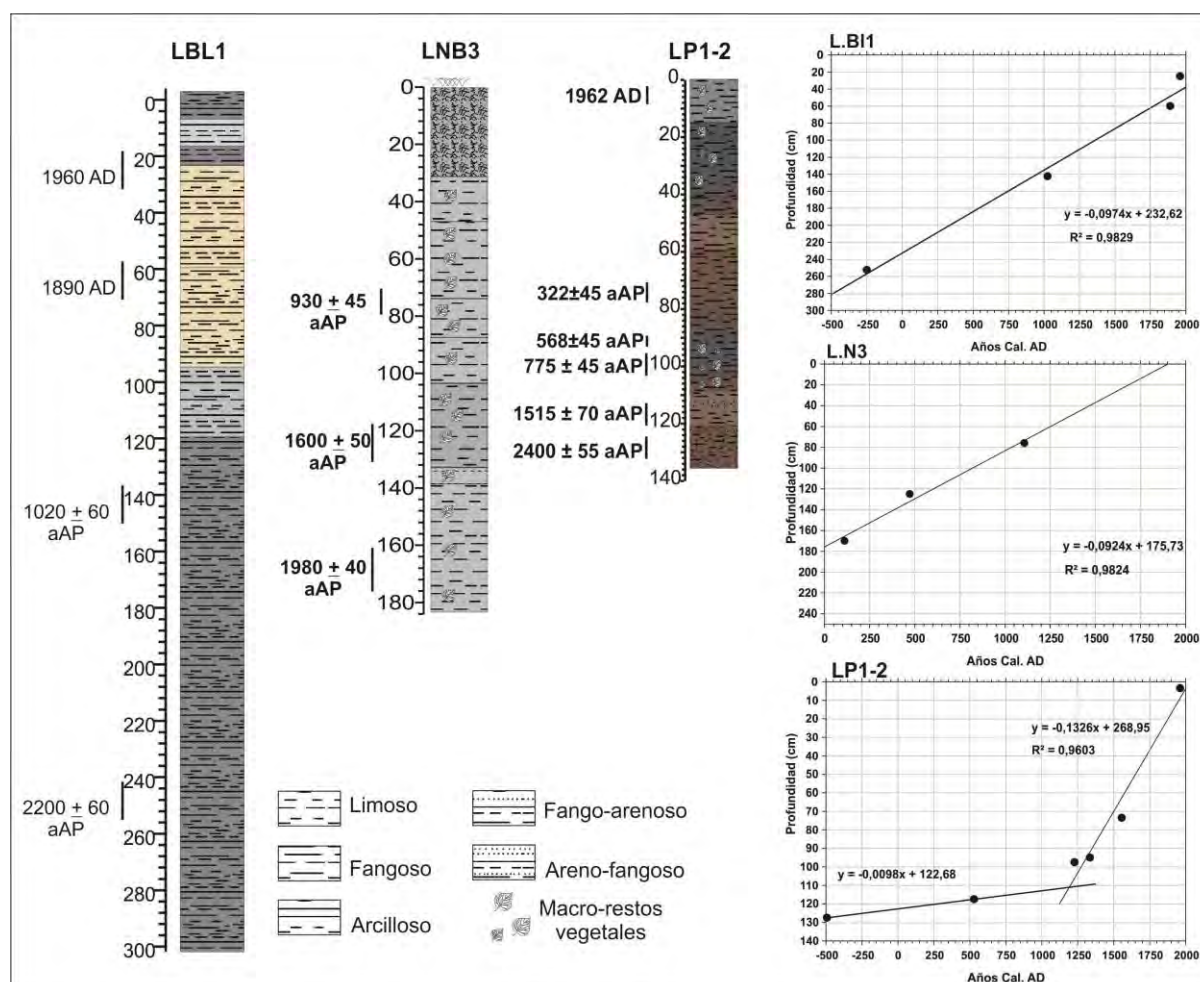


Figura II.25 Registros paleolimnológicos de donde se obtuvieron los datos fitolíticos fósiles, con detalle de la litología, cronología y modelos profundidad/edad calibrada AD. Fuentes: del Puerto et al. (2011, 2006); Bracco et al. (2009).

Técnica del Análogo Moderno (TAM)

La Técnica del Análogo Moderno ha sido ampliamente utilizada para reconstruir la variabilidad climática holocena a partir del registro polínico (ej. Tonello y Prieto 2010; Birks et al 2010; Overpeck et al. 1985). La idea básica de MAT es comparar numéricamente, mediante medidas de disimilitud, una asociación fósil con asociaciones modernas (Birks et al. 2010). A partir de las muestras modernas que presentan mayor similitud con las asociaciones fósiles, se infiere el clima pasado de la asociación fósil como equivalente al estado de la variable climática de interés a partir de las muestras análogas modernas. Frecuentemente, la reconstrucción se basa no en una muestra análoga, sino en la media o media ponderada de varias muestras (5, 10, 25) con los menores valores de disimilitud (= más similares). MAT no produce modelos globales, sino que genera modelos locales determinados por el conjunto de datos modernos (*training data*) para cada muestra fósil. Por ende, será más preciso cuanto mejor sea la cobertura de muestras a lo largo del gradiente climático de interés (Juggins y Birks 2012).

En este trabajo se utilizó el coeficiente *Squared Chord Distance* (SCD) como medida de disimilitud (Overpeck et al. 1985). Se calcularon los valores de SCD entre cada muestra fósil y el conjunto de muestras fitolíticas actuales y se estableció un valor crítico (V_c) de 0,30 por debajo del cual dos muestras fueron consideradas análogas. Para cada muestra fitolítica fósil se seleccionaron las 5 muestras fitolíticas actuales más similares y las variables climáticas se estimaron como el valor medio ponderado de estos 5 mejores análogos. Todos los cálculos y gráficos fueron realizados con el programa PAST 2.17c (Hammer et al. 2001).

Análisis isotópicos

Se analizó la composición isotópica ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) de la materia orgánica de 88 muestras sedimentarias, 21 procedentes de Laguna de Peña, 36 de Laguna Blanca y 31 de Laguna Negra. Las muestras sedimentarias fueron tratadas con 1N HCl para eliminación de CaCO_3 y lavadas reiteradamente con agua destilada hasta pH neutro. La abundancia relativa de ^{13}C y ^{15}N se determinó por espectrometría de masa en el Centro de Aplicaciones de Tecnología Nuclear en Agricultura Sostenible (CATNAS) en Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. Cada muestra fue pesada dentro de cápsulas de estaño (aprox. 1-20 mg dependiendo del contenido de N de la muestra) y éstas fueron dispuestas en el analizador elemental Flash EA 112 (Milan, Italia) acoplado a un espectrómetro de masa Finnigan MAT DELTAplus XL, donde se determinó la concentración de NT y CT y la abundancia relativa de ^{13}C y ^{15}N . La precisión (desvío estándar) de la determinación de estos índices, basada en el valor del estándar de laboratorio (leucina) fue de 0.1%, 0.2%, 0,1‰ y 0.3‰, respectivamente. La abundancia

natural de ^{13}C y ^{15}N se expresó en notación delta (δ) en partes por mil (‰), representada por la relación isotópica de la muestra relativa a la del estándar internacional (Lamb et al. 2006; Wilson et al. 2005).

II.4.3 Resultados y Discusión

Modelos de calibración

En la Figura II.26 se presentan los resultados de los modelos de calibración que resultaron óptimos, incluyendo los gráficos de dispersión de valores observados *versus* reconstruidos y de dispersión de valores residuales *versus* observados. Los parámetros estadísticos y los diagramas de dispersión indicaron un buen ajuste de los modelos de BIO1 (Temperatura media anual) y BIO16 (precipitación de la estación húmeda), con valores de r^2 de 0,79 y 0,78 respectivamente. Los diagramas de dispersión, a pesar de mostrar una cierta tendencia a sobreestimar los valores menores, señalan que los dos modelos resultaron adecuados para estimar los valores actuales (Figura II.26).

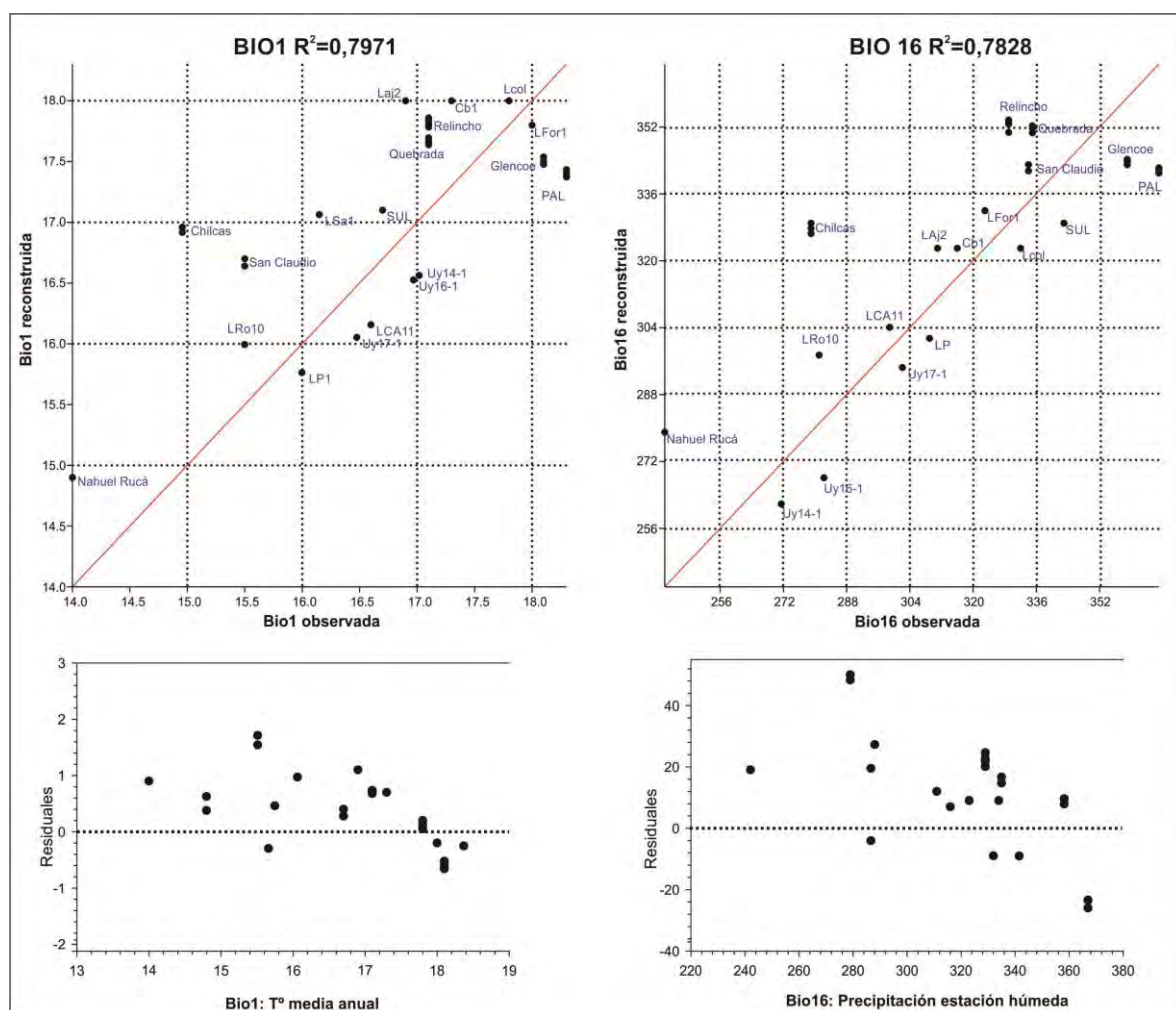


Figura II.26 Modelos de calibración para BIO1 y BIO16. Arriba, gráficos de dispersión de valores observados *versus* estimados con su r^2 correspondiente. Abajo, dispersión de valores residuales *versus* observados.

En la Figura II.27 se observa la ubicación de las muestras del *training set* en mapas bioclimáticos de las dos variables que resultaron óptimas para los modelos de calibración fitolitos-clima. Los rangos de las muestras modernas fueron de 14º a 18º C para la temperatura media anual (BIO1) y de 242 a 367 mm para la precipitación total de la estación húmeda (BIO16). Como se observa en la Figura II.27, ambas variables presentan un comportamiento similar en la región, disminuyendo latitudinalmente de forma tal que las muestras procedentes de las localidades con mayor temperatura media anual son también las que registran mayores valores de precipitación en la estación húmeda y viceversa.

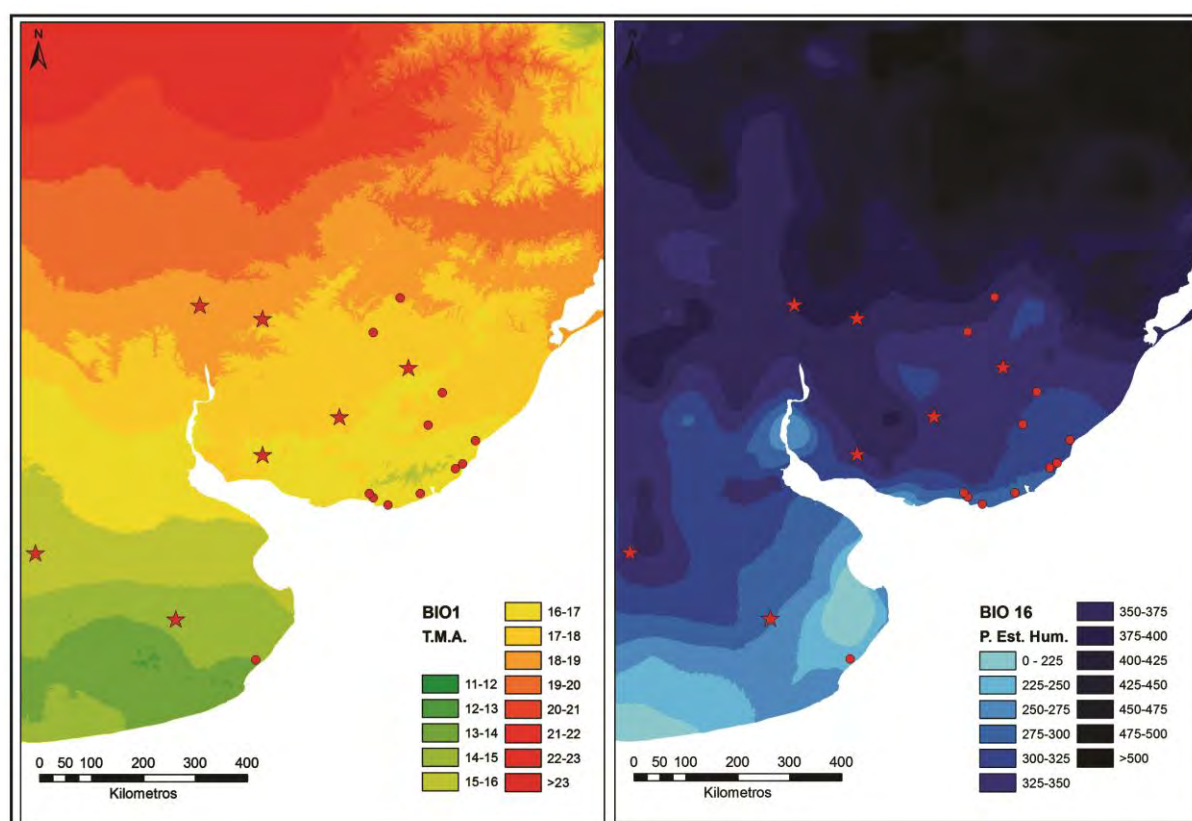


Figura II.27 Mapa bioclimático para las variables BIO1 y BIO16 con ubicación de los sitios que integran el *training set*, tanto clausuras (estrellas) como sistemas límnlógicos (círculos).

Estimaciones cuantitativas de las variables Paleoclimáticas

Laguna de Peña

En la Figura II.28 se presenta gráficamente la distribución vertical de la relación de abundancia relativa de los principales grupos taxonómicos utilizados en los modelos de calibración, de los valores de los índices calculados y de las variables bioclimáticas reconstruidas.

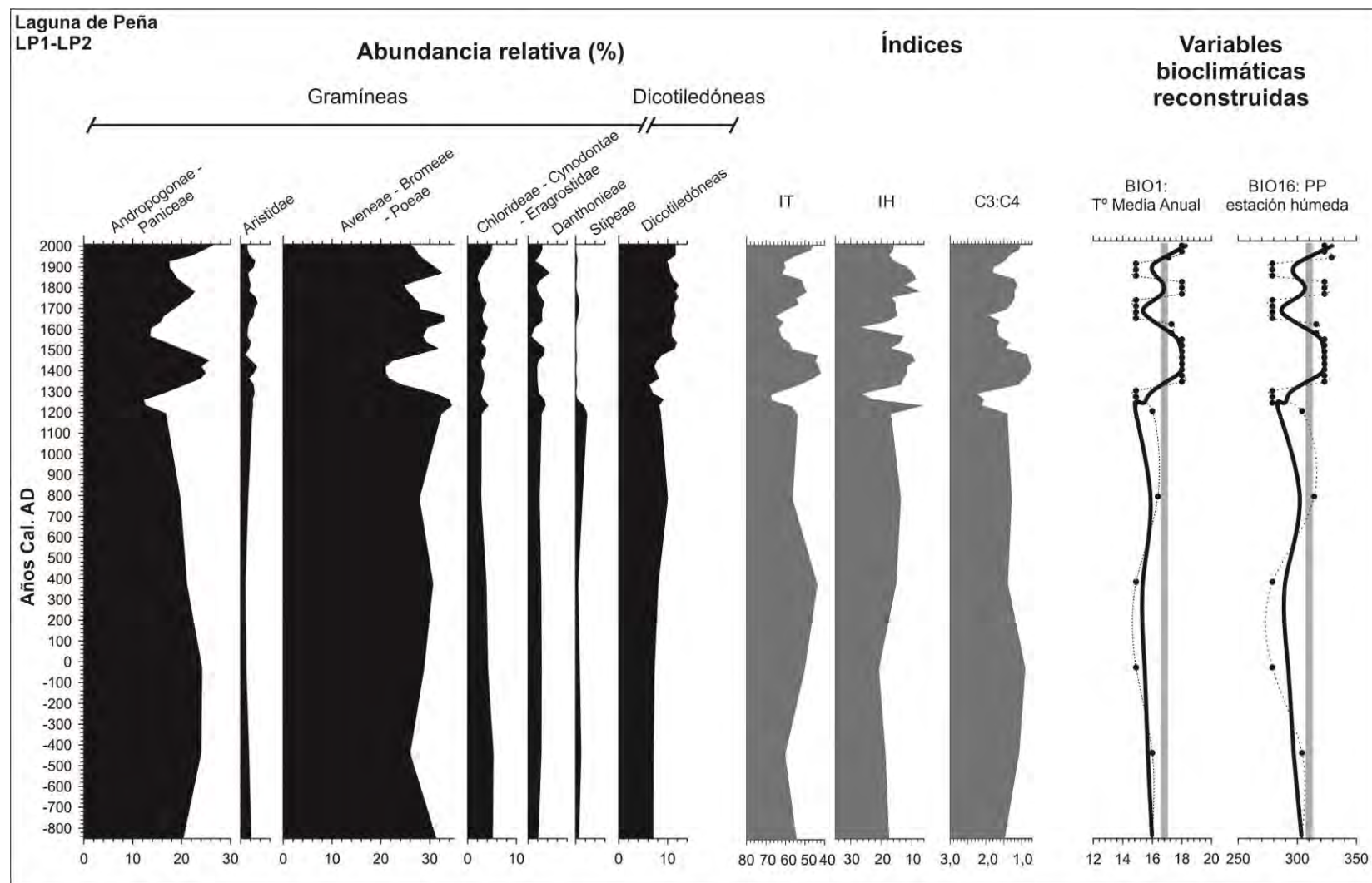


Figura II.28. Distribución vertical de los valores de abundancia relativa de los grupos taxonómicos empleados en la calibración, de los índices climáticos y de las variables bioclimáticas reconstruidas para Laguna de Peña (LP1-2). La línea sólida representa la tendencia (LOESS smoother; span=0.20, orden=1) de los valores estimados. Las líneas grises indican los valores actuales de referencia para la localidad de muestreo.

En primer término, se observó una buena correspondencia entre el comportamiento de las variables bioclimáticas reconstruidas, lo que es consistente con el registro de ambas variables en la actualidad (Figura II.27). También se pudo apreciar una buena correspondencia entre las variables bioclimáticas y los índices climáticos calculados, incluyendo la relación de gramíneas $C_3:C_4$. En el Apartado II.2 (Tabla II.8) ya se había establecido una correlación estadísticamente significativa de ambas variables (BIO1 y BIO16) con el índice $C_3:C_4$ para los sitios bajo exclusión de pastoreo, que se vio reforzada al incorporar los nuevos sitios en el *training set* para la calibración fitolitos-clima actual.

Como se refirió en el apartado anterior (II.3), a pesar de que el registro de Laguna de Peña comienza próximo al 2500 a¹⁴C AP, presentó mayor resolución para los últimos 800 años. Para el periodo previo, los resultados obtenidos indican valores de TMA y PEstH levemente menores a los actuales hasta casi el comienzo de nuestra era, cuando se observa un descenso en ambas variables. Esta disminución de la TMA (15°C) y de la PEstH (290mm) se habría extendido hasta *circa* el 700 AD. A partir de entonces se registró un incremento de ambas variables hasta alcanzar y superar levemente los valores actuales entre el 800 y 1100 AD.

A partir de *circa* 1200 AD, el aumento en la tasa de sedimentación del sistema aportó un registro de mayor resolución para reconstruir los cambios en la vegetación de la cuenca y en el clima en general. Estos cambios comenzaron con una marcada disminución de la temperatura y las precipitaciones, indicada tanto por los índices climáticos como por las variables reconstruidas. La temperatura media anual descendió hasta alcanzar el registro mínimo del *training set* (14°C) en tanto los valores reconstruidos de la precipitación de la estación húmeda correspondieron a 280 mm (Figura II.28). Este pulso más frío y seco, que se extendió hasta *circa* 1350 AD, está marcadamente evidenciado en todos los indicadores estudiados. Esto incluye la relación SF:OSB que indicó un fuerte aumento de aportes de la cuenca para este periodo, congruente con condiciones más secas y una cobertura vegetal más rala (Apartado II.3).

En los siguientes 200-250 años la temperatura y la humedad incrementaron nuevamente, llegando incluso a superar levemente los valores actuales de referencia para la zona. Estos valores volvieron a descender hacia el 1600 AD, registrándose para los 300 años subsecuentes una alternancia de condiciones más frías y secas (TMA=14,6°C; PEstH=280mm) de aproximadamente un siglo de duración (1600-1700 AD; 1800-1900 AD), interceptadas por condiciones similares a las actuales entre el 1700 y 1800 AD.

Para el último siglo de nuestra era, el registro denotó un incremento constante de ambas variables que en los últimos 50 años superan los valores de referencia para el área. No obstante, como se señaló

anteriormente, los impactos antrópicos modernos (ganadería, forestación, etc.) pueden haber ocasionado registros climáticamente alterados para este período reciente (Apartados II.2 y II.3).

Laguna Blanca

El sector superior del testigo LBI1 contiene registro de los últimos 2200 años en 300 cm de potencia, sin que se observen cambios importantes constatados en la tasa de sedimentación. En la Figura II. 29 se presentan gráficamente la información de base y los resultados obtenidos para este testigo. En los gráficos presentados se observa nuevamente una muy buena correspondencia entre las variables bioclimáticas reconstruidas y entre éstas y los índices climáticos calculados, especialmente con la relación $C_3:C_4$.

Los resultados obtenidos permitieron establecer el predominio de condiciones más frías a las actuales (15°C) a comienzos de nuestra era (200 AC-100 AD), que se volvieron paulatinamente más cálidas y húmedas hasta alcanzar valores similares a los actuales en el entorno del 800 AD. Entre esta fecha y el 1100 AD, la temperatura media anual alcanzó los 18°C y la precipitación superó los 350 mm en la estación húmeda, ambos registros mayores a los valores de referencia actuales para el área (Figura II.29).

Entre el 1200 y el 1400 AD los valores de ambas variables disminuyeron, cayendo por debajo de los valores actuales con mínimos de 15°C y 280mm para BIO1 y BIO16 respectivamente. Valores similares a los actuales fueron nuevamente recuperados entre el 1400 y 1600 AD. A partir de esa fecha y hasta circa 1900 AD, los valores de TMA y PEstH se mantuvieron por debajo de los registros actuales, con mínimos de 14°C y 240 mm hacia el 1700 AD.

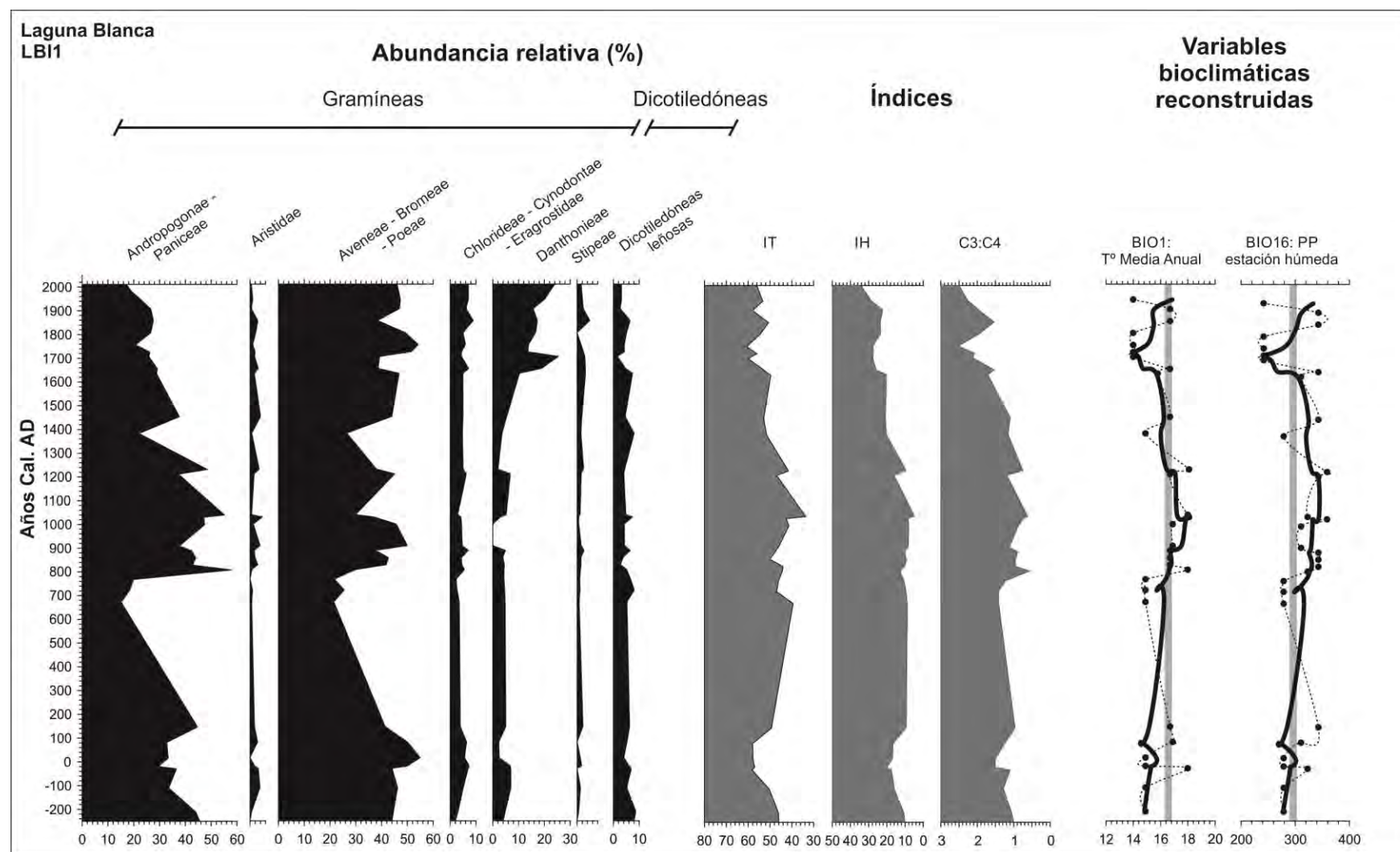


Figura II.29. Distribución vertical de los valores de abundancia relativa de los grupos taxonómicos empleados en la calibración, de los índices climáticos y de las variables bioclimáticas reconstruidas para Laguna Blanca (LBI1). La línea sólida representa la tendencia (LOESS smoother; span=0.20, orden=1) de los valores estimados. Las líneas grises indican los valores actuales de referencia para la localidad de muestreo.

En la Figura II.30 se presenta gráficamente la distribución vertical de la relación de abundancia relativa de los principales grupos taxonómicos utilizados en los modelos de calibración, de los valores de los índices calculados y de las variables bioclimáticas reconstruidas para el sector superior del testigo LN3. El mismo comprende los últimos 2000 años en 180 cm de potencia, aunque al eliminar los 35 cm superiores el registro analizado se extiende solo hasta el 1512 AD (Figura II.25).

Como se observa en la representación gráfica, las variables reconstruidas mostraron una muy escasa variabilidad a lo largo del sector del testigo analizado, con valores siempre superiores a los registrados actualmente en la localidad de muestreo. Los valores de temperatura media anual oscilaron entre 17,8 y 18°C, en tanto la precipitación de la estación húmeda varió entre 323 y 331 mm. Ambas variables mostraron tendencias inversas entre sí, siendo la TMA la que mejor ajuste presenta en relación a los índices climáticos calculados. De acuerdo a estas variables, entre el 450 y el 900 AD se habría registrado una disminución en la temperatura, que habría vuelto a elevarse entre el 1000 y 1200 AD. Entre el 1200 y 1400 AD volvió a registrarse una leve disminución de la TMA que se habría revertido hacia el 1500 AD.

Los altos valores reportados para ambas variables y la escasa variación que presentaron a lo largo del testigo, pueden responder a las propias características de la génesis del registro. El testigo LN3 fue tomado en la costa de la laguna Negra y los primeros dos metros de potencia corresponden a un estrato turboso rico en macro-restos vegetales. El registro del sector analizado procede de una turba que se desarrolló en el borde de la laguna y no de un fondo de laguna propiamente dicho (García-Rodríguez et al. 2010; Blasi et al. 2005). Como turbera, presenta un registro rico y de alta resolución de los cambios *in situ* acaecidos en los últimos 2000 años, pero no constituye un depósito de indicadores procedentes de la cuenca y del propio cuerpo de agua. Por ende, el registro obtenido que no es comparable con el de los otros sistemas abordados, por lo que no se consideró apto para el modelo de calibración propuesto. Aun en forma relativa, la información aportada por este registro es igualmente consistente en cuanto a las principales tendencias observadas, sobre todo en relación a los cambios de temperatura anual.

Por otro lado, cabe agregar que para el sector comprendido entre los 80 y 60 cm de profundidad (~1000-1200 AD) trabajos previos (del Puerto 2009) reportaron una muy alta abundancia relativa del morfotipo cruz Tt1 (Figura II.3), cuya producción ha sido tradicionalmente asociada al maíz. Este aspecto será abordado en el Capítulo III (Apartado III.2), pero es preciso contemplar la posibilidad de que al menos un sector del registro se halle impactado por prácticas prehistóricas de cultivo.

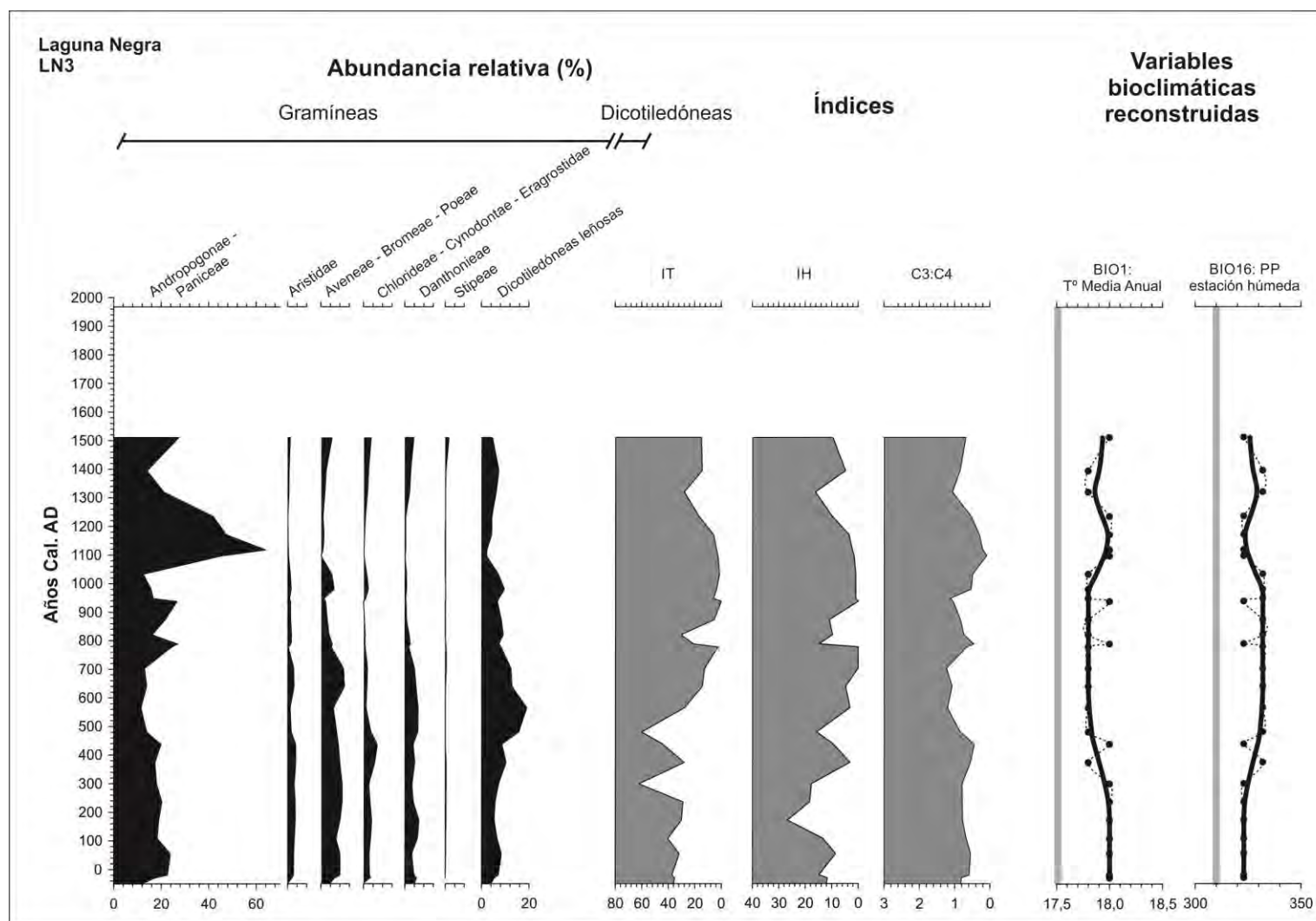


Figura II.30. Distribución vertical de los valores de abundancia relativa de los grupos taxonómicos empleados en la calibración, de los índices climáticos y de las variables bioclimáticas reconstruidas para Laguna Negra (LN3). La línea sólida representa la tendencia (LOESS smoother; span=0.20, orden=1) de los valores estimados. Las líneas grises indican los valores actuales de referencia para la localidad de muestreo.

En la Figura II.31 se presentan los modelos de reconstrucción de ambas variables bioclimáticas y el índice $C_3:C_4$ para el registro conjunto e integrado de Laguna de Peña y Laguna Blanca. El registro de Laguna Negra no fue considerado para el modelo por las razones anteriormente esgrimidas.

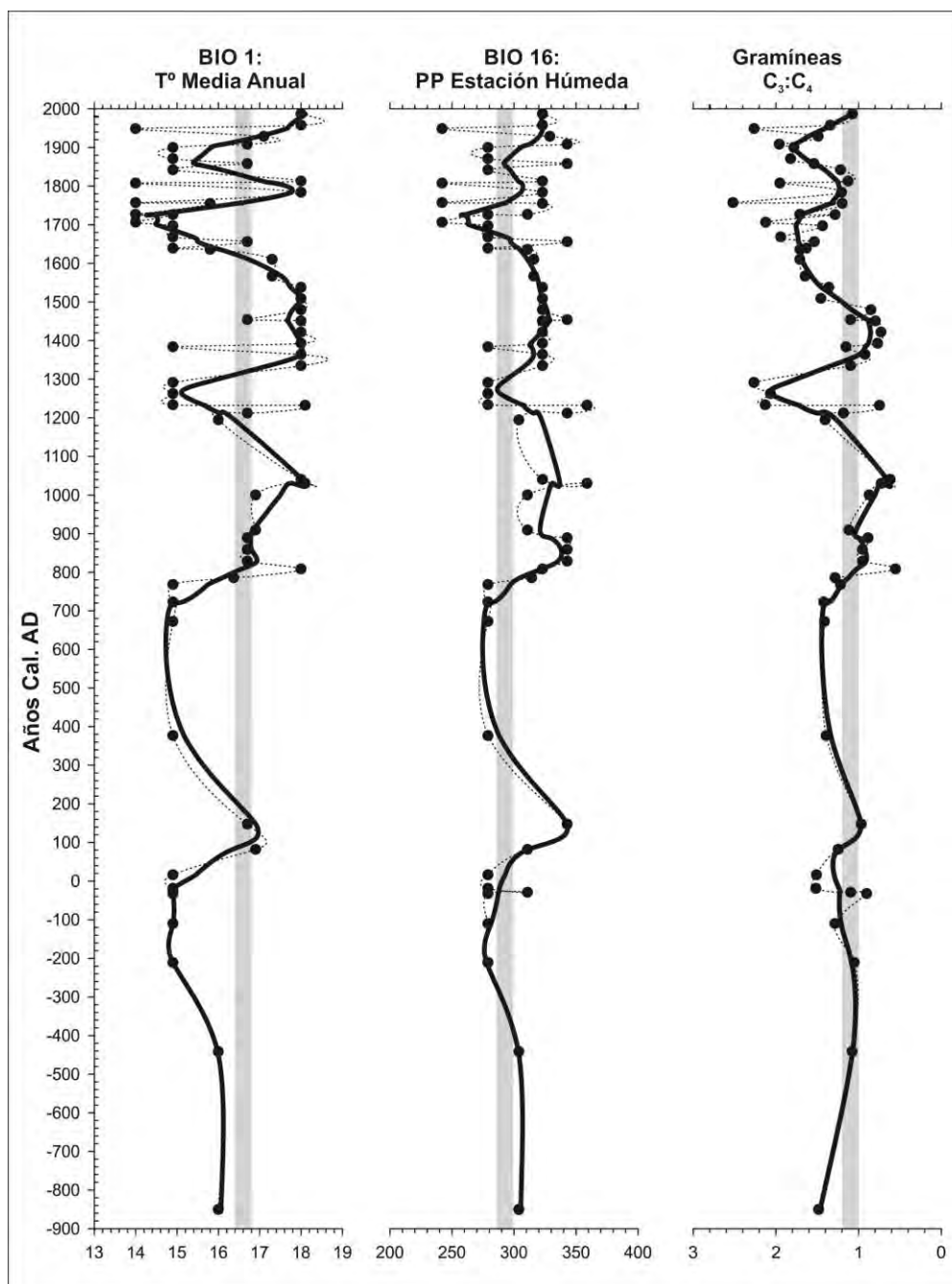


Figura II.31. Modelo de variación temporal de las variables bioclimáticas reconstruidas y de la relación de gramíneas $C_3:C_4$ para los últimos 2800 años, a partir de los registros integrados de Laguna de Peña y Laguna Blanca. La línea sólida representa la tendencia (LOESS smoother; span=0.25, orden=1) de los valores estimados. Las bandas grises expresan el rango de referencia actual de las variables para la región.

El registro conjunto abarca los últimos 2800 años calibrados y las variables consideradas permiten identificar la siguiente secuencia climática:

- 800 a 300-250 AC: condiciones climáticas similares a las actuales
- 250 AC a 50 AD: menor TMA (15°C) y leve disminución de la PEstH.
- 50-150 AD: valores actuales de TMA e incremento en la PEstH que alcanza los 350 mm.
- 150-800 AD: nueva disminución de la TMA (15°C) y la PEstH (280mm) respecto a la referencia actual
- 800-1200: máximos valores de TMA (18,5°C) y PEstH alcanza nuevamente los 350 mm
- 1200-1350: nueva disminución de la TMA por debajo de los niveles actuales (15°). La precipitación de la estación húmeda también disminuye, pero hasta alcanzar los valores actuales de referencia
- 1350-1600: incremento de ambas variables por encima de los valores actuales de referencia
- 1600-1750: mínimos valores de TMA (14°C) y de PEstH (250mm)
- 1750-1850: variables climáticas con valores que superan la referencia actual
- 1850-1900: TMA cae por debajo del nivel actual en tanto la PEstH disminuye hasta los valores de referencia
- 1900-2000: incremento de ambas variables hasta alcanzar y superar los registros de referencia actuales.

La relación de gramíneas C₃:C₄ mostró un comportamiento concordante con ambas variables climáticas, mostrando una correlación estadísticamente significativa (Tabla II. 12) y una menor dispersión de los valores respecto a la línea de tendencia. Al no depender de análogos modernos que definan el rango dispersión de los valores, este ajuste de la relación C₃:C₄ refuerza el carácter confiable de este índice como indicador de cambios climáticos en ecosistemas de pastizales. De acuerdo a este índice, los mayores valores de temperatura y precipitación habrían ocurrido entre el 850 y 1100 AD, con un segundo pulso positivo *circa* 1400 AD. Del mismo modo, durante los periodos comprendidos entre el 1200-1300 AD, 1500-1700 AD y 1800-1900 AD se habrían registrado valores de TMA y PEstH inferiores a los actuales.

Tabla II.12 Correlación de Pearson entre valores reconstruidos de TMA y PEstH y relación C₃:C₄ para el registro integrado de LP1-2 y LBI

	Bio1	Bio16	C3:C4
Bio1			0,0000
Bio16	0.86317		0,0002
C3:C4	-0.66103	-0.64101	

Análisis isotópicos

Laguna de Peña

En la Figura II.32 se presentan gráficamente los resultados obtenidos del análisis geoquímico, conjuntamente con los valores de los índices $C_3:C_4$, SF:OSB y C:D calculados a partir de la relación de partículas biosilíceas. La distribución vertical se encuentra representada en función de la profundidad y no de la edad calibrada, para facilitar la discusión en relación a las características litoestratigráficas y no perder resolución debido a las diferencias en los ritmos de sedimentación.

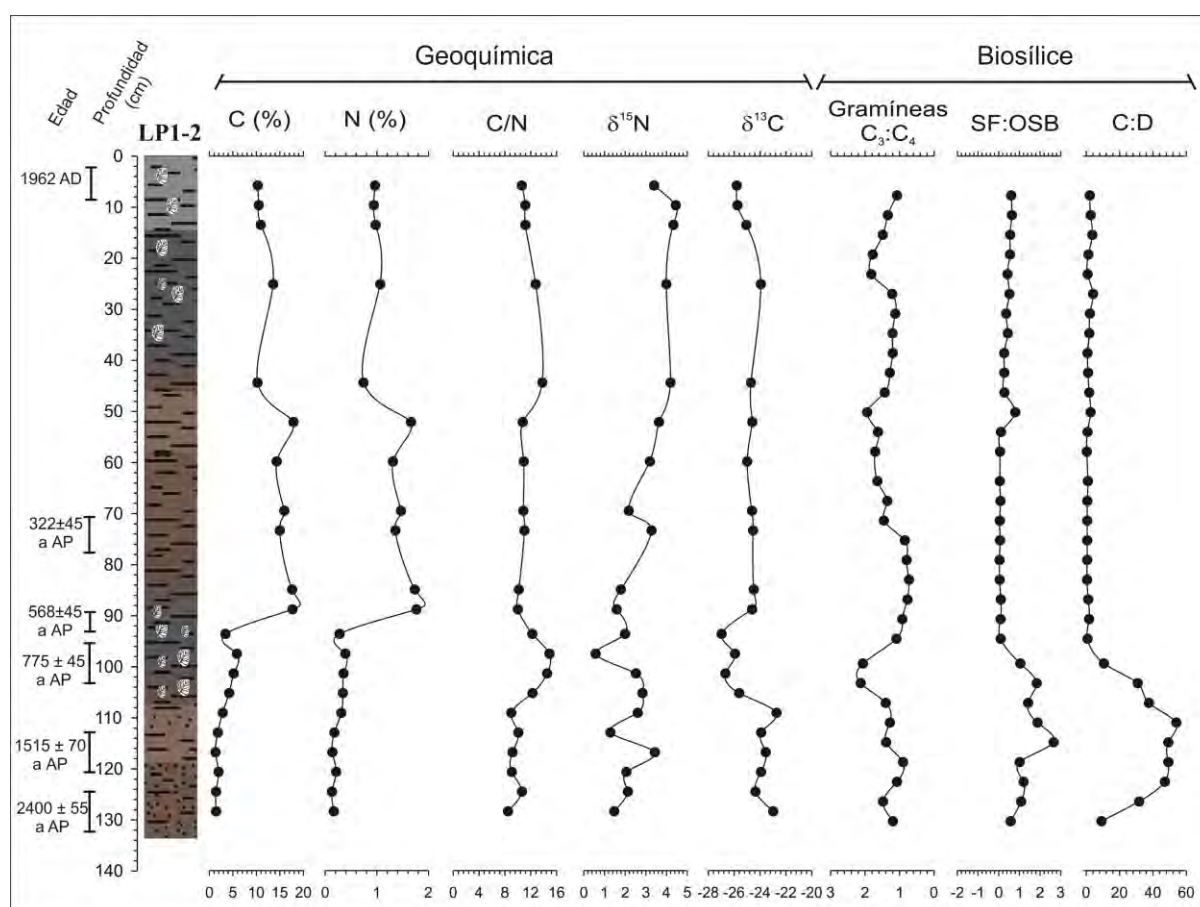


Figura II.32. Distribución vertical de los valores obtenidos del análisis elemental e isotópico, junto a los índices de gramíneas $C_3:C_4$, SF:OSB y C:D para el registro de Laguna de Peña (LP1-2).

El conjunto de la información generada permite diferenciar dos sectores principales del registro. El primer sector comprende las tres unidades litológicas basales, entre los 135 y 100 cm. Se caracterizó por bajos niveles de C, N y $\delta^{15}N$, lo que sugiere un bajo nivel trófico del cuerpo de agua. En tal sentido, los altos valores de la relación C:D son consistentes con condiciones oligotróficas y la relación SF:OSB indica que predominaron los aportes de materia orgánica desde la cuenca. La relación C/N también es consistente con este predominio de aportes desde la cuenca. Como los sedimentos no presentan

cantidades significativas de carbonatos, esta relación es equivalente a la relación TOC/TN (carbono orgánico total:nitrógeno total), utilizada como indicador de cambios en la fuente de materia orgánica en sistemas límnicos (ej. Piovano et al. 2004).

Durante estas condiciones de bajos niveles tróficos y mayores aportes desde la cuenca, la relación de fitolitos de gramíneas $C_3:C_4$ muestra una buena correspondencia con los valores de $\delta^{13}C$. Ambos indicadores señalan condiciones mesotérmicas para las dos unidades basales, denotadas por valores menos negativos del $\delta^{13}C$ y por la baja relación de gramíneas C_3 . Estas condiciones cambiaron bruscamente en la unidad litoestratigráfica supra yacente (109-99 cm), denotando un importante aumento de vegetación C_3 hacia el 775 a¹⁴C AP. Este cambio se corresponde con un cambio general del sistema, evidenciado por una variación en la tasa de sedimentación (Figura II.18, Apartado II.3) y por diferencias notorias en todos los indicadores analizados (Apartado II.3).

A partir de esta transición, las unidades supra yacentes se caracterizaron por altos niveles tróficos, evidenciados por altos contenidos de C y N, incremento de $\delta^{15}N$ y muy bajos valores del índice C:D. Mientras que la relación C:D se mantuvo constante, el $\delta^{15}N$ mostró una tendencia en aumento hacia el tope del registro. El carbono orgánico y el nitrógeno presentaron valores máximos entre los 90 y 50 cm (~17 y 2% respectivamente), para luego descender y mantener valores relativamente constantes (~10 y 0,5% respectivamente). La disminución de la relación C/N y del índice SF:OSB indicaría que la materia orgánica depositada en los 100 cm superiores del registro fue de origen principalmente autóctono. De esto se derivó que la relación entre el índice $C_3:C_4$ y la señal $\delta^{13}C$ haya perdido fuerza en este sector del registro. El $\delta^{13}C$ incrementó desde los valores mínimos alcanzados entre los 109-99 cm para mantener valores relativamente constantes hasta la unidad litoestratigráfica superior, donde registró un leve descenso. La relación $C_3:C_4$ también incrementó al comienzo del sector, denotando que el aumento de la productividad del sistema ocurrió bajo condiciones de mayor temperatura y humedad.

No obstante, este índice indica que las condiciones no se mantuvieron estables durante el depósito de las unidades que conforman el sector superior del registro (100-0 cm). Hacia el 322 a¹⁴C AP. se registró un incremento en el aporte de gramíneas C_3 , denotando disminución de la temperatura media anual y de la precipitación en la estación húmeda. Los valores más extremos se registraron hacia los 50 cm de profundidad (límite de las UL III y IV), consistentes con la caída de los valores de C y N, el aumento de la relación C/N y del índice SF:OSB (Figura II.32). Lo anterior es consistente con un mayor aporte de la cuenca para este episodio de intensificación de las condiciones más frías y secas. En los 50 cm superiores la relación $C_3:C_4$ disminuyó hasta registrar valores próximos a 1, evidenciando condiciones similares a las actuales, aunque con un nuevo pulso más frío y seco hacia los 20 cm (Figura II.32).

En la Figura II.33 se presentan gráficamente los resultados obtenidos del análisis geoquímico (%C, %N, C/N, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$) conjuntamente con los valores de los índices $\text{C}_3:\text{C}_4$, SF:OSB y C:D calculados a partir de la relación de partículas biosilíceas.

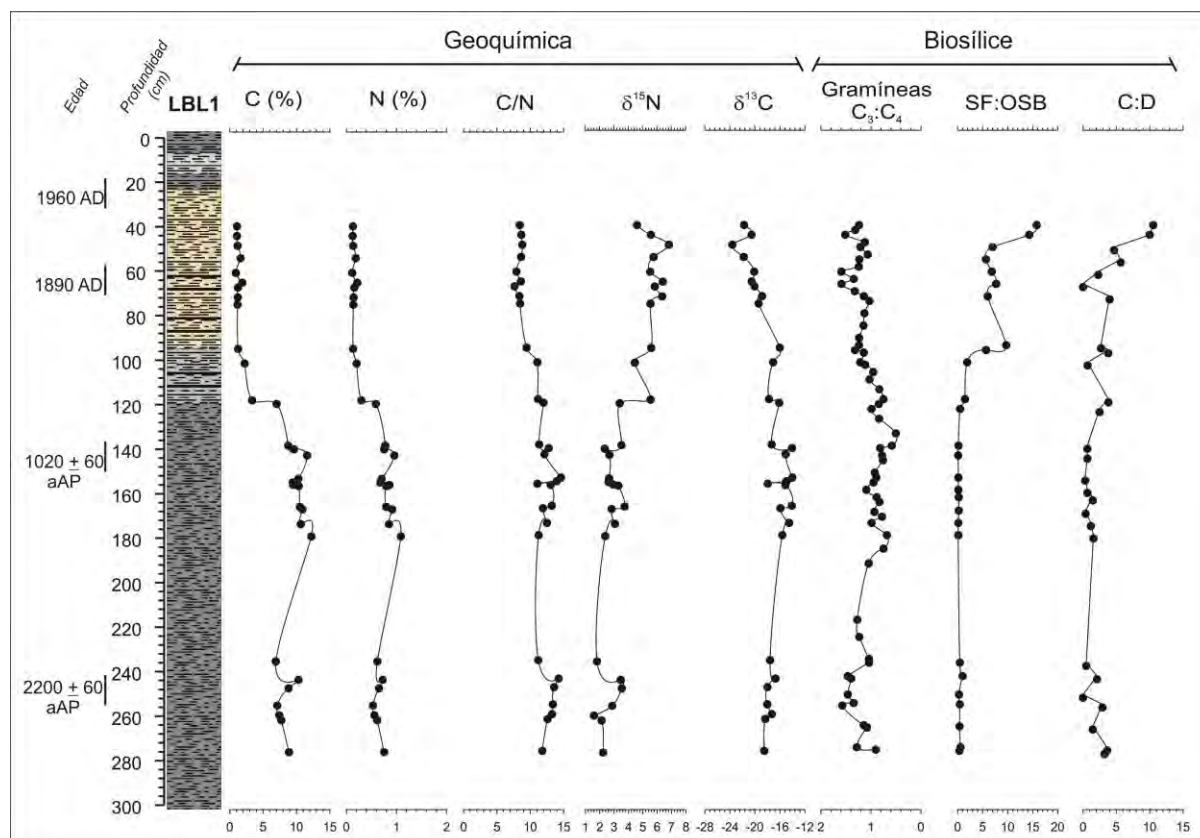


Figura II.33. Distribución vertical de los valores obtenidos del análisis elemental e isotópico, junto a los índices de gramíneas $\text{C}_3:\text{C}_4$, SF:OSB y C:D para el testigo LBL1.

El comportamiento de los indicadores geoquímicos y biológicos mostró una buena correspondencia con las unidades litoestratigráficas identificadas en el sector del testigo considerado para el análisis.

La UL inferior se caracterizó por mayores contenidos de N y C y bajos valores de los índices SF:OSB y C:D. Esto es correlacionable con mayores niveles tróficos del cuerpo de agua con importante producción autóctona de materia orgánica. Los mayores valores $\delta^{13}\text{C}$ y el bajo índice $\text{C}_3:\text{C}_4$, indican el predominio de condiciones templadas a cálidas y húmedas para este sector del registro que incrementaron más aún hacia el tope de la unidad.

Al interior de esta UL pueden identificarse variaciones menores que se registran en todos los indicadores considerados. La primera tuvo lugar hacia el 2200 a¹⁴C AP y se caracterizó por un pico positivo del contenido de C y N, valores mayores de la relación C/N, de la señal $\delta^{15}\text{N}$ y del índice SF:OSB.

En contraposición, se registró una leve disminución del índice C:D, en tanto la relación $C_3:C_4$ y la señal isotópica $\delta^{13}C$ sugieren un incremento de gramíneas C_3 en la cuenca. En conjunto, este pulso podría interpretarse como producto de un incremento del estado trófico a partir de aportes de material orgánico desde la cuenca, bajo condiciones de temperatura y humedad levemente inferiores a las del resto de la unidad. Hacia el tope de la unidad, entre los 180 y 120 cm de profundidad, se registró un nuevo incremento en el nivel trófico de la laguna, denotado por el aumento en los valores de C y N y bajos valores del índice C:D. Este aumento tuvo su máximo hacia el 1000 a¹⁴C AP, momento para el que se registraron los mayores valores $\delta^{13}C$ y la menor relación $C_3:C_4$, denotando un aumento en la temperatura y la humedad.

La unidad supra yacente (118-98 cm) es transicional, evidenciando el inicio de la tendencia a la baja de los valores de C, N y C/N y la alta de la señal $\delta^{15}N$ y de los índices SF:OSB y C:D; tendencias que se consolidaron en la unidad superior (98-22 cm). En conjunto, estos indicadores sugieren una importante caída en los niveles tróficos del cuerpo de agua y el predominio de aportes desde la cuenca, sucedidos bajo condiciones de menor temperatura y humedad, según lo indicaron los valores más negativos de $\delta^{13}C$ y el mayor valor $C_3:C_4$. Dentro de esta tendencia general, hacia el 1890 AD se manifestó una intensificación del aporte de especies C_3 desde la cuenca, tras la cual incrementaron notoriamente las relaciones SF:OSB y C:D, al tiempo que los valores de C y N disminuyeron hasta su mínima expresión (1% y 0,12% respectivamente).

En líneas generales, se observó una buena correlación entre el comportamiento de la señal isotópica $\delta^{13}C$ y el índice $C_3:C_4$, más allá de los cambios en los niveles tróficos y variaciones en las fuentes de aporte de la materia orgánica.

Laguna Negra

En la Figura II.34 se presenta la distribución vertical de los valores obtenidos del análisis elemental e isotópico y de los índices biosilíceos para el sector del testigo LN3.

La unidad basal (180-135 cm) del sector del testigo considerado para el análisis presentó valores relativamente constantes de C (~20%), N (~2%), C/N (~10), $\delta^{15}N$ (~1), $\delta^{13}C$ (-24), $C_3:C_4$ (~0,8), SF:OSB (~0,3) y C:D (~0,2).

En la unidad suprayacente, entre los 135 y 115 cm de profundidad, se registró un brusco decaimiento en los valores de C y N, concomitante con el aumento de la relación C/N y un notorio incremento de los índices SF:OSB y C:D. Ese cambio sugiere una caída del estado trófico y un mayor aporte desde la

cuenca. Los valores más negativos de $\delta^{13}\text{C}$ y el aumento de la relación $\text{C}_3:\text{C}_4$ en este sector, indican disminución de la temperatura y precipitación hacia el 1600 a¹⁴C AP.

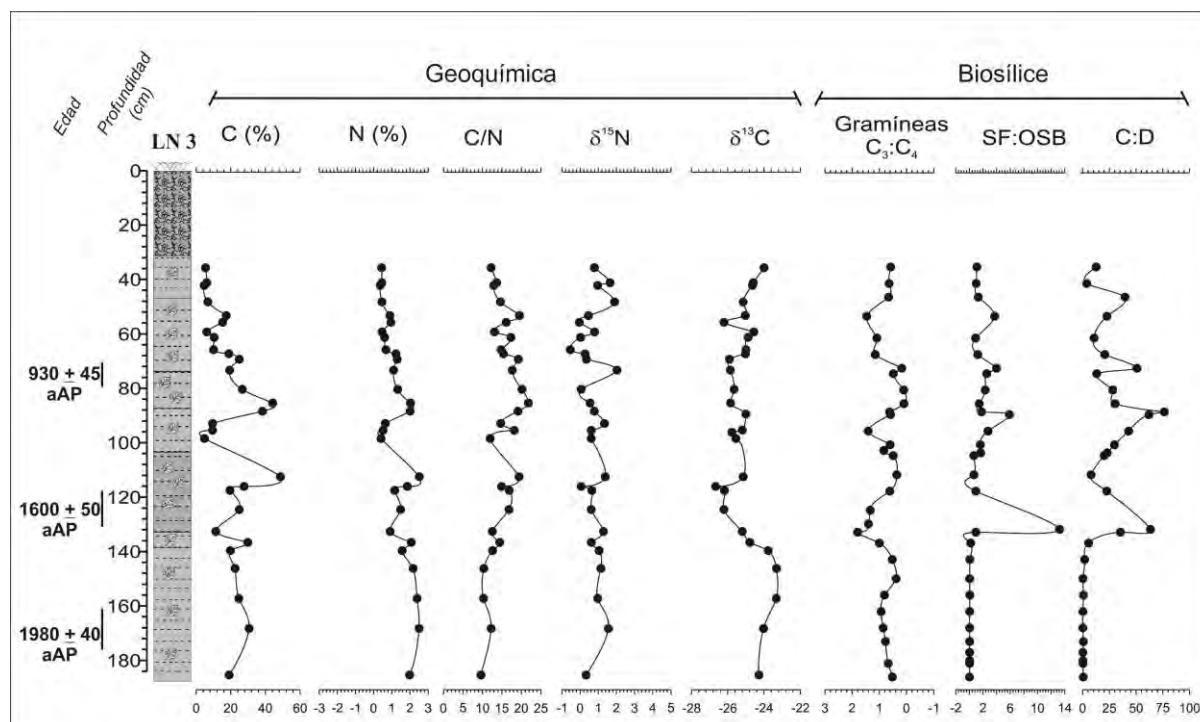


Figura II.34. Distribución vertical de los valores obtenidos del análisis elemental e isotópico, junto a los índices de gramíneas $\text{C}_3:\text{C}_4$, SF:OSB y C:D para el sector superior del testigo LN3.

A los 110 cm se observó un importante incremento en el contenido de C, que alcanzó valores de hasta 50%. También aumentaron los valores de N, al tiempo que los índices SF:OSB y C:D cayeron notablemente. La relación de gramíneas $\text{C}_3:\text{C}_4$ y la señal isotópica $\delta^{13}\text{C}$ indicaron el restablecimiento de gramíneas C_4 , recuperando valores próximos a los registrados antes del 1600 a¹⁴C AP.

Estos valores se mantuvieron hasta los 97cm, donde volvieron a registrarse condiciones similares a las inferidas para el 1600 a¹⁴C AP: valores mínimos de C y N, incremento de los índices SF:OSB y C:D, valores más negativos de $\delta^{13}\text{C}$ y mayores de la relación $\text{C}_3:\text{C}_4$.

Entre los 90 y 70 cm volvieron a incrementar los valores de C y N y a disminuir la relación C/N y los índices SF:OSB y C:D. La relación de células cortas de gramíneas evidenció un aumento de especies C_4 para este sector, alcanzando los valores más bajos del índice $\text{C}_3:\text{C}_4$. El $\delta^{13}\text{C}$ no acompañó estos cambios, registrando valores similares a los del sector anterior.

Los 35 centímetros superiores (70-35 cm) mostraron una tendencia general hacia la disminución de los valores de C y N y de la relación C/N, mientras que las señales isotópicas $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ incrementaron hacia la superficie y los índices obtenidos a partir de partículas biosilíceas exhibieron variaciones de

menor intensidad. No obstante, hacia los 50 cm se volvió a registrar una breve inflexión en las tendencias observadas, registrándose en todos los indicadores considerados.

Análisis integrado

El análisis integrado de los distintos indicadores geoquímicos y biosilíceos, aunado a la caracterización sedimentológica de los depósitos, permitió identificar cambios en los sistemas estudiados, incluyendo variaciones en los cuerpos de agua, en sus cuencas y en la relación entre ambos. En líneas generales, se halló una buena correspondencia entre la abundancia de nutrientes (C y N) y bajos valores de los índices SF:OSB y C:D, denotando mayores niveles tróficos con predominio de aportes autóctonos de materia orgánica. En este sentido, la relación C/N mostró una buena correspondencia con el índice SF:OSB, más allá de registrarse algunos eventos puntuales con altos valores SF:OSB y bajos valores de C/N. El tope del testigo LBI1 ejemplifica esta situación. Al observar las características sedimentológicas de la unidad correspondiente y los bajos valores de nutrientes para ese sector del registro, esta discrepancia puede responder a procesos masivos de erosión que generaron aportes desde la cuenca con muy escaso depósito de materia orgánica. En este caso en particular, los procesos erosivos han sido relacionados con el comienzo de la forestación en la cuenca de la laguna (ej. García-Rodríguez et al. 2004).

Los periodos donde predominaron o fueron más importantes los aportes desde las cuencas, se relacionaron con bajos niveles tróficos de los sistemas (bajo contenido de C, N y altos valores de C:D). Al predominar los aportes externos, la señal isotópica $\delta^{13}\text{C}$ de la materia orgánica depositada reflejó mejor las características de la vegetación de las cuencas, lo que se ve reflejado en la mayor correspondencia entre el índice $\text{C}_3:\text{C}_4$ y el $\delta^{13}\text{C}$. Ambos indicadores son consistentes con un mayor dominio de vegetación C_3 para estos periodos, vinculable a condiciones de menor temperatura y precipitación y/o mayor estacionalidad.

Sin embargo, también durante los periodos para los que se infiere mayor productividad primaria e incremento de los aportes autóctonos de materia orgánica, se halló una buena correspondencia entre ambos indicadores. Esto puede vincularse a que los incrementos en la productividad de los sistemas y el aumento del estado trófico de los mismos, suele asociarse a condiciones de mayor temperatura y humedad (García Rodríguez et al. 2009). Por ende, si bien los cambios que ocurren en la vegetación de las cuencas no se ven mayormente reflejados por la composición isotópica de la materia orgánica, ambos reflejan el cambio en las condiciones climáticas en el mismo sentido. El incremento del estado trófico genera señales menos negativas de $\delta^{13}\text{C}$, que acompañan un mayor desarrollo de gramíneas C_4 en las cuencas.

En el caso de Laguna de Peña, el sector más moderno del registro muestra un importante desfase en las tendencias de ambos indicadores, que también puede asociarse con el impacto moderno de la forestación (predominio de vegetación arbórea C_3 en la cuenca). Para los otros dos sistemas no se cuenta con datos isotópicos correspondientes al periodo más reciente para comparar.

En la Figura II.35 se presentan los modelos $\delta^{13}C$ y $C_3:C_4$ versus edad para cada uno de los registros analizados.

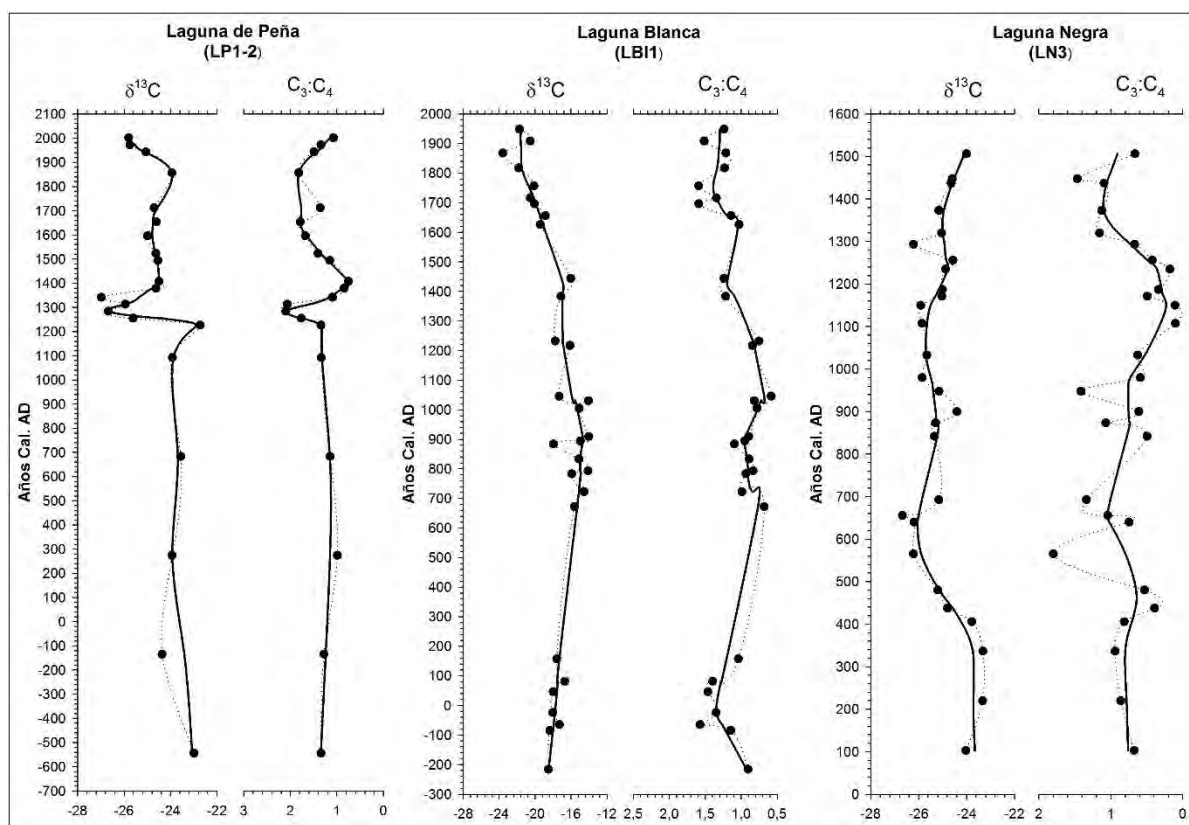


Figura II.35. Modelo de variación temporal de la señal isotópica $\delta^{13}C$ y de la relación de gramíneas $C_3:C_4$ para los tres sistemas estudiados. La línea sólida representa la tendencia (LOESS smoother; span=0.25, orden=1) de los valores estimados.

En los gráficos se observa el buen ajuste de ambos indicadores para cada sistema estudiado, particularmente para Laguna Blanca y los sectores inferiores de Laguna de Peña y Laguna Negra. En el caso de Laguna Blanca, se halló una correlación estadísticamente significativa entre las tendencias establecidas para ambos indicadores a lo largo de todo el registro analizado (Tabla II. 13). Cabe destacar que de los tres registros analizados, el de Laguna Blanca fue el que presentó menor concentración de nutrientes, con valores de carbono orgánico que no superaron el 10%, e importantes aportes de la cuenca en toda su extensión.

Para Laguna de Peña, dicha correlación resultó significativa para el sector comprendido entre los 96 y 135 cm (Tabla II.13). Este sector corresponde a las unidades basales, caracterizadas por el mayor aporte

de la cuenca (Figura II.32). Finalmente, para el registro de Laguna Negra también se halló una correlación estadísticamente significativa en el sector basal comprendido entre los 90 y 180 cm (Tabla II.13). En este caso, las diferencias con el sector superior no parecen responder a cambios en los niveles de nutrientes o las fuentes de aporte de la materia orgánica. Sin embargo, debe notarse que el límite entre los sectores se ubica en los intervalos identificados como posiblemente modificados por actividades prehistóricas de cultivo (del Puerto 2011b).

Tabla II.13. Correlaciones de Pearson entre valores $\delta^{13}\text{C}$ y $\text{C}_3:\text{C}_4$ para sectores de los tres registros

LB I 0-300	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{13}\text{C loess}$	$\text{C}_3:\text{C}_4$	$\text{C}_3:\text{C}_4\text{ loess}$
$\delta^{13}\text{C}$		0,00000	0,0010146	0,08237
$\delta^{13}\text{C loess}$	0.92105		0,47493	0,00435
$\text{C}_3:\text{C}_4$	-0.56148	-0.66339		0,00000
$\text{C}_3:\text{C}_4\text{ loess}$	-0.70839	-0.76892	0.90914	
LP 96-135	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{13}\text{C loess}$	$\text{C}_3:\text{C}_4$	$\text{C}_3:\text{C}_4\text{ loess}$
$\delta^{13}\text{C}$		0.00029214	0.0040532	0.0071563
$\delta^{13}\text{C loess}$	0.92905		0.0039863	0.0093272
$\text{C}_3:\text{C}_4$	-0.84591	-0.84668		0.00074486
$\text{C}_3:\text{C}_4\text{ loess}$	-0.81719	-0.80192	0.9067	
LN 97-180	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{13}\text{C loess}$	$\text{C}_3:\text{C}_4$	$\text{C}_3:\text{C}_4\text{ loess}$
$\delta^{13}\text{C}$		0,18144	0.38382	0.092681
$\delta^{13}\text{C loess}$	0.93914		0.22503	0.044274
$\text{C}_3:\text{C}_4$	-0.29187	-0.39829		0.20343
$\text{C}_3:\text{C}_4\text{ loess}$	-0.53119	-0.61446	0.41579	

Teniendo en cuenta que el ciclo del carbono en lagos y lagunas es complejo y que la señal isotópica $\delta^{13}\text{C}$ de la materia orgánica responde a múltiples factores que van más allá de la composición de la vegetación de la cuenca, el ajuste observado en las tendencias generales de ambos indicadores es por demás significativo. Si bien la variabilidad observada dentro y entre sistemas no permite establecer estimaciones cuantitativas que relacionen ambos indicadores a un nivel más general, los resultados obtenidos refuerzan el carácter robusto de la relación $\text{C}_3:\text{C}_4$ (estimada a partir de las células cortas silicificadas de gramíneas) como indicador de los cambios climáticos y ambientales.

II.4.4 Conclusiones

A partir de los análisis efectuados fue posible calibrar e intercalibrar la señal climática de los silicofitolitos de gramíneas, a fines de poder establecer estimaciones cuantitativas de los principales cambios acaecidos durante el Holoceno tardío en la región.

No obstante, la información existente no permite aún el desarrollo de ecuaciones de transferencia o de modelos de calibración más robustos. En primer lugar, las muestras actuales de referencia que integraron el *training set* son escasas y abarcan un gradiente climático y ambiental muy acotado. Cuanto más numerosos sean los referentes actuales, más ajustados a las variables climáticas de interés y más amplio el rango de las mismas, mayor confiabilidad tendrán los modelos de calibración generados. Aun así, los resultados obtenidos constituyen un primer paso en esa dirección, permitiendo una aproximación cuantitativa a la reconstrucción de los cambios climáticos holocenos.

Pero más importante aún, estos ejercicios de calibración pusieron en evidencia la consistencia y confiabilidad del índice $C_3:C_4$ como indicador de cambios de temperatura y precipitación para la región. Teniendo en cuenta que dicho índice no se halla acotado a rangos específicos definidos a partir de referentes actuales, la buena correspondencia observada con los valores reconstruidos de TMA y PEstH contribuye a evaluar positivamente el ajuste de ambos modelos de calibración. Al mismo tiempo, refuerzan el potencial del índice $C_3:C_4$ como indicador potente que sintetiza en un único valor cambios en temperatura y precipitación.

Este potencial quedó asimismo reforzado por los datos obtenidos del análisis isotópico. La señal $\delta^{13}C$ de la materia orgánica de los sistemas estudiados, mostró tendencias similares a las observadas en el índice $C_3:C_4$. El ajuste entre ambos indicadores se incrementó durante aquellos periodos caracterizados por mayores aportes desde las cuencas y menores estados tróficos de los sistemas, identificables a partir del análisis integrado de datos geoquímicos y biosilíceos.

El conjunto de la información generada permite modelar los siguientes escenarios climáticos y ambientales principales para los últimos 2500 años:

- 500 AC – 150 AD: condiciones climáticas similares a las actuales, con cierta variabilidad y menor TMA a comienzos de la era. El modelo calibrado de TMA indica valores menores ($\sim 15^\circ C$) entre el 200 y el 0 AC, mientras el índice $C_3:C_4$ señala una menor disminución. El $\delta^{13}C$ es consistente al señalar valores más negativos para estas cronologías en LP y LBI.
- 200-750 AD: disminución de la TMA ($\sim 15^\circ C$) y la PEstH (~ 275 mm) por debajo de los valores actuales de referencia, expresada por todos los modelos calibrados y los indicadores considerados.

- 800-1150 AD: máximos valores de TMA ($\sim 18^{\circ}\text{C}$) y PEstH ($\sim 350\text{ mm}$), con una leve reversión en el interior del periodo, denotado por el conjunto de indicadores considerados. Por su cronología y características generales, este periodo puede ser asignable al Periodo Cálido Medieval.
- 1200-2000 AD: periodo de alta variabilidad, marcado por tres eventos más fríos y secos separados por periodos cálidos y húmedos. Los picos de los eventos fríos se habrían registrado hacia el 1250, 1750 y 1850 AD, siendo el segundo el que habría generado condiciones más extremas (TMA= 14°C y PEstH= 250mm). Por las características y la cronología, este periodo es asignable a la Pequeña Edad de Hielo.

El modelo inferido muestra una buena correspondencia con reconstrucciones paleoambientales semi-cuantitativas efectuadas para la región central de Argentina (Piovano et al.2009), así como con información histórica existente para los últimos cuatro siglos en la Provincia de Buenos Aires (ej. Deschamps et al. 2003; Politis 1984).

Más allá de los resultados obtenidos en relación a estimaciones cuantitativas, se destacan los beneficios del abordaje *multiproxy* para la generación de reconstrucciones paleoalimáticas y paleoambientales de mayor resolución. El análisis conjunto e integrado de los distintos indicadores biosilíceos y geoquímicos considerados, permitió reconstruir la génesis y diagénesis de los depósitos, evaluar el potencial de cada registro y seleccionar los indicadores de mayor resolución para reconstruir las variables de interés.

II.5 Conclusiones del Capítulo: Reconstrucción Paleoclimática para el Holoceno tardío en el este de Uruguay

Una vez confirmado el potencial de los silicofitolitos como indicadores paleobotánicos con sensibilidad taxonómica, funcional y climática-ambiental (Apartado II.2), la aplicación de su análisis a nuevos registros paleolimnológicos (Apartado II.3) y los esfuerzos de calibración e intercalibración de la señal climática (Apartado II.4) permitieron aumentar la resolución de los modelos paleoclimáticos-paleoambientales para el Holoceno tardío en la región.

A partir de la integración de la información aportada por los indicadores biosilíceos y geoquímicos, se infirieron los principales cambios en temperatura y precipitación acaecidos durante los últimos 2500 años. Estos se caracterizaron por la alternancia de periodos templados a cálidos y húmedos con pulsos templados a fríos y sub-húmedos de menor duración (Figura II.36), pudiéndose identificar los siguientes periodos climáticos principales:

500 AC – 500 AD

Aunque los datos disponibles para este periodo son comparativamente más escasos que para los 1500 años subsiguientes, los mismos muestran un comportamiento relativamente estable. Los valores reconstruidos sugieren la instalación de condiciones subtropicales (templadas a cálidas y húmedas sin estacionalidad marcada en las precipitaciones). Hacia el 100 AC se registra un leve descenso en temperatura y precipitación, que no se extiende más allá de comienzos de la era.

550-750 AD

A partir de ~500 AD comienza a disminuir la temperatura media anual junto con la precipitación durante la estación húmeda, alcanzando el mínimo hacia el 1650 AD. Este evento se corresponde con uno de los mínimos de actividad solar más intensos registrados para el Holoceno tardío (ej. Shapiro et al. 2011; Steinhilber y Beer 2011). De acuerdo a las variables climáticas reconstruidas, en el área de estudio este mínimo habría registrado una TMA próxima a los 15°C y ~275 mm de precipitación durante la estación húmeda.

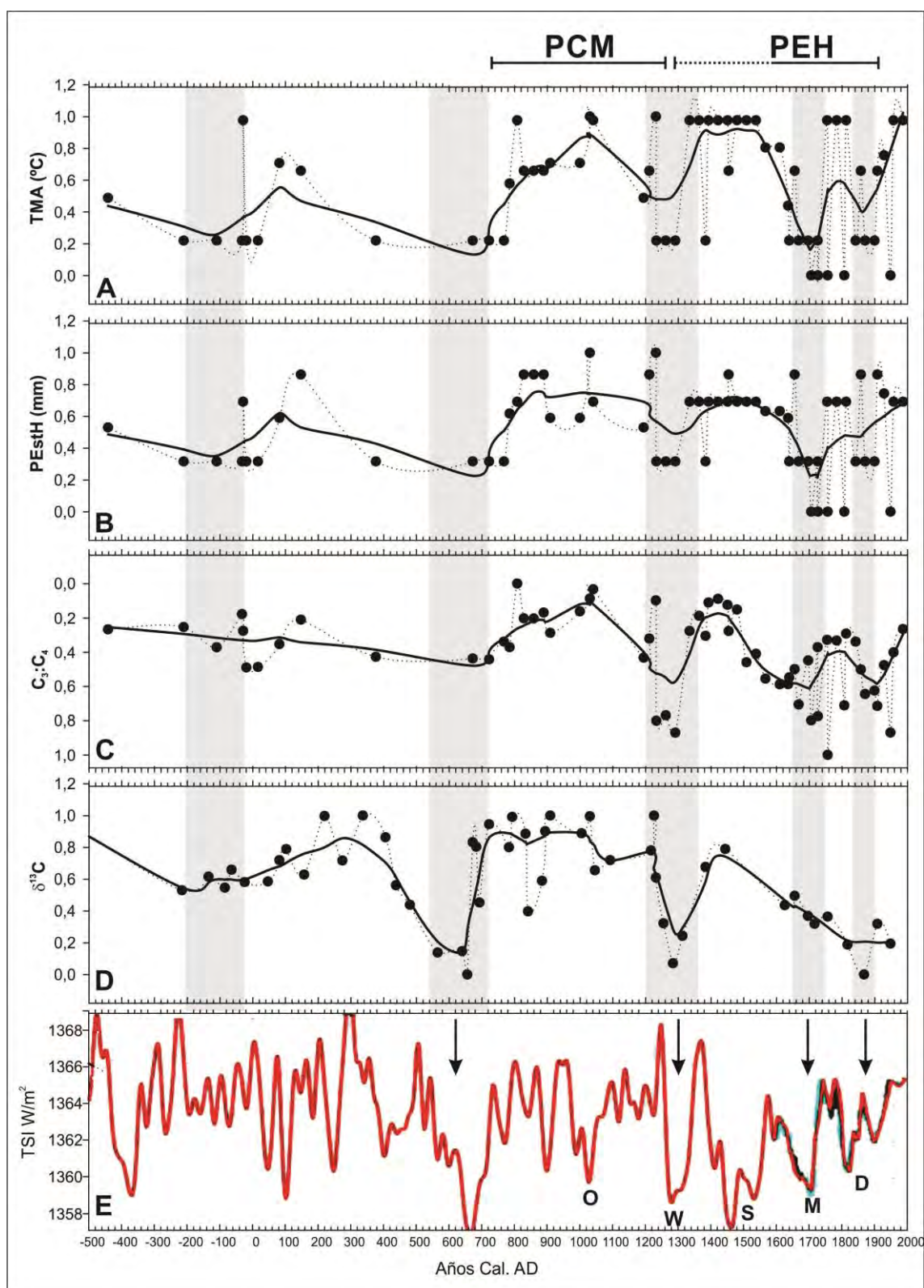


Figura II.36. Variación temporal de los valores normalizados de las variables bioclimáticas reconstruidas (A y B), del índice $C_3:C_4$ (C) y de la señal isotópica $\delta^{13}C$ (D) para los últimos 2500 años, en comparación con las oscilaciones de irradiación solar (E) para el mismo periodo en el hemisferio norte (Shapiro et al. 2011). Las líneas sólidas de los gráficos A-D representan las tendencias (LOESS smoother; span=0.25, order=1) de los valores estimados y las bandas grises identifican los principales pulsos de descenso de temperatura y precipitación identificados. Las flechas en el gráfico E señalan los pulsos negativos claramente coincidentes con mínimos de actividad solar y las letras identifican los principales mínimos para el último milenio en el hemisferio norte: Oort, Wolf, Spörer, Maunder y Dalton.

800-1300 AD

Este periodo se caracterizó por valores positivos de temperatura y precipitación, que alcanzaron máximos de 18°C de TMA y 325 mm de PEstH hacia 1000 AD. Por su cronología, puede proponerse su asignación al Periodo Cálido Medieval – también conocido como Pequeño Óptimo Climático o Mejoramiento Climático Post-Carolingeo – definido para el hemisferio norte con una cronología entre ~ 850 y 1300 AD (Fairbridge 2009; Mann 2002a). En base a indicadores isotópicos y CO₂ de testigos de hielo de Groenlandia, así como de niveles de ¹⁴C en anillos de crecimiento de árboles, se ha estimado un calentamiento de entre 1 y 2°C promedio para el Hemisferio norte durante este periodo (Fairbridge 2009). Al mismo tiempo, dichos indicadores junto a estudios astrocronológicos, han indicado la existencia de pulsos fríos al interior del periodo, vinculados a la reducción de la emisión solar y a un bajo número de manchas solares (Shapiro et al. 2011; Steinhilber y Beer 2011; Usoskin 2008). El primer pulso habría tenido lugar hacia el 1034 AD, correspondiendo al mínimo solar conocido como Oort (Figura II.36). Si bien este pulso no está especialmente marcado en el registro del este de Uruguay, una inflexión en las curvas de tendencia de los indicadores biosilíceos y geoquímicos se observa para ese momento (Figura II.36). El segundo pico se ubicaría hacia el 1300 AD (Fairbridge 2009) y corresponde al mínimo de actividad solar conocido como Wolf (Figura II.23). Según las variables climáticas reconstruidas, en la región de estudio habría tenido características similares a las inferidas para el 1650 AD: TMA ~15°C y PEstH ~ 275mm. Este pulso negativo marcaría la finalización del PCM (Fairbridge 2009; Mann 2002) y algunos autores lo consideran como el inicio de la Pequeña Edad de Hielo (ej. Fagan 2001).

1350-1600 AD

Este periodo comenzó con un ascenso de la temperatura y la precipitación que, de acuerdo a los indicadores biosilíceos, habría alcanzado y superado los valores actuales de referencia (Figura II.21). Los indicadores geoquímicos también evidencian un aumento de temperatura, aunque sin llegar a los máximos alcanzados durante el PCM (Figura II.36). Al interior del periodo se observó una inflexión en la línea de tendencia, con una caída de los valores de TMA hacia el 1450 AD. Esta inflexión coincide cronológicamente con el mínimo de actividad solar conocido como Spörer (Figura II.36), aunque no se manifiesta con la misma intensidad que otros mínimos registrados, como aquellos que marcan el inicio y el final del periodo. Hacia el 1600 AD comienza un nuevo pulso de descenso de temperatura y precipitación que da inicio al siguiente periodo y que formalmente se considera el comienzo de la Pequeña Edad de Hielo.

1650-1900 AD

A partir del 1600 AD se registró nuevamente una caída en los valores de temperatura y precipitación, que a lo largo de los 300 años siguientes evidenciaron una gran variabilidad con presencia de pulsos positivos y negativos. El primer pulso negativo fue el de mayor intensidad y alcanzó su máximo hacia el 1700 AD. Cronológicamente corresponde al mínimo solar conocido como Maunder, que se extendió entre 1645 y 175, siendo el de mayor intensidad de los referidos para el último milenio (Mann 2009; Shindell 2009). Las variables bioclimáticas reconstruidas indicaron valores de TMA próximos a los 14°C y mínimos de PEstH de 235 mm para la región de estudio en ese momento (Figura II.31). Por sus características y cronología, este pulso se corresponde con el inicio de la Pequeña Edad de Hielo según su definición convencional (Mann 2002b; Shindell 2009), aunque algunos autores lo retrotraen al 1300 AD (Fagan 2001). De acuerdo a la misma, la PEH (LIA por su sigla en inglés) se habría extendido en Europa entre los siglos XVII y XIX y se caracterizó por temperaturas inusualmente bajas (con avances glaciares y congelamiento de ríos) que alcanzaron especialmente las zonas adyacentes al Atlántico Norte (Shindell 2009). Su extensión llevó a que se considerara un evento de enfriamiento global, aunque las evidencias científicas modernas indican que no existe homogeneidad en los tiempos e intensidad de dicho enfriamiento en las distintas partes del globo (Shindell 2009; Fagan 2001). De ello se deriva que existan diferencias en las cronologías propuestas para el inicio y finalización de este periodo en distintas regiones. Si bien se estima que la temperatura habría descendido entre 1 y 1,5°C en Europa y Norteamérica (Shindell 2009), los efectos más significativos de la PEH parecen haber estado relacionados a una mayor variabilidad del clima durante ese periodo, más que a cambios constantes y prolongados en los parámetros climáticos. Los extremos climáticos más dramáticos se vinculan a cambios anuales o incluso estacionales en la temperatura (Mann 2002b; Jones et al. 1998; Lean et al. 1995). Dicha variabilidad es evidente en el registro biosilíceo de los sistemas estudiados (Figuras II.31 y II.36), observando la dispersión de los valores calculados en relación a las líneas de tendencia modeladas. Las tendencias marcan igualmente un segundo pulso negativo de menor duración e intensidad entre comienzos y mediados del siglo XIX, coincidente con el mínimo solar Dalton (Figura II.36), cuya finalización estaría marcando la culminación del periodo.

1900-2000

El periodo más reciente se caracterizó por el incremento en los valores de temperatura y precipitación, coincidente con los registros climáticos instrumentales a nivel regional (Bidegain et al. 2012) y global (IPCC 2013). No obstante, el impacto antrópico moderno sobre los sistemas estudiados hace que los datos generados sean menos confiables para este periodo. Los indicadores geoquímicos, por ejemplo,

mostraron una tendencia discordante, explicable parcialmente en función de los cambios en la cobertura vegetal de las cuencas de drenaje a causa de la forestación (Laguna Blanca y Laguna de Peña). Por otra parte, la modificación en la estructura y composición de los pastizales naturales por causa del ganado doméstico, puede haber intensificado las tendencias observadas (ver Apartado II.2).

La alta correspondencia de los cambios climáticos reconstruidos con eventos y periodos climáticos definidos a nivel global, refuerza el carácter robusto de los indicadores utilizados y la confiabilidad de los modelos generados. En particular, la coincidencia en cronología y tendencia de los pulsos negativos de temperatura y precipitación con periodos registrados de mínima actividad solar, constituye una fuente independiente de contrastación de los resultados obtenidos.

Los datos presentados también refuerzan los antecedentes regionales existentes, llenando vacíos de información y aportando estimaciones cuantitativas a partir de indicadores múltiples. Cómo repercutieron los cambios reconstruidos sobre las poblaciones humanas que ocuparon la región y qué impacto tuvieron los ajustes socioeconómicos sobre los sistemas ambientales estudiados, constituyen los tópicos principales del siguiente capítulo.

III. Paleo-etnobotánica y Subsistencia

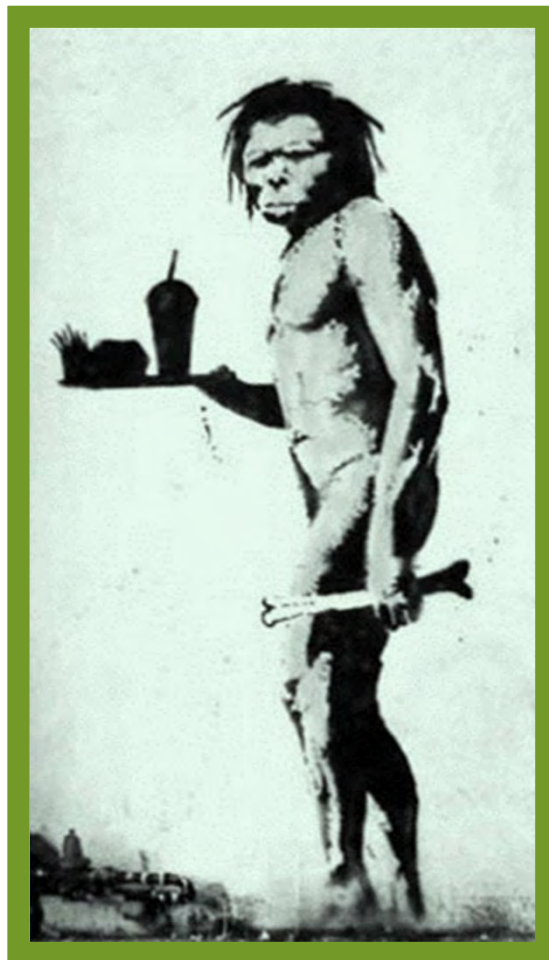
III.1 Introducción General

III.2 Nuevos aportes para la identificación de fitolitos de *Zea mays* L. en contextos arqueológicos de la región de pastizales subtropicales sudamericanos.

III.3 Paleo-etnobotánica y subsistencia de los constructores de cerritos del Holoceno tardío en el este del Uruguay: análisis fitolítico en sedimentos y artefactos de estructuras monticulares.

III.4 Isótopos estables y paleodieta: ponderando el consumo de maíz durante el Holoceno tardío en el este de Uruguay

III.5 Conclusiones Generales del Capítulo



III.1 Introducción General

La paleoetnobotánica – el estudio de la interrelación de los seres humanos con las plantas a través del registro arqueológico (Pearsall y Hastorf 2011) – aporta información relevante para comprender las estrategias y prácticas desarrolladas por las poblaciones pasadas al hacer frente a sus necesidades de subsistencia y otros requerimientos sociales y culturales. A su vez, estas estrategias ilustran las formas de interactuar con el ambiente (físico, biológico y socio-cultural) y reflejan, en última instancia, las concepciones y visiones que las culturas pasadas mantuvieron del mismo. Constituye, por ende, una herramienta conceptual y metodológica para el abordaje de la interrelación humano-ambiental.

Las poblaciones humanas han interactuado con el reino vegetal de múltiples formas, muchas de las cuales han dejado trazas en el registro arqueológico. En el Capítulo I (Apartado I.2) se han expuesto diversos ejemplos de estos modos de interacción registrados para las tierras bajas sudamericanas, cuyas consecuencias frecuentemente se extienden hasta nuestros días. Las plantas han sido recogidas, favorecidas, producidas, domesticadas y transportadas en el paisaje, contribuyendo en el proceso a la creación de identidad cultural a través de prácticas particulares de producción, manipulación, elaboración de comidas y bebidas, festividades y rituales. Las formas de estas interacciones son múltiples y complejas, reflejando la diversidad cultural y biológica del subcontinente. Un ejemplo claro para ilustrar el amplio rango de intereses selectivos está dado por los distintos tiempos y procesos de dispersión e incorporación del maíz, así como en las formas de producción, procesamiento y consumo por parte de diversas culturas prehistóricas e históricas (ej. Pearsall y Hastorf 2011).

Las investigaciones paleoetnobotánicas desarrolladas en el este del Uruguay han puesto en evidencia que las poblaciones prehistóricas que ocuparon la región desde el Holoceno medio, mantuvieron una estrecha y dinámica interacción con el mundo vegetal. A pesar de las limitaciones inherentes a la escasa preservación de restos orgánicos en el registro arqueológico, distintas líneas de evidencia – como análisis fitolíticos y de gránulos de almidón, estudios antracológicos y carpológicos – han contribuido a la identificación de diversos recursos silvestres y cultivados, así como a la reconstrucción de prácticas de adquisición, procesamiento y consumo (ej. López Mazz et al. 2014; del Puerto e Inda 2008; Inda y del Puerto 2007; Iriarte et al. 2004; Campos et al. 2001). En la Tabla III.1 se presenta un listado de los principales recursos vegetales identificados en el registro arqueológico, los indicadores utilizados y la cronología más temprana asignada para cada tipo de registro.

Tabla III.1 Listado de recursos vegetales identificados en contextos arqueológicos del este de Uruguay, con detalle de los restos recuperados, la cronología asignada y la fuente de referencia.

Familia	Especie	Indicadores y cronología aproximada (años ¹⁴ C AP) del contexto de recuperación				Fuentes
		madera/ carbón	semillas	silicofitolitos	almidones	
Anacardiaceae	Sp.indet	4100				Inda y del Puerto 2007
Aquifoliaceae	<i>Ilex paraguariensis</i> A. St.-Hil.	300				Capdeponet et al. 2004
Arecaceae	<i>Butia odorata</i> (Barb. Rodr.) Noblick		8000	4600		López Mazz et al. 2004; del Puerto e Inda 2008
	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman			3660		Campos et al. 2001
Berberidaceae	Sp.indet	3750				Inda y del Puerto 2007
Bromeliaceae	<i>Bromelia</i> sp.			1260		Capdeponet et al. 2005
Cannabaceae	<i>Celtis</i> sp.	3700		1260		Inda y del Puerto 2007; Capdeponet et al. 2005
Cannaceae	<i>Canna</i> sp.			3660	3660	Campos et al. 2001; Iriarte et al. 2001
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita</i> spp.		2860	4600		López Mazz 2000; del Puerto e Inda 2008
Cyperaceae	<i>Cyperus</i> sp.			4600		del Puerto e Inda 2008
	<i>Scirpus</i> sp.			4600		del Puerto e Inda 2008
Euphorbiaceae	Sp.indet	3700				Inda y del Puerto 2007
Fabaceae	Sp.indet	3600				Inda y del Puerto 2007
Fabaceae	<i>Phaseolus</i> sp.				3050	Iriarte et al. 2001
Lauraceae	Sp.indet	3600				Inda y del Puerto 2007
Maranthaceae	<i>Calathea</i> sp.				3051	Iriarte et al. 2001
Myrtaceae	Sp.indet	3880				Inda y del Puerto 2007
Phytolacaceae	<i>Phytolacca dioica</i> L.	3800				Inda y del Puerto 2007
Poaceae	<i>Zea mays</i> L.			3460	3660	Iriarte et al. 2001, 2004
Rhamnaceae	Sp.indet	3900				Inda y del Puerto 2007
Rosaceae	Sp.indet	3800				Inda y del Puerto 2007
Salicaceae	Sp.indet	3700				Inda y del Puerto 2007
Santalaceae	Sp.indet	4100				Inda y del Puerto 2007
Sapindaceae	Sp.indet	3800				Inda y del Puerto 2007
Sapotaceae	Sp.indet	3600				Inda y del Puerto 2007
Solanaceae	Sp.indet	3880				Inda y del Puerto 2007
	<i>Datura ferox</i> L.		2700			López Mazz et al. 2014
Thyphaceae	<i>Thypha</i> sp.			1200	1200	Capdeponet et al. 2005; López Mazz et al. 2014

La importancia de recursos silvestres como las palmeras, achiras y juncos, fue tempranamente reconocida en los estudios de subsistencia (por ejemplo, Olivero y Campos 2001; del Puerto y Campos 1999; López Mazz y Bracco 1992) a partir de su registro recurrente en contextos de diversas cronologías (Tabla III.1). A pesar de que existen amplias referencias sobre prácticas indígenas de manejo (trasplante, dispersión, favorecimiento) de estos recursos (ej. Balée 1987, 1986; Arenas 1983) su existencia en la prehistoria regional aún no ha podido ser establecida,

debido a que forman parte de un manejo del medio de baja intensidad que no deja evidencias fácilmente distinguibles.

Junto a la recolección de plantas silvestres, el registro arqueobotánico evidenció la temprana incorporación de recursos cultivados – y en algunos casos domesticados – como el maíz, las cucúrbitas y los porotos, entre otros (Tabla III.1). Las prácticas productivas involucradas en el cultivo de estos recursos pueden implicar – dependiendo de su escala – intervenciones más intensivas sobre el medio, que muchas veces son consideradas como el punto de partida para el desarrollo de sociedades sedentarias y socialmente complejas (ej., Oliver 2008; Piperno y Pearsall 1998). No obstante, en las últimas décadas esta visión neo-evolucionista ha sido cuestionada a partir de múltiples evidencias que demuestran que no existe un proceso unilineal e irreversible en la interrelación humano-vegetal (Gosden 1999; Politis 1999). Casos documentados de “*regresión agrícola*” – abandono de prácticas agrícolas por estrategias de caza-recolección – ya no son interpretados como una *involución cultural*, sino como innovaciones adaptativas en respuesta a cambios en las condiciones preexistentes (ej. Cormier 2006). Las prácticas productivas trascienden y anteceden ampliamente a la domesticación vegetal, al tiempo que los procesos de incorporación de especies domesticadas y el rol que las mismas desempeñaron en las economías indígenas, variaron de acuerdo a contextos históricos, ecológicos, sociales y culturales particulares (Hastorf 2006, 1999).

En este sentido, la consistencia del registro, la antigüedad de las prácticas de cultivo y – más importante aún – su rol en la economía y subsistencia de las poblaciones prehistóricas de las tierras bajas del este del Uruguay, han constituido y constituyen tema de debate. Algunos investigadores abogan por una introducción e incorporación temprana del cultivo con fuerte incidencia en la subsistencia y base del desarrollo de jerarquías y complejidad social (ej., Iriarte 2006a y b, 2007; Iriarte et al. 2004). Otros, entretanto, propugnan un rol secundario y variable en la dieta como parte de una subsistencia y economía dúctiles (ej., Bracco et al. 2015; del Puerto e Inda 2008;). Esta última visión se ve apoyada por evidencias más directas de paleodieta, como los estudios dentarios y análisis de oligoelementos e isótopos estables en huesos humanos (Bracco et al. 2000; Sans 1999), que no han encontrado evidencias de una dieta particularmente rica en carbohidratos (asociada a caries, por ejemplo) ni un importante consumo de maíz (ej. registro isotópico).

Dando continuidad y profundizando en algunos aspectos del debate planteado, este capítulo se propone abordar el estudio paleoetnobotánico y de paleodieta de los constructores de túmulos durante el Holoceno tardío. Si bien el debate se remonta hasta el registro del Holoceno medio,

gran parte de las evidencias que pueden dar luz sobre el tema tienen su mayor expresión durante los últimos 2500 años (ej. inhumaciones). Finalmente, el objetivo final no es discutir la antigüedad de las prácticas de producción de alimentos, sino caracterizar la interrelación humano-ambiental durante el Holoceno tardío en la región. Para ello, la estrategia propuesta se basa nuevamente en un enfoque a tres niveles transversales, tal como fue planteado en el Capítulo II:

- Estudios comparativos de fitolitos en gramíneas actuales, tendientes a consolidar los criterios para la identificación de *Zea mays* en el registro arqueológico y paleoetnobotánico general.
- Aplicación de análisis fitolíticos a registros arqueológicos de alta resolución para el Holoceno tardío, involucrando muestreos densos de sedimentos y adherencias en cara interna de recipientes cerámicos y superficies activas de instrumentos líticos.
- Caracterización de paleodieta mediante análisis isotópicos ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) sobre restos óseos de inhumaciones recuperadas en los mismos contextos arqueológicos.

III.2 Nuevos aportes para la identificación de fitolitos de *Zea mays* L. en contextos arqueológicos de la región de pastizales subtropicales sudamericanos¹

III.2.1 Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) ha jugado un rol protagónico en la subsistencia pre y protohistórica en varias partes de América, con gran incidencia en múltiples aspectos de la cultura (dieta, tecnología productiva, ceremonial, intercambio) y en su interrelación dinámica con el medio ambiente (domesticación de plantas y ambientes, desarrollo de agroecosistemas). Su identificación en contextos prehistóricos resulta fundamental para contribuir a dilucidar aspectos generales como la antigüedad y biogeografía de su cultivo (centros de domesticación y vías de dispersión), así como aspectos particulares relativos a la historia de las culturas generadoras de cada registro. En este sentido, el desarrollo de nuevas técnicas y aproximaciones metodológicas como la datación radiocarbónica por AMS, los estudios de microsatélites de ADN y los análisis isotópicos sobre restos humanos, aportan información cada vez más detallada sobre la antigüedad, evolución e importancia cultural del maíz a través del continente americano (Benz y Staller 2006; Staller 2006a).

No obstante, aún subsisten importantes áreas geográficas para las que se cuenta con poca o ninguna información sobre el tema. Con frecuencia se trata de zonas con muy mala preservación de macro restos vegetales y de restos orgánicos en general. En estos contextos el análisis de silicofitolitos se ha convertido en una herramienta alternativa o complementaria, haciendo posible abordar aspectos como la antigüedad de introducción del maíz en regiones tropicales y subtropicales de Sudamérica. Gracias a su composición silícea, los silicofitolitos cuentan con un gran potencial de preservación en condiciones de humedad y acidez que, aunado a una cuantiosa producción dentro de las gramíneas y a la posibilidad de diferenciar asociaciones taxonómicamente discretas, les confiere grandes cualidades como indicadores paleoetnobotánicos en condiciones desfavorables para la recuperación de otras evidencias (ej. Piperno y Pearsall 1998; Pearsall 1993, 1978; Piperno 1988, 1985).

¹ Trabajo presentado en el *Taller Micro Paleoetnobotánica: Relevancia de una Red Interdisciplinaria de Investigaciones en Fitólitos y Almidones*, La Paloma-Rocha, 8 al 12 de diciembre de 2014: del Puerto, L., H. Inda y C. Fagúndez. Nuevos aportes para la identificación de fitolitos de *Zea mays* L. en contextos arqueológicos de la región de pastizales subtropicales sudamericanos.

Hoy día existe una amplia literatura sobre análisis fitolíticos aplicados al estudio del origen y dispersión del maíz, siendo un tema en constante desarrollo y motivo de numerosos debates. Las principales discrepancias se han originado a partir de las nuevas cronologías asignadas en base a la evidencia fitolítica. Gran parte de estos trabajos sugiere una cronología mucho más temprana para la domesticación y dispersión del maíz en relación a los datos aportados por otras líneas de evidencia, como los macro restos (Benz 2006; Benz y Staller 2006). Los fitolitos de *Zea* más antiguos datados por asociación, provienen de contextos arqueológicos de Ecuador y Panamá, indicando una temprana introducción del maíz en Centroamérica y sudoeste de Sudamérica entre el 8000 y 6000 a ^{14}C AP (Benz 2006; Staller 2003). Estos registros anteceden por varios cientos de años a los restos de maíz más antiguos procedentes del Valle Tehuacán-Oaxaca en México (Blake 2006; Benz y Staller 2006), datados directamente por AMS en 5400 años ^{14}C AP y calibrados a 4300 a.cal AP. (Piperno y Flannery 2001). Teniendo en cuenta que la evidencia genética ha demostrado la existencia de un único evento de domesticación del maíz en las tierras altas del río Balsas al oeste de México (Jaenicke-Després y Smith 2006; Benz et al. 2006), parece poco razonable que el maíz domesticado aparezca en Sudamérica antes que en la zona donde fue domesticado (Staller 2003). Junto a estas diferencias cronológicas, también está en debate el rol del maíz dentro de la economía y subsistencia en las poblaciones prehistóricas sudamericanas. Quienes sostienen el ingreso temprano del maíz a Sudamérica, le otorgan una inmediata importancia en la economía, así como un papel protagónico en el desarrollo sociocultural de las sociedades formativas tempranas (Pearsall 1993, 1978, Piperno 1988, 1985). Sin embargo, los análisis de paleodieta mediante isótopos estables indican que en varias zonas de Sudamérica la integración del maíz fue gradual y que se desarrolló plenamente en forma tardía, durante el tramo final del período formativo (ej. Gil et al. 2010, 2006; Falabella et al. 2008; Tykot et al. 2006, Staller y Thompson 2002). Al mismo tiempo, cada vez más investigaciones están evidenciando que en sus primeras etapas el maíz tuvo un uso fundamentalmente ceremonial, vinculado a la elaboración de bebidas fermentadas (chicha) consumidas en festividades, rituales y ceremonias religiosas (Bonzani y Oyuela-Caycedo 2006; Staller 2003; Staller y Thompson 2002, entre otros).

Estas discrepancias han llevado a cuestionamientos sobre la identificación de fitolitos de maíz en tres líneas principales: 1) el contexto de descubrimiento; 2) la perturbación contextual y los fechados por asociación; 3) la propia metodología de identificación de fitolitos de maíz.

Los dos primeros puntos de controversia (asociación contextual y tafonomía) son particulares a cada contexto arqueológico. Para superar estas limitaciones, se ha señalado la conveniencia de los análisis de fitolitos en contextos “cerrados” o más controlados, como adherencias en cara interna de recipientes cerámicos (Staller 2003; Staller y Thompson 2002). No obstante, esto limita

el campo de análisis y excluye a los contextos pre o acerámicos. Por su parte, el debate en torno a las tipologías y criterios para la identificación de maíz a partir de fitolitos trasciende los contextos y continúa generando desafíos. Si bien la mayor parte de las dificultades radica en las posibilidades de diferenciar el maíz de sus ancestros silvestres y especies altamente emparentadas, también se han reportado inconsistencias de varias tipologías a la hora de distinguir fitolitos de maíz de otras gramíneas silvestres en contextos de asociaciones múltiples, como los propios sedimentos de sitios arqueológicos (Shillito 2013).

En este marco, el presente trabajo se centra en los aspectos metodológicos de identificación, pretendiendo contribuir a la discusión regional mediante el aporte de nuevos criterios para la caracterización de fitolitos asignables a maíz en contextos arqueológicos de la región de pastizales del Río de la Plata. Se parte de la premisa que las bases comparativas regionales constituyen una herramienta fundamental para establecer criterios y procedimientos de identificación a partir de la flora local. Los mismos no tendrán validez universal, pero serán metodológicamente más robustos y fiables para aplicar dentro del área geográfica de referencia. En esta contribución se presentarán los resultados obtenidos a partir del análisis de fitolitos en hojas de gramíneas nativas, naturalizadas y cultivadas de la región. En forma complementaria, los criterios taxonómicos identificados del análisis comparativo fueron testeados mediante el análisis fitolítico en suelos de parcelas bajo exclusión de ganadería doméstica. Finalmente, los criterios definidos fueron aplicados en el análisis fitolíticos de muestras paleolimnológicas de Laguna Negra, a fines de contrastar propuestas previas sobre prácticas prehistóricas de cultivo de maíz en las planicies lacustres durante el Holoceno tardío.

III.2.2 Antecedentes

Propuestas tipológicas y criterios metodológicos

Las primeras propuestas para identificación de fitolitos de maíz se basaron en la tipología de las células cortas en forma de cruz (*cross shaped*) producidas en el tejido epidérmico de hojas y tallos (Piperno 1988). Este morfotipo se produce en grandes cantidades en el género *Zea*, registrándose en menores proporciones en otras gramíneas de las subfamilias Panicoideae y Bambusoideae (Piperno 1988). Distintas combinaciones de atributos de este morfotipo han sido propuestos como caracteres diagnósticos de *Zea mays*, siendo todos ellos sujetos de debate: forma, tamaño, abundancia relativa, estructura tridimensional.

Entre las principales contribuciones hacia una tipología de fitolitos de maíz se encuentran las aportadas por Pearsall y Piperno (Pearsall 1993, 1978; Piperno 1988, 1985). Estas autoras definen una cruz como un cuerpo central con tres o cuatro lóbulos adheridos, cuyo largo total puede ser hasta $9,16\text{ }\mu\text{m}$ mayor que el ancho (Pearsall 1978). El primer esquema de clasificación se basó en una tipología de tamaños, centrándose en las cruces grandes (ancho $> 16,03\text{ }\mu\text{m}$) y extra grandes (ancho $> 20,03\text{ }\mu\text{m}$), mucho más frecuentes en el maíz que en gramíneas silvestres (Pearsall 1978). El hallazgo posterior de cruces grandes producidas en gramíneas silvestres (Piperno 1988) impulsó la inclusión de otras características en el esquema clasificatorio. De esta forma, para la identificación de maíz las autoras proponen una tipología de 8 subtipos de cruces en base a su morfología tridimensional (Piperno 2009, 1984). A partir de la abundancia relativa y el ancho medio de tres de esas variantes (1, 2 y 5/6) proponen una función discriminante para diferenciar el maíz de gramíneas silvestres. Este método ha sido aplicado para la identificación de maíz en numerosos sitios arqueológicos de Sudamérica, en muchos casos aportando los primeros registros y/o las cronologías más tempranas de este cultivo en sitios de Ecuador (Pearsall 2002, 1999; Pearsall y Piperno 1990), Panamá (Piperno 2009, 1988, 1985; Piperno y Pearsall 1998) y Uruguay (Iriarte 2003, Iriarte et al. 2004).

No obstante, algunos estudios desarrollados al interior de la comunidad de investigaciones fitolíticas, han referido la imposibilidad de replicar el método Pearsall-Piperno (Doolittle y Frederick 1991, Mulholland 1990, entre otros). Las objeciones al método parten de la definición misma de la forma y se extienden a los aspectos tridimensionales y estadísticos. El primer aspecto refiere a la inconsistencia en la definición misma del tipo “cruz” y a su distinción con el tipo “bilobado” (Rovner 1995, Mulholland 1990). Para definir una cruz, Pearsall (1978) utiliza una diferencia constante de 9 micras (o menor) entre el ancho y el largo, independientemente de su tamaño absoluto. Según este criterio, dependiendo del tamaño de los fitolitos, la misma forma puede ser clasificada en diferentes tipos y viceversa. Como alternativa, otros autores han propuesto una definición del tipo cruz en la que el largo y ancho son aproximadamente equivalentes (Mulholland y Rapp 1992) y la forma general se aproxima a una simetría cuadrilateral (Russ y Rovner 1989), aplicando como criterio una diferencia no mayor al 10% entre el largo y el ancho, independiente del tamaño del fitolito (Mulholland 1990).

La tipología de 8 subtipos o variantes del tipo cruz también ha sido objeto de duras críticas. Rovner (1995) argumenta la inexistencia de relación taxonómica con las variantes y las asimila a artefactos producto de la rotación de las partículas y errores de observación. Por otra parte, los intentos de replicación han determinado que el error de observación e identificación de las

variantes aumenta notoriamente cuando los fitolitos son montados en un medio viscoso (Staller 2003; Rovner 1995).

Finalmente, otras críticas al método Pearsall-Piperno devienen del uso de abundancias relativas y análisis discriminantes basados en asociaciones de fitolitos de taxones individuales de un número conocido de partes de plantas. Teniendo en cuenta los fenómenos de multiplicidad (múltiples formas producidas en una misma especie) y redundancia (misma forma producida en diferentes especies), estos criterios pueden ser útiles para diferenciar asociaciones puras, pero difícilmente son aplicables cuando se analizan asociaciones de múltiples taxones, como ocurre comúnmente en contextos arqueológicos (Rovner 2004). En el caso de muestras arqueológicas, se desconoce el número de plantas individuales o taxones que han aportado a la asociación recuperada, los órganos y estadios de crecimiento de dichas plantas ni de qué forma se depositaron esos fitolitos en el suelo (Shillito 2013).

Más allá de estas objeciones, el método Pearsall-Piperno continúa siendo el más ampliamente empleado para la identificación de fitolitos de hoja de maíz en contextos arqueológicos, no existiendo de momento propuestas de alternativas metodológicas de amplio consenso.

Aplicaciones regionales

La aplicación del análisis fitolítico para la identificación de maíz en sitios arqueológicos de la región de los pastizales rioplatenses, fue tempranamente ensayada como una alternativa ante la mala preservación de restos orgánicos (Olivero y Campos 2001; Campos et al. 2001). Los criterios metodológicos y las tipologías empleadas para la identificación del maíz, han seguido el devenir general de la discusión de los modelos propuestos desde centros foráneos.

Las primeras aplicaciones arqueológicas efectuadas en sitios con túmulos del este de Uruguay, basaron la identificación de maíz en la presencia de cruces grandes y extra grandes recuperadas en sedimentos de dichas estructuras (Olivero y Campos 2001). Estos morfotipos fueron identificados por sus características morfológicas, tomando como base la clasificación parataxonómica de Bertoldi de Pomar (1971). La presencia en las muestras analizadas de los morfotipos *Euhalteriolita cruciformata* y *E. testicotilata*, observados en muestras actuales de maíz (Olivero y Campos 2001) y atribuidos por varios autores a esta especie (ej. Pearsall 1988; Bertoldi de Pomar 1971), aportó los primeros indicios de presencia de maíz para sitios con cronología en torno al 2500 años ¹⁴C AP (Olivero y Campos 2001).

Con el desarrollo de los estudios fitolíticos en la región y la ampliación de los debates metodológicos sobre los criterios de identificación del maíz, se comenzaron a implementar estudios comparativos sobre gramíneas silvestres, así como a incorporar otras características para una mejor definición de los morfotipos clave (Campos et al. 2001; del Puerto y Campos 1999). Estos trabajos fueron muy incipientes en relación al tamaño de la colección de referencia de gramíneas nativas, pero abrieron la discusión sobre la adecuación local de criterios definidos para regiones y floras muy distantes y sentaron las bases para la búsqueda de criterios locales/regionales de identificación. A partir de estos primeros resultados comparativos se adoptaron nuevos criterios para la identificación de maíz, centrándose en la presencia de fitolitos cruciformes con las siguientes características (Campos et al. 2001; del Puerto y Campos 1999): presencia de cuatro lóbulos bien definidos, largo y ancho total aproximadamente iguales (diferencia menor al 10%) tomando las medidas de los ejes en los extremos de los lóbulos, eje menor mayor a 14 μm y estructura tridimensional definida por la forma de cruz en ambas caras planas (variante 1 de Piperno 1988). La aplicación de estos criterios a la arqueología del Este y Noreste de Uruguay, reforzó los hallazgos previos y retrotrajo levemente el piso temporal del maíz en la región, ubicándolo entorno al 3000 años ^{14}C AP (del Puerto e Inda 2005a; Campos et al. 2001). Al mismo tiempo, el hallazgo de dichos morfotipos en sectores de un testigo paleolimnológico tomado en las costas de la Laguna Negra y su ausencia en las principales especies de gramíneas características del área, llevó a postular la existencia de prácticas prehistóricas de cultivo en la planicie inundable hacia el 1000 ^{14}C AP (Inda y del Puerto 2008).

Continuando este proceso de profundización y maduración de los estudios fitolíticos y la arqueología regional, Iriarte (2003) realizó un intensivo análisis comparativo sobre gramíneas y suelos del Este de Uruguay. Su objetivo principal fue demostrar la factibilidad de aplicar el método Pearsall-Piperno para la identificación de fitolitos de maíz en contextos arqueológicos de la región. A partir del análisis de 41 gramíneas nativas halló que la tipología propuesta por el método, así como la función discriminante, eran aplicables para diferenciar al maíz de gramíneas silvestre del área de estudio. Al mismo tiempo, la aplicación de la misma metodología sobre suelos “naturales” del área, no reportó falsas identificaciones de maíz (Iriarte 2003). Aplicando esta metodología al análisis de fitolitos en sedimentos arqueológicos, obtuvo las fechas más tempranas de presencia de maíz en las Tierras Bajas del Cono Sur Americano: 4190 a ^{14}C AP (Iriarte et al. 2004). Si bien constituye el trabajo más completo en cuanto a las bases comparativas y a la sistemática desarrollada, puede cuestionarse el empleo de parámetros numéricos a partir de la asociación de un taxón único en contextos multi-taxón como los provenientes de sitios arqueológicos y, particularmente, los túmulos de tierra. En la matriz sedimentaria de estas

estructuras se combinan asociaciones fitolíticas multi-taxón provenientes de suelos naturales de áreas próximas a la estructura (áreas de aporte del material sedimentario), aquellas producto de las múltiples actividades humanas que involucraron el uso de vegetales en el sitio (alimento, medicinas, ceremonias, tecnología varias, acondicionamiento de estructuras de habitación y/o funerarias, entre otras) y finalmente las asociaciones de la propia vegetación que se desarrolla sobre los túmulos. Por consiguiente, no son comparables con la asociación de un único taxón (el maíz) ni con las asociaciones multi-taxón que puede presentar un suelo natural, que por otra parte cuenta además con cientos de años de alteración por impacto de las actividades agropecuarias (Altesor et al. 2005; Rodríguez et al. 2003; Panario y May 1994; Rosengurt 1944, entre otros).

Aportes más recientes han reportado la identificación de fitolitos de maídeas en sitios arqueológicos del sector argentino de los pastizales rioplatenses, incluyendo túmulos en el delta del Paraná (ej. Sánchez et al. 2013; Bonomo et al. 2011). No obstante, los mismos no definen ni discuten los criterios metodológicos específicos para la identificación de fitolitos de maíz.

Este trabajo constituye un paso más en el proceso de discusión y perfeccionamiento del análisis fitolítico y de la arqueología en el contexto regional. No busca reafirmar métodos ya establecidos, sino trabajar en pro de criterios regionales desarrollados a partir de una buena base comparativa y un análisis críticos de los parámetros a ser considerados.

III.2. 3 Materiales y Métodos

Área de estudio

El área general en que se enmarca este estudio corresponde a la región fitogeográfica conocida como los Pastizales del Río de la Plata (Soriano 1991) y dentro de ella particularmente la subregión de los *Campes* (Figura II.2). La caracterización del área se encuentra detallada en el Apartado II.2.

Muestreo

Fitolitos en plantas

La base comparativa comprende las 75 especies listadas en la Tabla II.1 e incluye dos variedades actuales de maíz. Si bien los antecedentes refieren a que solo las subfamilias *Panicoideae* y *Bambusoideae* son productoras de cruces, se optó por cotejar este dato con la lista completa de gramíneas de la colección de referencia.

Fitolitos en suelo

Para poner a prueba los resultados obtenidos del análisis uni-taxón a partir de la colección de referencia, se seleccionaron muestras multi-taxón procedentes de suelos de 21 parcelas bajo exclusión de ganadería doméstica de 7 localidades de la región de estudio (Tabla II.2, Figura II.2). La elección de suelos bajo exclusión ganadera responde a la búsqueda de asociaciones fitolíticas que reflejen mejor la estructura y composición de los pastizales nativos para el periodo prehistórico. Asimismo, busca eliminar registros secundarios producto del suministro de raciones (grano y forraje) en la producción ganadera. Las parcelas seleccionadas cubren una amplia variedad de condiciones geográficas, edáficas y florísticas, si bien todas corresponden a cobertura de pastizal (Tabla II.2). El análisis fitolítico se llevó a cabo sobre muestras sedimentarias obtenidas de los 5 cm superficiales de suelo.

Fitolitos en sedimentos paleolimnológicos

Finalmente, los criterios definidos a partir del análisis comparativo fueron aplicados al análisis fitolítico en muestras del testigo LN3 donde se habían identificado morfotipos asignables a *Zea mays* (del Puerto 2009; Inda y del Puerto 2008). Esto involucró el análisis de 6 muestras procedentes del sector comprendido entre los 50 y 75 cm de profundidad (ver Figura II.30 por detalle de la litología, cronología y registro fitolítico del testigo LN3).

Extracción y Análisis de fitolitos

Fitolitos en plantas

Los métodos de extracción se hallan referidos en el Apartado II.2. Se realizaron preparados fijos en Entellan y preparados temporales en aceite de inmersión, para posibilitar la rotación de las partículas. Los preparados fueron observados en microscopio óptico Nikon Eclipse 50i a 1000 magnificaciones. Se procedió a la captura y digitalización de imágenes mediante una cámara Micrometrics 519CU, utilizando el software Image Tool 3.0 para el procesamiento de las imágenes y la obtención de datos métricos.

Como primer paso en el análisis, se relevó la presencia de fitolitos cruciformes en los preparados de las 75 gramíneas. Como criterio básico de forma inicial, se consideró la presencia de cuatro lóbulos bien definidos y una relación aparente de simetría. En los casos en que se constató su presencia, se procedió a la captura de imágenes de entre 100 y 250 fitolitos cruciformes por especie, procediéndose posteriormente a la medición de los siguientes parámetros sobre la cara plana mayor: a) largo: máxima distancia absoluta entre los extremos de los lóbulos; b) ancho: máxima distancia entre los lóbulos en eje perpendicular al largo; c) simetría: calculada como el porcentaje de la diferencia largo-ancho en el valor máximo (largo).

Para confirmar la representatividad estadística del número de morfotipos analizados, se procedió al cálculo del número óptimo de observaciones para las variables ancho y largo, según la fórmula:

$$Nop = \left(\frac{t(n-1, \alpha) S_n - 1}{d} \right)^2$$

El nivel de confianza se definió en 95% ($\alpha = 0,05$) y el error dispuesto a admitir (d) se estableció en 0,75, correspondiendo a la mayor diferencia en micras obtenida al replicar 10 veces la misma medida. Cuando el número de observaciones efectuadas no alcanzó el N óptimo calculado, se realizaron nuevas observaciones hasta alcanzar el número significativo.

A partir de este primer conjunto de datos, se identificaron aquellas especies que presentaron fitolitos cruciformes del tipo grande y extra grande, considerando los distintos criterios arriba detallados: valores mínimos de ancho $>14 \mu\text{m}$, $>16,03 \mu\text{m}$ y $>20,03 \mu\text{m}$. Sobre este subconjunto de especies, se procedió a la medición de los siguientes parámetros: d) largo del cuerpo o tronco: máxima distancia entre los extremos del cuerpo silíceo sin considerar los lóbulos; e) ancho del cuerpo o tronco: máxima distancia del cuerpo silíceo perpendicular al largo; f) simetría: porcentaje de la diferencia largo-ancho (Figura III.1). La inclusión de estos últimos parámetros respondió a la observación de la disposición de los morfotipos cruciformes en espodogramas obtenidos de hojas de maíz. En estos se observó que la forma y dimensión de los lóbulos están sujetas al espacio disponible en el tejido epidérmico y con gran frecuencia se encuentran muy comprimidos en uno de sus ejes, presentando gran variabilidad en sus relaciones métricas. No obstante, el cuerpo central de las células silicificadas (sin los lóbulos) parece mantener una apariencia menos distorsionada.

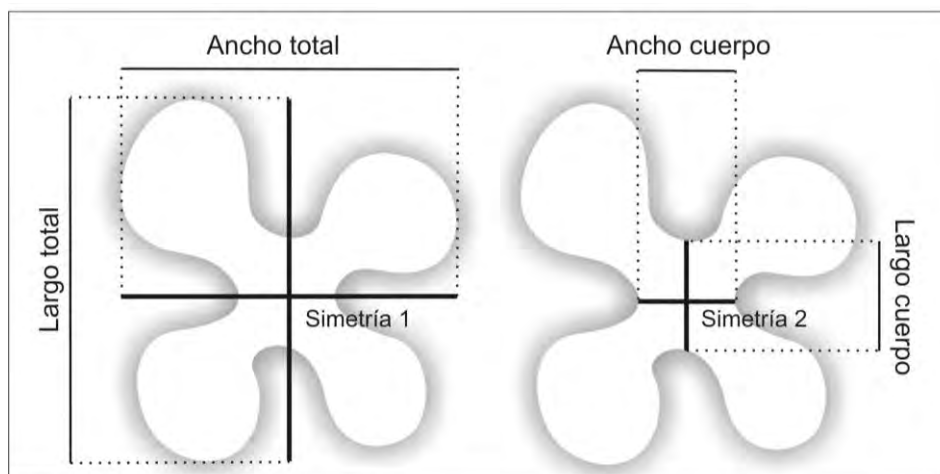


Figura III.1: Esquema de los ejes de simetría definidos y de las medidas tomadas sobre los morfotipos en forma de cruz

Para cada nuevo conjunto de mediciones (ancho, largo, ancho del cuerpo y largo del cuerpo) dentro de cada subgrupo ($>14\ \mu\text{m}$, $>16,03\ \mu\text{m}$ y $>20,03\ \mu\text{m}$) se volvió a calcular el N óptimo de observaciones, rectificando la cantidad de morfotipos medidos hasta alcanzar los valores representativos de cada parámetro.

No se tuvieron en consideración las características tridimensionales de los fitolitos, debido a los cuestionamientos arriba esgrimidos respecto a este criterio. Por otro lado, si bien se determinó la relación de abundancias relativas y algunos estadísticos básicos para cada parámetro considerado, el objetivo es puramente descriptivo y no pretende ser una característica de aplicación en contextos multi-taxón.

A partir de los resultados obtenidos, se fue realizando un proceso de refinamiento y descarte, en busca de una combinación de parámetros morfométricos que pueda considerarse diagnóstica de fitolitos de *Zea mays*, sin lugar a las ambigüedades generadas por el uso de rangos de tamaño superpuestos y por la extrapolación de criterios numéricos y estadísticos obtenidos para la especie pura a contextos arqueológicos multi-taxón. Para ello se efectuó un análisis de seriación a partir de la presencia/ausencia de atributos relevados, utilizando para ello el programa PAST 3.01 (Hammer et al. 2001).

Fitolitos en suelo y sedimentos paleolimnológicos

Los métodos de extracción se hallan explicitados en el Apartado II.2. Con las muestras procesadas se realizaron preparados permanentes con Entellan y móviles en aceite de inmersión, los que fueron observados en microscopio óptico Nikon Eclipse 50i a 1000 magnificaciones. Se procedió a la captura y digitalización de imágenes de un mínimo de 100 fitolitos cruciformes en cada muestra, relevándose los mismos datos métricos considerados en el material vegetal de referencia: largo y ancho total, largo y ancho del cuerpo sin los lóbulos, porcentajes de simetría totales y parciales.

III.2.4 Resultados

Fitolitos en plantas

De las 75 gramíneas que integran la colección de referencia, 27 especies reportaron la presencia de fitolitos en forma de cruz, incluyendo las dos variedades de *Zea mays* (Tabla III.2). Las mismas pertenecen a las subfamilias Panicoideae (tribus Andropogonae, Paniceae y Maydeae), Bambusoideae (tribus Orizeae y Bambuseae) y Arundinoideae (tribu Danthonieae). Dentro de

estas especies, la abundancia relativa de fitolitos cruciformes en el total de células cortas, varió entre 0,9 % y 53%, correspondiendo los mayores valores al maíz. Todos los morfotipos cruciformes registrados presentaron una diferencia menor a 9,16 micras entre ambos ejes y en todas las especies se registraron fitolitos cruciformes que cumplieron con el criterio de simetría (diferencias entre ambos ejes menores al 10%).

Tabla III.2 Especies de gramíneas con fitolitos cruciformes. Se incluye la relación de abundancias relativas y principales características morfométricas

Especie	% Cruces	N	Largo Total					Ancho Total					% Sim. 1	%>14 μm	%>16 μm	%>20 μm
			Min.	Máx.	Media	DS	N.op	Min.	Máx.	Media	DS	N.op				
<i>Pennisetum latifolium</i>	41,2	120	8,0	15,9	11,4	1,7	13,9	2,2	12,5	8,6	1,7	13,2	16,7	0,0	0,0	0,0
<i>Paspalum urvillei</i>	25,9	105	9,0	16,6	13,5	2,2	27,3	7,1	15,0	11,1	1,7	13,8	34,3	2,0	0,0	0,0
<i>Andropogon glaucophyllus</i>	21,6	102	8,4	17,4	12,5	1,4	8,6	8,1	13,0	10,8	1,2	6,4	39,0	0,0	0,0	0,0
<i>Andropogon bicornis</i>	21,4	109	7,9	17,2	12,0	2,0	22,6	6,8	13,8	10,3	1,6	11,7	40,4	0,0	0,0	0,0
<i>Zizaniopsis bonariensis</i>	17,5	107	11,8	20,6	17,2	2,6	53,5	11,2	18,5	15,0	2,2	28,6	46,4	45,6	15,6	0,0
<i>Echinochloa helodes</i>	16,4	118	8,5	22,2	14,3	3,1	117,6	7,2	13,7	11,6	1,7	14,0	38,3	0,0	0,0	0,0
<i>Luziola peruviana</i>	14,1	137	9,1	16,3	12,5	1,4	8,4	6,3	14,0	10,7	1,4	9,1	38,7	0,0	0,0	0,0
<i>Paspalum plicatulum</i>	12,9	109	7,0	16,1	10,9	1,8	15,2	5,3	13,5	9,4	1,4	8,3	37,6	0,0	0,0	0,0
<i>Mnesithea selloana</i>	9,6	114	7,8	15,7	11,8	1,6	11,5	6,4	12,5	9,4	1,4	8,9	23,7	0,0	0,0	0,0
<i>Andropogon ternatus</i>	9,5	121	9,1	16,6	14,2	1,6	11,4	8,8	15,2	12,5	1,4	8,6	47,1	9,8	0,0	0,0
<i>Rhynchoryza subulata</i>	9,2	165	8,2	17,2	12,7	1,8	16,8	6,0	15,2	10,8	1,9	19,4	38,8	7,3	0,0	0,0
<i>Paspalum quadrifarium</i>	8,7	103	5,6	11,1	7,5	1,2	5,9	4,3	9,8	6,2	1,0	4,7	35,8	0,0	0,0	0,0
<i>Echinochloa crus-pavonis</i>	8,0	105	8,0	17,9	11,6	2,3	36,6	6,3	13,9	9,6	1,9	19,7	27,1	0,0	0,0	0,0
<i>Paspalum rufum</i>	7,1	101	7,0	18,5	11,2	1,9	18,3	5,9	13,9	9,1	1,9	17,7	22,8	0,0	0,0	0,0
<i>Bothriochloa barbinodis</i>	6,8	100	10,2	20,7	16,8	2,6	54,5	8,1	17,9	13,5	2,2	29,8	14,0	49,0	12,2	0,0
<i>Leersia distichophylla</i>	6,6	115	7,2	17,4	12,5	1,8	15,3	6,3	13,8	10,5	1,4	8,8	21,7	0,0	0,0	0,0
<i>Bothriochloa imperatoides</i>	5,7	116	10,5	22,1	16,3	2,8	75,3	8,4	19,1	14,1	2,5	43,7	27,3	44,7	14,5	0,0
<i>Pennisetum purpureum</i>	5,0	104	9,2	16,9	13,0	1,8	15,2	5,6	13,9	9,7	2,1	24,6	15,4	0,0	0,0	0,0
<i>Bothriochloa laguroides</i>	4,6	149	8,4	25,7	12,3	2,7	64,9	5,1	18,5	10,1	2,5	45,2	30,2	6,4	3,7	0,0
<i>Agenium villosum</i>	2,4	104	7,2	15,3	10,9	1,7	12,6	5,2	13,8	9,3	1,7	13,4	41,9	0,0	0,0	0,0
<i>Stenotaphrum secundatum</i>	1,7	104	7,3	14,6	9,7	1,5	9,7	5,0	9,7	7,4	1,2	6,1	9,5	0,0	0,0	0,0
<i>Panicum grumosum</i>	1,5	104	9,7	19,2	14,5	2,6	57,1	6,7	16,4	12,9	2,3	34,0	46,3	23,0	2,3	0,0
<i>Chusquea tenella</i>	1,3	102	7,9	17,1	12,5	2,3	33,1	6,9	13,9	10,3	2,0	21,5	32,3	0,0	0,0	0,0
<i>Chusquea ramosissima</i>	0,9	114	8,2	22,6	13,0	3,1	113,7	6,0	17,9	10,8	2,3	32,0	32,3	20,8	3,8	0,0
<i>Danthonia montevidensis</i>	0,9	114	10,3	17,7	13,2	1,7	13,6	7,9	15,8	11,5	1,8	15,5	44,8	7,6	0,0	0,0
<i>Andropogon selloanus</i>	0,9	100	8,4	13,1	10,8	1,8	16,8	6,8	10,3	8,7	1,1	5,4	20,0	0,0	0,0	0,0
<i>Zea mays</i> tipo M'Bia	53,0	211	11,3	27,1	17,4	3,0	95,1	8,7	21,8	14,3	2,4	40,9	34,3	51,4	21,1	1,1
<i>Zea mays</i> tipo Criollo	36,4	227	11,0	28,5	17,1	3,0	92,9	8,0	20,1	13,5	2,3	33,0	22,9	42,9	12,4	0,6

En relación al tamaño, en 11 de las 27 especies se registraron cruciformes con anchos >14 micras, con abundancias entre 2 y 51% del total de cruces registradas para cada especie, correspondiendo los mayores valores al maíz (Tabla III.2). En esta lista de 11 especies hay

ejemplares de las tres subfamilias y las 6 tribus antes mencionadas. El maíz (sus dos variedades), dos especies del género *Botriochloa* y la espadaña (*Zizaniopsis bonariensis*) registraron los mayores porcentajes de cruces mayores a 14 micras, con valores cercanos al 50%. Sólo en 7 de estas 11 especies se constató la presencia de cruces con anchos >16 micras, con menores valores de abundancia relativa (2,3 a 21%), registrándose nuevamente los mayores valores en el maíz. Las especies que integran esta lista pertenecen únicamente a las subfamilias Panicoideae y Bambusoideae. Finalmente, sólo en las dos variedades de maíz se registró la presencia de cruciformes con anchos mayores a 20 micras, pero con abundancias relativas que no superaron el 1,1% (Tabla III.2).

En la Tabla III.3 se presentan los resultados de los parámetros medidos sobre los fitolitos cruciformes mayores a 14 micras para las 10 especies de gramíneas silvestres y las dos variedades de maíz en las que fueron registrados. En *Andropogon ternatus* el 100% de estos morfotipos presentaron simetría en la forma general, con diferencias menores al 10% entre el largo y ancho totales (medidos a los extremos de los lóbulos). Entre las otras especies, las cruces simétricas representaron entre un 31,5 y 72%, correspondiendo los menores valores a una de las variedades de *Zea mays*. Por otra parte, al considerar la simetría del cuerpo sin los lóbulos, sólo las variedades de maíz reportaron la presencia de cruces con diferencias menores al 10% entre largo y ancho. Las mismas representaron entre el 35% (maíz criollo) y 40% (maíz M'Bia) de los fitolitos cruciformes con anchos totales mayores a 14 micras. Aproximadamente la mitad de los mismos (12 y 24% según la variedad de maíz) resultaron doblemente simétricos; es decir, reportaron diferencias menores al 10% entre largo y ancho total y entre largo y ancho del cuerpo sin los lóbulos.

En la Tabla III.4 se presentan los resultados obtenidos sobre los fitolitos cruciformes con anchos mayores a 16 micras (Figura III.2). En este caso, *Chusquea ramosissima* presentó los mayores valores de abundancia relativa de morfotipos con simetría general de forma, totalizando el 76% de los fitolitos cruciformes mayores a 16 micras. Las variedades de maíz reportaron valores de abundancia de cruces simétricas notablemente menores, entre 33% (maíz criollo) y 56% (maíz M'Bia), aunque mayores que los registrados al considerar las cruces mayores a 14 micras (Tabla III.2). Nuevamente, al considerar la simetría del cuerpo sin los lóbulos, sólo en las variedades de maíz se registró la presencia de cruces con simetría de cuerpo, en valores de abundancia entre 24 y 46% (tipos criollo y M'Bia respectivamente). Poco más de la mitad de estas cruces (14 y 32% respectivamente) resultaron doblemente simétricas. Entre ellas se incluyen las cruces mayores a 20 micras que ambas variedades de maíz resultaron doblemente simétricas.

Tabla III.3 Abundancia relativa y características morfométricas de los fitolitos cruciformes mayores a 14 micras registrados en el material comparativo

Especie	Cruces		Cuerpo con lóbulos											Cuerpo sin lóbulos											% Sim 1-2
	>14 µm		Largo					Ancho					% Sim 1	Largo					Ancho					% Sim 2	
	%	N	Min	Max	Med	DS	N.Op	Min	Max	Med	DS	N.Op.		Min	Max	Media	DS	N.Op	Min	Max	Media	DS	N.Op		
<i>Paspalum urvillei</i>	2,0	40	14,2	20,0	16,6	1,5	10,6	14,0	15,8	14,6	0,6	2,4	53,0	7,9	14,5	11,2	2,4	37,9	3,8	8,8	6,4	1,2	6,7	0,0	0,0
<i>Zizaniopsis bonariensis</i>	45,6	48	14,3	20,6	17,3	1,8	16,7	14,0	18,5	15,5	1,2	5,9	53,7	10,4	17,5	13,6	1,8	15,9	5,0	11,2	7,8	1,3	7,3	0,0	0,0
<i>Andropogon ternatus</i>	9,8	12	14,5	16,6	15,2	0,8	3,4	14,1	15,2	14,6	0,4	2,0	100,0	12,1	15,0	13,2	1,1	5,7	6,3	7,9	7,3	0,6	2,4	0,0	0,0
<i>Rhynchoryza subulata</i>	7,3	12	14,5	17,2	15,8	0,8	3,7	14,0	15,2	14,6	0,4	1,9	72,7	10,7	13,3	12,4	0,8	3,3	6,0	10,5	7,5	1,4	8,0	0,0	0,0
<i>Bothriochloa barbinodis</i>	49,0	49	14,1	20,7	17,5	1,8	17,0	14,0	17,9	15,5	1,1	5,6	50,0	11,1	19,4	15,3	1,8	16,9	5,3	8,9	6,8	1,0	4,9	0,0	0,0
<i>Bothriochloa imperatoides</i>	44,7	90	14,7	22,1	18,0	1,8	17,0	14,1	19,1	15,6	1,4	8,6	41,2	9,2	21,1	14,6	2,9	84,6	4,6	10,0	6,7	1,3	7,7	0,0	0,0
<i>Bothriochloa laguroides</i>	6,4	45	14,4	25,7	18,8	2,2	29,7	14,0	20,5	16,7	2,5	44,2	70,0	11,3	22,8	15,5	2,2	29,7	5,0	8,7	6,5	2,4	36,8	0,0	0,0
<i>Panicum grumosum</i>	23,0	24	15,0	19,2	16,7	1,1	5,5	14,0	16,4	15,0	0,7	2,9	55,0	11,4	16,9	14,1	1,3	7,2	5,4	7,0	6,2	0,5	2,2	0,0	0,0
<i>Chusquea ramosissima</i>	20,8	45	14,6	22,6	17,4	2,2	29,7	14,0	19,1	16,3	1,7	12,9	67,5	10,1	17,7	14,3	2,4	41,0	6,2	11,8	7,7	1,3	7,1	0,0	0,0
<i>Danthonia montevidensis</i>	7,6	9	14,6	17,7	15,8	1,1	5,2	14,4	15,8	14,7	0,5	2,2	71,4	11,5	14,7	13,4	1,3	7,3	6,9	9,4	8,4	1,0	4,8	0,0	0,0
<i>Zea mays</i> tipo M'Bia	51,4	108	14,3	27,1	18,7	2,6	56,8	14,1	21,8	16,2	1,8	14,8	47,8	7,8	19,2	12,1	2,4	39,1	5,9	14,5	9,9	1,7	14,3	40,0	24,4
<i>Zea mays</i> tipo Criollo	42,9	97	15,1	28,5	18,5	2,7	58,7	14,0	20,1	15,5	1,4	8,2	31,5	7,6	16,6	11,1	1,8	16,8	6,1	12,6	9,0	1,4	9,1	34,2	12,3

Tabla III.4 Abundancia relativa y características morfométricas de los fitolitos cruciformes mayores a 16 micras registrados en el material comparativo

Especies	Cruces		Cuerpo con lóbulos												Cuerpo sin lóbulos												% Sim 2	% Sim 1-2	
	>16 μm		Largo						Ancho						% Sim 1	Largo						Ancho							
	%	N	Min	Max	Med	DS	N.Op	Min	Max	Med	DS	N.Op	Min	Max		Med	DS	N.Op	Min	Max	Med	DS	N.Op						
<i>Zizaniopsis bonariensis</i>	15,6	20	14,3	20,6	17,3	1,8	16,7	14,0	18,5	15,5	1,2	5,9	64,3	10,4	17,5	13,6	1,8	15,9	5,0	11,2	7,8	1,3	7,3	0,0	0,0				
<i>Bothriochloa barbinodis</i>	12,2	15	16,2	20,7	18,5	1,7	12,9	16,1	17,9	17,0	0,7	2,8	66,7	14,8	19,4	16,3	1,7	14,0	5,3	8,2	6,9	1,1	5,1	0,0	0,0				
<i>Bothriochloa imperatoides</i>	14,5	35	16,2	22,1	19,0	1,7	13,1	16,1	19,1	17,3	1,2	6,0	63,6	12,4	21,1	16,7	2,3	31,7	6,1	10,0	7,6	1,3	7,0	0,0	0,0				
<i>Bothriochloa laguroides</i>	3,7	35	17,2	25,7	21,0	2,2	29,7	16,1	20,5	17,8	1,3	7,9	56,3	12,5	22,8	17,4	2,1	24,7	5,0	8,7	6,6	1,1	5,5	0,0	0,0				
<i>Panicum grumosum</i>	2,3	18	16,2	21,0	18,5	1,4	8,8	16,0	18,8	17,0	0,9	4,1	66,6	11,8	18,0	14,8	1,6	12,2	6,0	7,7	6,8	0,5	2,1	0,0	0,0				
<i>Chusquea ramosissima</i>	3,8	15	16,9	21,4	18,9	1,3	6,9	16,1	19,1	17,6	0,9	4,1	76,2	13,6	17,7	15,7	1,4	8,3	5,7	11,8	7,5	1,5	10,5	0,0	0,0				
<i>Zea mays</i> tipo M'Bia	21,1	37	16,7	27,1	19,8	2,1	23,3	16,0	21,8	17,9	1,4	8,8	56,8	8,9	16,9	13,0	2,2	28,6	7,1	14,5	10,9	1,8	15,4	45,9	32,4				
<i>Zea mays</i> tipo Criollo	12,4	25	16,8	26,8	20,2	2,0	21,8	16,0	20,1	17,3	1,3	6,9	33,3	9,3	15,6	12,0	1,7	14,2	6,4	12,6	9,8	1,6	12,4	23,8	14,3				

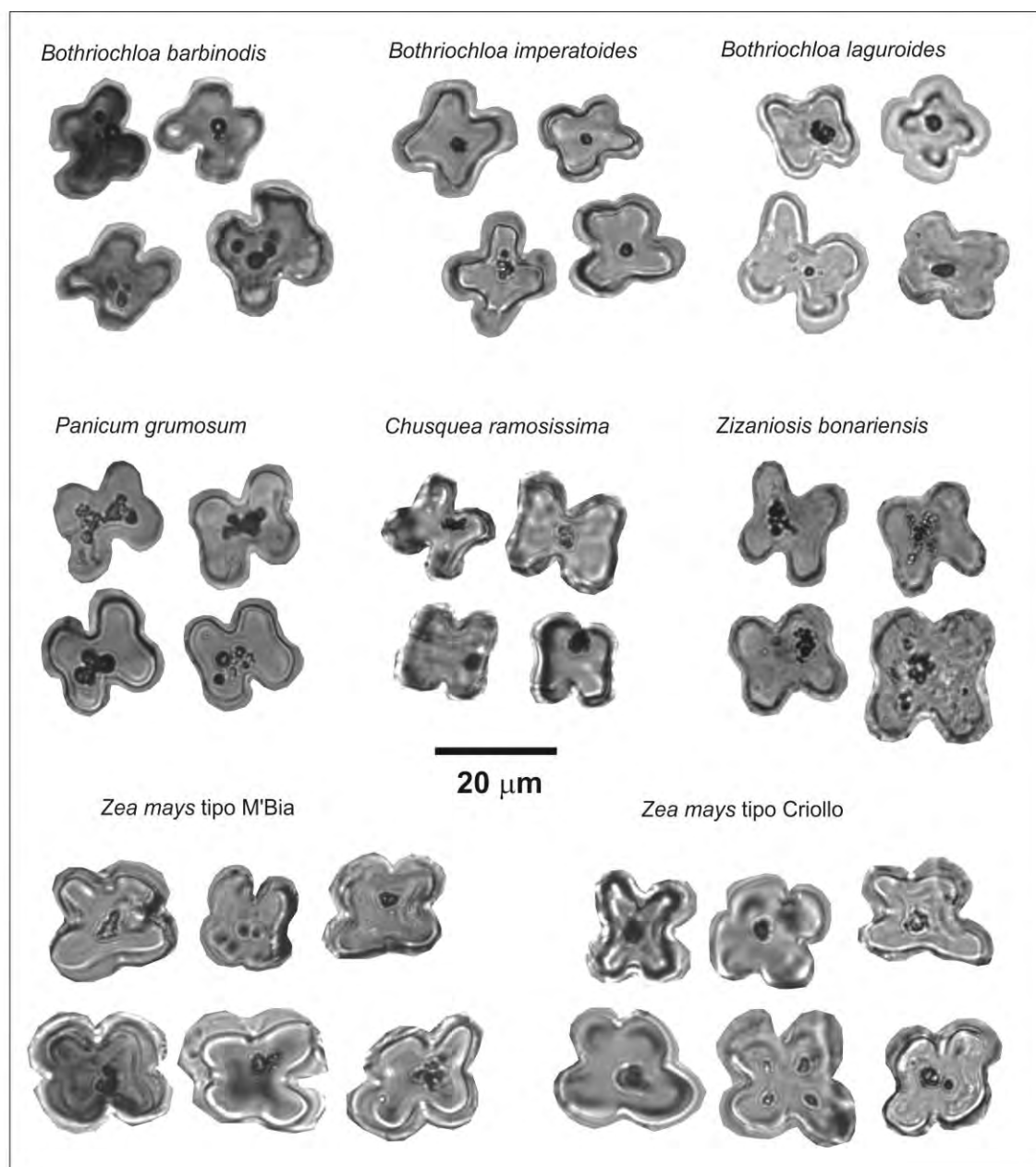


Figura III.2. Imágenes ilustrativas de los morfotipos de cruces mayores a 16 micras relevados en el material comparativo.

Los resultados del análisis secuencial de los distintos atributos relevados se expresan gráficamente en la Figura III.3, que presenta la seriación resultante a partir de las características morfométricas de los fitolitos en forma de cruz. De los resultados hasta aquí expuestos se desprende que el maíz (ambas variedades) puede diferenciarse de las demás especies de gramíneas de referencia por presentar fitolitos en forma de cruz con anchos mayores a 14 micras y una relación simétrica entre ancho y largo del cuerpo sin los lóbulos, pudiendo presentar también doble simetría.

Especies	Atributos													
	Cruces	Sim 1	>14 µm	>14µm sim 1	>16 µm	>16µm sim 1	>14µm sim 2	>14µm sim1-2	>16µm sim 2	>16µm sim1-2	>20 µm	>20µm sim 1	>20µm sim 2	>20µm sim1-2
<i>Pennisetum latifolium</i>														
<i>Paspalum urvillei</i>														
<i>Andropogon glaucophyllus</i>														
<i>Andropogon bicornis</i>														
<i>Zizaniopsis bonariensis</i>														
<i>Echinochloa helodes</i>														
<i>Luziola peruviana</i>														
<i>Paspalum plicatulum</i>														
<i>Mnesithea selloana</i>														
<i>Andropogon ternatus</i>														
<i>Rhynchoryza subulata</i>														
<i>Paspalum quadrifarium</i>														
<i>Echinochloa crus-pavonis</i>														
<i>Paspalum rufum</i>														
<i>Bothriochloa barbinodis</i>														
<i>Leersia distichophylla</i>														
<i>Bothriochloa imperatoides</i>														
<i>Pennisetum purpureum</i>														
<i>Bothriochloa laguroides</i>														
<i>Agenium villosum</i>														
<i>Stenotaphrum secundatum</i>														
<i>Panicum grumosum</i>														
<i>Chusquea tenella</i>														
<i>Chusquea ramosissima</i>														
<i>Danthonia montevidensis</i>														
<i>Andropogon selloanus</i>														
<i>Zea mays</i> MBia														
<i>Zea mays</i> Criollo														

Figura III.3 Seriación obtenida a partir de las características morfométricas de los fitolitos en forma de cruz.

Fitolitos en suelo

En la tabla III.5 se presentan los resultados obtenidos del análisis de las 21 muestras de suelo de parcelas bajo exclusión ganadera. En todas las muestras se identificó la presencia de fitolitos cruciformes, con bajas abundancias relativas (0,4 a 5 %) en el total de morfotipos de gramíneas. El análisis morfométrico permitió establecer la presencia de cruces mayores a 14 micras en 17 de las 21 muestras, con abundancias relativas entre 8 y 49%. A partir del cálculo de los valores de simetría se determinó que, aunque 17 muestras presentaron cruces mayores a 14 micras con simetría general de forma, en ninguna muestra se registraron cruces >14 micras con simetría del cuerpo sin los lóbulos.

Tabla III.5. Abundancia relativa y características morfométricas de los fitolitos en forma de cruz registrados en las exclusiones de pastoreo

Localidad	Exclusión	% Cruces	Min	Máx	Media	DS	Cruces >14 micras			
							%	% simetría 1	% simetría 2	% simetría 1-2
Quebrada	S1	0,48	6,14	21,3	11,12	3	16	75	0	0
	S2	5,29	8,43	21,4	14,35	4	44	36,4	0	0
	S3	0,34	7,79	19,6	11,6	3	32	62,5	0	0
	S4	0,78	7,93	18,4	11,66	2	20	20	0	0
Relincho	Ñandú Sur	0,25	9,01	20,6	12,5	2	16	25	0	0
	Blanqueal	1,15	8,24	19,5	13,85	3	42,3	18,2	0	0
	Don Julio	0,31	6,73	16,3	11,82	2	16	50	0	0
	Bonilla	0,02	9,08	15,3	11,6	2	11,5	33,3	0	0
	Corral Casa	0,02	7,38	16,3	11,23	2	8	50	0	0
	Los Zorros	1,62	7,46	23,6	13,02	4	28	57,1	0	0
Chilcas	B	1,23	6,25	13,1	9,418	2	0	0	0	0
	C	0,03	6,25	12,3	8,712	2	0	0	0	0
Glencoe	C94	3,56	10,6	19,7	14,27	3	48,39	33,33	0	0
	C84	0,02	8,88	16,2	12,35	2	20	50	0	0
	C84 Layado	0,47	8,23	17,6	12,73	2	20	25	0	0
SUL	A	1,26	9,49	16,3	11,67	2	8	50	0	0
Palmar	A	2,25	8,78	16,2	11,62	2	20	0	0	0
	B	0,86	9,05	17,6	12,61	2	24	66,7	0	0
	C	0,01	8,36	16	11,64	2	12	33,3	0	0
San Claudio	6	1,45	6,88	12,3	9,362	2	0	0	0	0
	7	2,54	7	12	9,081	2	0	0	0	0

Fitolitos en sedimentos paleolimnológicos

En la Tabla III.6 se presentan los resultados del análisis morfométrico de fitolitos en forma de cruz en las 6 muestras procedentes del testigo LN3. En todas las muestras se registró la presencia de estos morfotipos (Figura III.4), con valores de abundancia particularmente altos en los intervalos correspondientes al sector comprendido entre 60 y 7 cm de profundidad. En estas muestras los fitolitos cruciformes representaron hasta el 48% del total de silicofitolitos registrado. De acuerdo al análisis morfométrico, en los 5 intervalos inferiores (50-74cm) se observaron cruces mayores a 14 micras y solo en los cuatro intervalos centrales (50-72) estas cruces presentaron simetría general de forma en abundancias cercanas al 50%. Finalmente, cerca de un 25% de las cruces mayores a 14 micras de los intervalos comprendidos entre los 60 y 72 cm presentaron simetría de cuerpo sin lóbulos y entre un 12 y 15% exhibieron doble simetría.

Tabla III.6. Valores de abundancia relativa y características morfométricas de las cruces registradas en sedimentos del testigo LN3

Profundidad (cm)	% cruces	Min	Max	Media	DS	%	Cruces >14 micras		
							% simetría 1	% simetría 2	% simetría 1-2
40-41	0,20	6,27	19,17	9,56	3,18	0	0,0	0	0
52-53	8,63	9,14	28,68	13,10	4,47	19	50,0	0	0
60-61	34,62	9,21	28,94	16,72	4,61	67,1	53,2	23,40	12,77
66-67	23,33	9,20	17,10	12,61	1,80	18,2	50,0	24,51	13,70
71-72	48,21	9,66	25,86	16,24	3,12	78,9	56,7	26,67	15,00
73-74	0,39	6,02	19,54	10,43	3,15	0,1	0	0	0

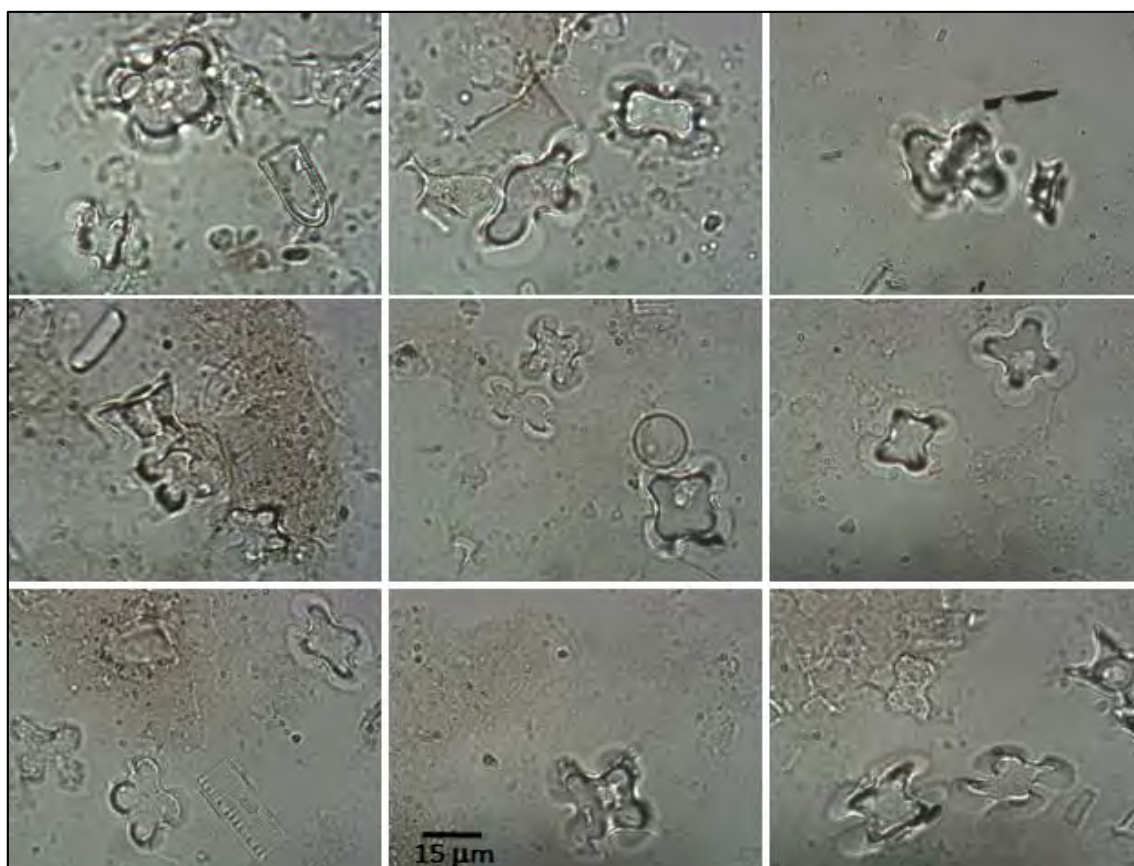


Figura III.4. Imágenes ilustrativas de la abundancia y características morfométricas de los fitolitos cruciformes observados en los intervalos 60-61 (arriba), 66-67 (centro) y 71-71 (abajo) del testigo LN3.

III.2.5 Síntesis y conclusiones

En primer término, cabe destacar que se registraron fitolitos cruciformes no solo en las familias Panicoideae y Bambusoideae, consideradas productoras características, sino también en Arundinoideae (tribu Danthonieae). Aun así, a excepción del maíz, las especies con mayor abundancia de fitolitos cruciformes correspondieron a las tribus Paniceae y Oryzeae de las subfamilias Panicoideae y Bambusoidea, respectivamente. En especies silvestres de estas tribus se registraron fitolitos cruciformes de tamaño grande ($> 16\mu\text{m}$) con simetría general de forma. Si bien su abundancia relativa fue menor a la registrada en las variedades de maíz, su sola presencia en otras especies pone en cuestionamiento el uso de estos morfotipos como diagnósticos de *Zea mays* en contextos multi-taxón.

Cruces extra grandes sólo fueron observadas en las variedades de maíz, con muy baja abundancia relativa ($\sim 1\%$). Sin embargo, su uso como morfotipo diagnóstico puede ser cuestionado por su presencia en las muestras de contextos multi-taxón procedentes de algunas de las exclusiones ganaderas (Tabla III.5). Este hallazgo sugiere que estos morfotipos pueden estar presentes, aunque en muy baja frecuencia, en alguna de las especies de la colección de referencia o en otras que restan por analizar.

Al ampliar los criterios morfométricos tradicionalmente considerados e incluir la relación de simetría entre los ejes del cuerpo sin los lóbulos, se obtuvieron mejores resultados en la búsqueda de un tipo característico del maíz. En este caso, fitolitos cruciformes de cuerpos simétricos y tamaños superiores a $14\mu\text{m}$ solo fueron registrados en ambas variedades de maíz, no habiendo sido reportados en otras especies comparativas ni en las muestras sedimentarias de las exclusiones ganaderas.

Finalmente, al reanalizar los fitolitos del sector del testigo LN3 aplicando el nuevo criterio de identificación, se hallaron morfotipos asignables a maíz en el sector comprendido entre los 60 y 72 cm de profundidad, confirmando las identificaciones efectuadas previamente (del Puerto 2009; Inda y del Puerto 2008).

En conjunto, los resultados obtenidos permiten incrementar la confiabilidad de la identificación de fitolitos de hoja de maíz en contextos multi-taxón (como los sitios arqueológicos) en la zona de pastizales templados del cono sur americano. Esta confiabilidad puede verse incrementada, así como impugnada, en la medida que se continúe ampliando la base de referencia.

III.3 Paleoetnobotánica y subsistencia de los constructores de cerritos del Holoceno tardío en el este del Uruguay: análisis fitolítico en sedimentos y artefactos de estructuras monticulares²

III.3.1 Introducción

Los silicofitolitos han sido ampliamente utilizados como indicadores paleoetnobotánicos para estudios de subsistencia en las investigaciones arqueológicas de las tierras bajas sudamericanas (Pearsall 1989). La escasa o nula preservación de restos vegetales orgánicos motivó su temprana aplicación como método alternativo para conocer las especies vegetales utilizadas por las poblaciones prehistóricas, identificar prácticas de producción, procesamiento y consumo y reconstruir la composición y distribución de las comunidades vegetales pasadas (Piperno 1988). A pesar de las limitaciones inherentes a la propia producción de fitolitos en plantas – no universalidad, multiplicidad y redundancia (Mulholland y Rapp 1992; Rovner 1971) – las potencialidades vinculadas a la preservación y la capacidad de identificar géneros y especies vegetales de relevancia económica como el maíz, las cucúrbitas y los porotos, entre otros, redundó en una rápida aceptación y aplicación de la técnica en sitios de zonas húmedas y sub-húmedas de Sudamérica (del Puerto et al. 2008b). Con el desarrollo metodológico de la paleoetnobotánica en general y de los análisis fitolíticos en particular, su aplicación dejó de ser concebida como una mera “alternativa” para constituirse en un componente central en los estudios de subsistencia, aportando información complementaria a otras líneas de evidencia arqueobotánicas, zooarqueológicas, bioantropológicas y tecnológicas.

Las primeras aplicaciones de análisis fitolíticos en Uruguay se realizaron en el marco de investigaciones arqueológicas en cerritos de indios del este del país (Campos et al. 2001; Olivero y Campos 2001). La recuperación e identificación de fitolitos atribuidos a maíz, zapallo y porotos en sedimentos de estructuras monticulares del sitio CH2D01 (bañado de San Miguel, Rocha), constituyó el primer indicio de prácticas de cultivo entre los grupos constructores de túmulos con una antigüedad próxima al 2500 a¹⁴C AP (Olivero y Campos 2001). Junto a estas especies cultivadas, otros recursos vegetales silvestres de potencial económico, como las palmeras, fueron tempranamente identificados mediante estos indicadores (ej. Campos et al. 2001; del Puerto y Campos 1999). El potencial demostrado en estos trabajos pioneros, abrió camino para un

² Trabajo presentado en el *Taller Micro Paleoetnobotánica: Relevancia de una Red Interdisciplinaria de Investigaciones en Fitolitos y Almidones*, La Paloma-Rocha, 8 al 12 de diciembre de 2014: del Puerto, L., R. Bracco, I. Capdepon y H. Inda. Silicofitolitos e isótopos estables como indicadores de Paleodieta en la prehistoria del este del Uruguay.

crecimiento continuo de la técnica y su consecuente integración en numerosas investigaciones arqueológicas y paleoambientales del país.

Con la aplicación de análisis fitolíticos en sedimentos e instrumentos recuperados de otros sitios del este, noreste, oeste y sur del Uruguay (ej. Gianotti et al. 2013; Beovide et al. 2007; del Puerto e Inda 2005a y b; Capdepon et al. 2005; Iriarte et al. 2004), se amplió la información sobre los recursos vegetales utilizados y las prácticas vinculadas a su producción, procesamiento y consumo, estableciéndose también nuevas cronologías para la introducción de especies domesticadas en la región (Tabla III.7).

Como se detalla en la Tabla III.7, han sido varios los recursos vegetales identificados en materiales arqueológicos, con diverso grado de resolución taxonómica. Entre ellos, algunos se destacan por su recurrencia en contextos de distintas regiones y cronologías. Las palmas (Arecaceae) constituyen el caso más notorio, siendo identificadas en todos los sitios analizados. En forma similar, las achiras (*Canna* sp.) están presentes en la mayor parte de los contextos referidos. Ambos constituyen recursos con amplias referencias de uso por parte de grupos indígenas del subcontinente, incluyendo variadas prácticas más o menos intensivas de manejo, cultivo y hasta domesticación de algunas especies (ver del Puerto 2011b por referencias). No obstante, el registro de fitolitos de estas plantas en contextos naturales que se remontan al Pleistoceno final (del Puerto 2011) y su ocurrencia actual en estado silvestre, no permiten asumir – aunque tampoco descartar – que su registro en contextos arqueológicos sea evidencia de su cultivo y, menos aún, de su domesticación.

Algo similar puede suceder con las cucurbitáceas, ya que algunas especies ocurren en forma silvestre en la región, incluyendo variedades antecesoras de especies actualmente domesticadas (Millán 1945; Parodi 1935). Sin embargo, algunos trabajos sudamericanos han demostrado que es posible diferenciar entre variedades silvestres y domesticadas a partir de las características morfométricas de los fitolitos (Piperno y Stothert 2003; Piperno et al. 2000). Aplicando estos criterios, Iriarte (2003b) determinó que los morfotipos recuperados en sedimentos del sitio Los Ajos correspondían a variedades domesticadas de zapallos. Esto no significa que todos los reportes de cucurbitáceas correspondan a especies domesticadas, dado que se carece de los análisis morfométricos correspondientes.

Tabla III.7 Principales recursos identificados mediante análisis fitolíticos en sitios arqueológicos de distintas zonas del Uruguay

Región	Sitio	Unidad	Material Analizado	Edad máxima años ¹⁴ C AP	Recursos Identificados	Fuentes
Este	CH2D01	IA y IB	Sedimento	2000 - 2500	Arecaceae:sp.indet; Cucurbitaceae:sp.indet; Fabaceae: <i>Phaseolus</i> sp.; Poaceae: <i>Zea mays</i>	Olivero y Campos 2001
	Cráneo Marcado	I y III	Sedimentos y cerámica	2700-3000	Arecaceae: <i>Butia odorata</i> ; Bromeliaceae: <i>Bromelia</i> sp.; Cannaceae: <i>Canna</i> sp.; Cucurbitaceae: sp.indet; Cyperaceae: sp.indet; Fabaceae: <i>Phaseolus</i> sp.; Poaceae: <i>Zea mays</i> .	del Puerto e Inda 2008; Capdepon et al. 2002, 2005
	Guardia del Monte	I	Sedimentos y lítico	1250	Arecaceae: <i>Butia odorata</i> ; Cannaceae: <i>Canna</i> sp.; Cucurbitaceae: sp.indet; Cyperaceae: sp.indet; Poaceae: <i>Zea mays</i> .	del Puerto e Inda 2008; Capdepon et al. 2005
		II		4600	Arecaceae: <i>Butia odorata</i> ; Cyperaceae: sp.indet.	
	CG14E01	III	Sedimento	3600	Arecaceae: <i>Butia odorata</i> y <i>Syagrus romanzoffiana</i> ; Cucurbitaceae: sp.indet.; Cyperaceae: sp.indet.	Campos et al. 2001; Iriarte et al. 2001
		IV		2000	Cannaceae: <i>Canna</i> sp.; Poaceae: <i>Zea mays</i>	Campos et al. 2001
		IV		15000	Arecaceae: <i>Butia odorata</i> y <i>Syagrus romanzoffiana</i> ; Cannaceae: <i>Canna</i> sp.; Cucurbitaceae: sp.indet.; Cyperaceae: sp.indet.; Poaceae: <i>Zea mays</i>	Campos et al. 2001
	Los indios	I	Sedimento	2800	Arecaceae: sp.indet; Cucurbitaceae: sp.indet.	Iriarte et al. 2001
Noreste	Los Ajos	Gamma	Sedimento y artefactos líticos	4000	Arecaceae: sp.indet; Cucurbitaceae: <i>Cucurbita</i> sp.; Cyperaceae: sp.indet; Poaceae: <i>Zea mays</i>	Iriarte 2003b
		TBN		1660		
	Yale 27	I	Sedimento	3000	Arecaceae: sp.indet; Bromeliaceae: <i>Bromelia</i> sp.; Cannaceae: <i>Canna</i> sp.; Cucurbitaceae: sp.indet.; Cyperaceae: sp.indet; Passifloraceae: <i>Passiflora</i> sp.; Poaceae: <i>Zea mays</i> ; Ulmaceae: <i>Celtis tala</i>	del Puerto e Inda 2005b
	Cañada de los Caponcitos	P25-P28	Sedimento	1000	Arecaceae: sp.indet.; Cannaceae: <i>Canna</i> sp.; Cyperaceae: sp.indet.; Poaceae: Bambuseae (sp.indet.) y <i>Zea mays</i>	Gianotti et al. 2013
	Pago Lindo		Sedimento	1000	Arecaceae: sp.indet.; Cannaceae: <i>Canna</i> sp.; Cyperaceae: sp.indet.; Poaceae: <i>Oryza</i> sp. y <i>Zea mays</i>	Gianotti et al. 2013
Oeste	Paso del Puerto	I y II	Sedimento	650	Arecaceae: sp.indet.; Cannaceae: <i>Canna</i> sp.; Cyperaceae: sp.indet.; Cucurbitaceae: <i>Cucurbita</i> sp.; Poaceae: <i>Oryza</i> sp. y <i>Zea mays</i> .	del Puerto 2010
	Puerto La Tuna		Sedimento	4800	Arecaceae: <i>Syagrus romanzoffiana</i> ; Cannaceae: <i>Canna</i> sp.; Cucurbitaceae: <i>Cucurbita</i> sp.	Beovide et al. 2007; Beovide 2008
Sur	Gambe		Sedimento	2700		
	Colonización		Sedimento	2300	Arecaceae: <i>Syagrus romanzoffiana</i> ; Cannaceae: <i>Canna</i> sp.; Cyperaceae: sp.indet.; Poaceae: <i>Zea mays</i>	
	La Tuna		Sedimento	700		

Los fitolitos de *Phaseolus* spp. (porotos) también requieren de análisis morfométricos comparativos para su correcta identificación (Bozarth 1990), no contándose con estudios de referencia amplios para especies propias de la región. Quizás a ello responda su escasa identificación en los contextos arqueológicos analizados, teniendo en cuenta además que la presencia de estas leguminosas ha sido identificada en varios sitios mediante análisis de gránulos de almidón (López Mazz et al. 2014; Iriarte et al. 2004, 2001).

Fitolitos de maíz han sido identificados en casi todos los sitios en que el análisis fue desarrollado. Su registro comienza hacia el 4000 a ¹⁴C AP, volviéndose recurrente con posterioridad al 3000 a ¹⁴C AP y, más ampliamente, en los últimos 2000-1500 años. Como se discutió en el apartado III.2, los criterios de identificación empleados han sido diversos y, por ende, los resultados obtenidos no son estrictamente comparables.

La mayor parte de los estudios fitolíticos se han efectuado sobre sedimentos procedentes de perfiles estratigráficos de excavaciones, con muestreos más o menos intensivos y sistemáticos. Algunos responden directamente a la estratigrafía del sitio, analizándose una muestra por capa identificada (ej., del Puerto e Inda 2008). Otras estrategias incluyen muestreos sistemáticos cada 10 o 20 cm (Olivero y Campos 2001). Son pocos los casos en los que se ha analizado más de una columna sedimentaria por excavación y en los mismos se ha registrado una importante variación horizontal en las asociaciones fitolíticas relevadas (Olivero y Campos 2001). La combinación de complejos procesos culturales y naturales de formación y diagénesis de los depósitos sedimentarios – que incrementa aún más cuando se trata de un túmulo – redundan en una esperable variabilidad en el registro fitolítico. Si a esto sumamos que los análisis se efectúan sobre muestras puntuales obtenidas de un sector particular del perfil de una excavación, que interviene a su vez una porción acotada de un sitio, la información obtenida del análisis fitolítico tiene una representatividad limitada. De lo anterior se desprende que la identificación positiva siempre tendrá mayor confiabilidad que el no hallazgo: la ausencia de evidencia no implica evidencia de ausencia.

El análisis de fitolitos en contextos semi-cerrados, como el interior de recipientes cerámicos o la cara activa de instrumentos de molienda (ej. Staller 2003; Staller y Thompson 2002) permite reducir los factores de variabilidad y obtener información más acotada del contexto de producción y recuperación de la evidencia. No obstante, la información generada se limita a las plantas que requieren ser procesadas y/o almacenadas en dichos instrumentos, limitando no solo el universo de plantas identificadas sino también la cronología y la funcionalidad de los contextos analizados (por ej., excluye sitios o contextos pre-cerámicos, zonas de cultivo, etc.).

A partir de estas consideraciones y con el objetivo de aportar a la comprensión de las estrategias de subsistencia de los constructores de túmulos del Holoceno tardío en el Este del Uruguay, este trabajo se basó en un análisis denso de partículas biosilíceas en muestras sedimentarias e instrumentos de tres sitios arqueológicos de la región. A través de muestreos intensivos de múltiples columnas sedimentarias por sitio, con buen control cronológico y caracterización arqueológica contextual, se hizo hincapié en la identificación de posibles especies manejadas/cultivadas, sus pisos de ocurrencia y su variación temporal y espacial en el registro. El análisis de recipientes cerámicos e instrumentos líticos, contribuyó con información adicional sobre las prácticas de procesamiento, almacenamiento y consumo de varias especies. La integración de la información generada con datos tecnológicos, arqueofaunísticos y bioantropológicos existentes para los sitios, permitió una aproximación más integral a la subsistencia de las poblaciones prehistóricas generadoras de los registros estudiados.

III.3.2 Materiales y métodos

Características del área de estudio y antecedentes de los sitios analizados

El área de estudio comprende las tierras bajas del este del Uruguay, ubicadas dentro de la cuenca hidrográfica de la Laguna Merín y de una porción de la vertiente Atlántica (Figura III.5). Al interior del área se han identificado diferentes unidades ambientales homogéneas, definidas principalmente por criterios geomorfológicos, edáficos, biológicos y fisionómicos (PROBIDES 1999):

- a) Sierra: sectores más elevados de la cuenca (200-500 msnm) de sustrato cristalino y metamórfico, con vegetación de bosque serrano y quebradas en las cabeceras;
- b) Colinas, lomadas y valles: relieves suaves a fuertemente ondulados con vegetación de pastizal asociado a parches de matorral;
- c) Llanuras altas: terrenos planos cuya altitud relativa impide que sean afectadas por las inundaciones, presentando vegetación de pastizal;
- d) Palmar: se extiende por las llanuras medias y altas, en terrenos planos o levemente ondulados, excepcionalmente inundables. La matriz está constituida por un bosque de palmeras de butiá (*Butia odorata*), con densidades que alcanzan en algunos lugares 480 individuos / ha;

- e) Bañados: planicies que se mantienen inundadas en forma permanente o temporal, abarcando las llanuras bajas internas vinculadas a los cursos medios y bajos de los ríos y arroyos, las llanuras lagunares que bordean los espejos de la laguna Merín, Negra y el sistema de lagunas costeras. Domina la vegetación paludosa con bosques ribereños en las márgenes de los cursos principales;
- f) Costa atlántica: playas y campos de dunas, interrumpidas por afloramientos rocosos. La vegetación es de pradera psamófila con parches de matorral y bosque psamófilo.

La diversidad biológica de estos ambientes, que presentan a su vez alta proximidad y conectividad, constituyó un componente clave en las estrategias de subsistencia de las poblaciones prehistóricas que ocuparon el área desde el Holoceno temprano. La distribución espacial y temporal de sitios arqueológicos registrados en la región, es coherente con una estrategia que pretende utilizar la oferta de los diferentes ambientes, como humedal, sierra, costa oceánica y lagunar (ej. López Mazz y Bracco 1992).

Los sitios arqueológicos característicos del área son aquellos integrados por estructuras monticulares en tierra, denominadas “cerritos de indios” (ver apartado I.2 para más detalle). Los mismos se presentan aislados o conformando grupos, a lo largo de las planicies medias y altas o en sierras y lomadas que irrumpen como penínsulas sobre los paisajes llanos (López Mazz 2001; López Mazz y Bracco 1992; Figura III.5).

Los materiales analizados en este trabajo proceden de cinco cerritos de indios comprendidos en tres sitios arqueológicos de la región, ubicados en el Bañado de San Miguel (CH2D01) y en la Cuenca de la Laguna de Castillos (Cráneo Marcado y Guardia del Monte). La elección de los sitios responde a que se ubican cronológicamente en el Holoceno tardío, a que cuentan con antecedentes de análisis arqueobotánicos (Tabla III.7), arqueofaunísticos, tecnológicos y bioantropológicos de relevancia para dar contexto a la información generada (expuestos a continuación), así como a la existencia de acervos de materiales (sedimentos y artefactos) disponibles para análisis.

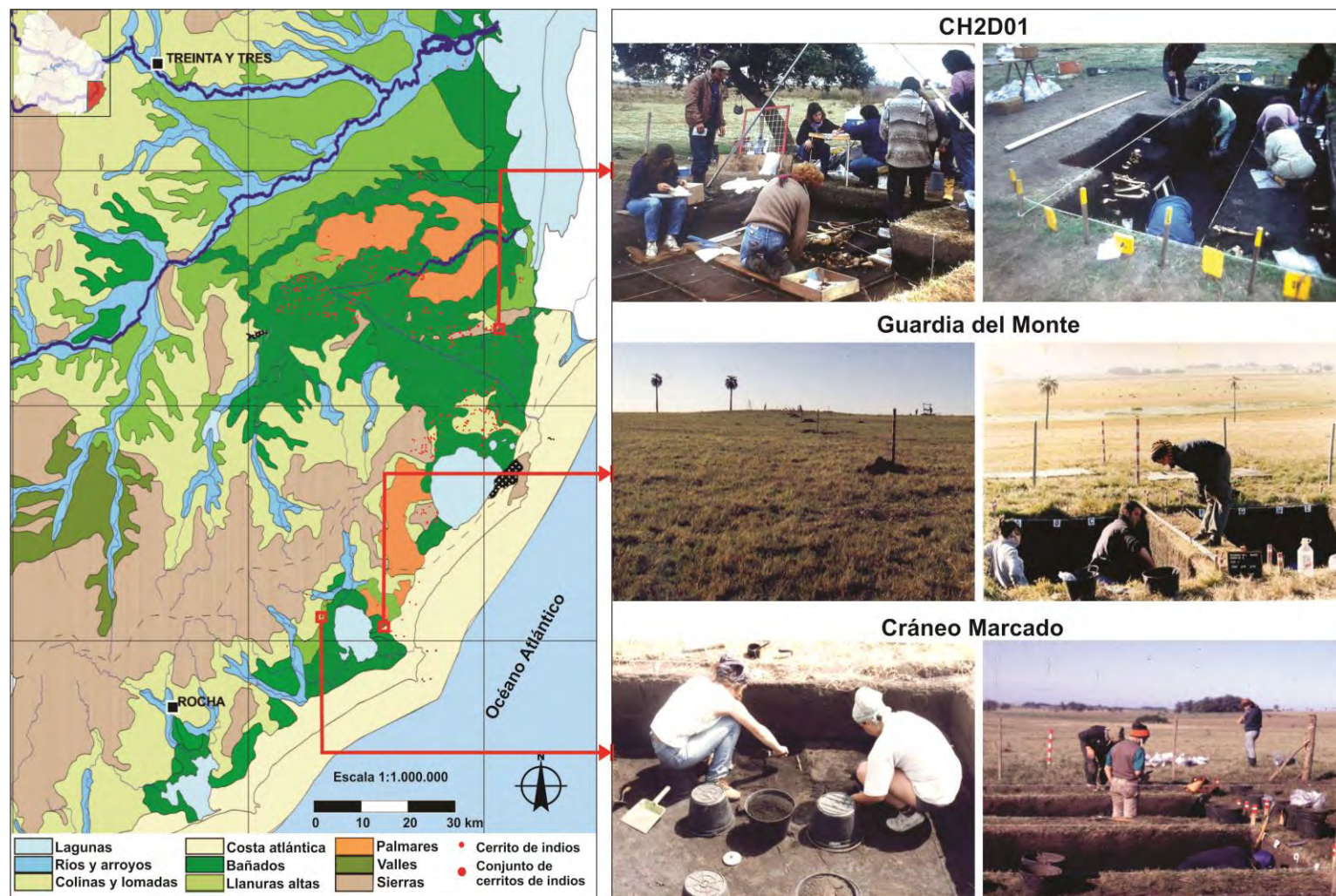


Figura III.5 Mapa presentando la ubicación geográfica y el contexto ambiental y arqueológico de los sitios investigados, con imágenes ilustrativas de las intervenciones en los sitios CH2D01, Guardia del Monte y Cráneo Marcado.

El bañado de San Miguel integra las áreas deprimidas asociadas a la Laguna Merín (Figura III.5). Las prospecciones arqueológicas han permitido identificar numerosos sitios con estructuras monticulares, dos de los cuales han sido objeto de excavaciones sistemáticas: CH1E01 y CH2D01.

El sitio CH2D01 (33°43'53.24"S - 53°36'19.96"O) se ubica en el extremo Norte del bañado de San Miguel, sobre un suave albardón en la margen izquierda de la cañada del Rodeo, pequeño tributario del Arroyo San Miguel. El ambiente dominante es de llanuras medias y bajas con bañados y esteros, interrumpidos por zonas de serranía cubiertas por montes serranos (Bracco et al. 1993).

Dentro del sitio, que abarca aproximadamente 2 hectáreas, se destacan dos estructuras monticulares (“cerritos de indios”) de planta sub-circular de unos 35m de diámetro. El cerrito "A" tiene una altura de 1,4 m y el "B" de 1,2 m, distando 20 m uno del otro (Curbelo et. al. 1990). El material cultural se extiende fuera de las cerritos, en los primeros 35 cm de suelo en las áreas plantas adyacentes y en leves sobreelevaciones (~20 cm de altura) de origen antrópico denominadas “microrelieves”. Los fechados radiocarbónicos obtenidos a partir de las excavaciones arqueológicas en ambos cerritos, evidencian una ocupación continua entre ~2500 a ¹⁴C AP y el inicio del periodo histórico (siglos XVII y XVIII) (Bracco et al. 2000a).

El análisis de la tecnología lítica evidenció un predominio de materias primas locales de baja calidad (cuarzo, riolita y basaltos), utilizadas para la confección de instrumentos expeditivos con modificación mínima (Curbelo y Martínez 1992). En menor proporción (<10%), se registraron instrumentos formatizados (bifaces y puntas de proyectil) elaborados sobre materias primas de mayor calidad (cuarcita y ópalo) pero de menor disponibilidad a nivel local (Curbelo y Martínez 1992).

La cerámica recuperada corresponde a vasijas de manufactura simple, utilitarias, de forma abierta o con paredes rectas (escudillas y ollas) y diámetros de entre 14 y 32 cm. Desde el punto de vista decorativo, en muy pocos tiestos se evidenciaron rastros de pintura roja o presencia de decoración plástica (Bracco et al. 1993).

Mediante las excavaciones efectuadas se recuperaron 24 enterramientos humanos en la estructura A y seis en el cerrito B, correspondiendo a inhumaciones primarias y secundarias (Pintos y Bracco 1999). Estudios posteriores de restos óseos recuperados con material arqueofaunístico, permitieron identificar al menos cuatro sub-adultos más para la estructura A,

elevando en número mínimo de individuos a 28 (Moreno et al. 2014). Los análisis bioantropológicos permitieron identificar individuos masculinos y femeninos, tanto adultos como jóvenes y niños (Sans 1999). Las estimaciones de estatura y dimorfismo sexual sugieren una dieta rica y balanceada sin deficiencia nutricional. Sin embargo, la abundancia de caries mostró una marcada diferencia entre los individuos del túmulo A (0,3 por individuo) y el B (2,0 por individuo), sugiriendo variaciones poblacionales o sociales en los modos de subsistencia (Sans 1999). De acuerdo a la literatura, los valores de caries obtenidos para el túmulo B, lo ubican en el límite entre una dieta de caza y recolección y una dieta agrícola basada en maíz (Sans 1999). No obstante, análisis isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ efectuados sobre el colágeno de individuos de este sitio, resultaron negativos en la identificación de una dieta con importantes aportes de este cultivo (Bracco et al. 2000b).

El consumo de maíz fue también propuesto a partir de la identificación de silicofitolitos atribuibles a esta especie en sedimentos de ambas estructuras, junto a otros morfotipos asignados a cucúrbitas y porotos (Olivero y Campos 2001). Aunque dicha identificación se basó en escasos estudios comparativos locales, renovó la discusión sobre la existencia de prácticas agrícolas entre los constructores de cerritos.

Al mismo tiempo, los restos arqueofaunísticos recuperados indicaron un amplio espectro recursos animales, con los cérvidos ocupando un lugar central junto a una gran variedad de mamíferos, peces, aves y moluscos, destacándose también la presencia de perros domésticos (Moreno 2014; Pintos y Gianotti 1995). En conjunto, los distintos indicadores de paleodieta fueron consistentes con una subsistencia basada en la caza, pesca y recolección de recursos silvestres, combinada con el manejo de recursos silvestres (incluyendo especies animales como el venado de campo y apereá) y la producción de especies domesticadas tanto vegetales como animales (Moreno 2014; Olivero y Campos 2001).

Cuenca de la Laguna de Castillos – Sitios Cráneo Marcado y Guardia del Monte

La Laguna de Castillos integra la serie de lagunas costeras que se desarrollan paralelas al litoral atlántico a lo largo del Este del territorio uruguayo (Figura III.5). Tiene una superficie de 90 km² y una cuenca de 925 km². Actualmente se encuentra conectada con el océano a través del arroyo Valizas (Conde y Somaruga 1999). En las últimas décadas la cuenca ha sido intensamente abordada desde distintas disciplinas, destacándose las investigaciones arqueológicas (ej. López Mazz et al. 2009; Inda et al. 2006; Capdepon y Pintos 2006, 2002; Capdepon et al. 2005, 2002;

Pintos 1999) y paleoambientales (ej. Bracco et al. 2011b; del Puerto et al. 2011; García-Rodríguez et al. 2002).

Las investigaciones arqueológicas en el área han permitido la identificación de al menos 30 sitios arqueológicos con estructuras monticulares, dos de los cuales han sido objeto de excavaciones sistemáticas: “Cráneo Marcado” (34°16'48.54"S - 54° 0'13.22"O) ubicado en la margen oeste de la laguna y “Guardia del Monte”(34°17'40.07"S - 53°51'37.36"O) ubicado en la margen este (Figura III.5). A nivel de su estructura interna, en ambos sitios se han identificado dos áreas bien diferenciadas: 1) Una extensa planicie paralela y cercana a la actual línea de costa de la laguna, con alta concentración de materiales arqueológicos en suelos desarrollados sobre crestas bioclásticas de tormenta entre cotas 3,5-5 m.s.n.m.; 2) A una distancia de 1000 m de esa extensa planicie y a cota superior a 20 m.s.n.m., se encuentra un área caracterizada por la presencia de estructuras monticulares (tres en cada sitio). Las mismas presentan forma circular, con un diámetro que no supera los 42 metros y alturas de entre 1 a 1,5 metros (Capdepon y Pintos 2006; Pintos 1999).

En ambos sitios se han efectuado excavaciones en la planicie lagunar y en dos de los tres túmulos que los integran. Los fechados radiocarbónicos obtenidos indican que la ocupación humana en la costa lacustre tiene una antigüedad máxima de ~4600 a¹⁴C AP, pero la construcción/ocupación de los túmulos tuvo lugar desde ~2700 a¹⁴CAP hasta el siglo XVIII (Capdepon y Pintos 2006).

En dos de los cuatro túmulos excavados (CM-B y GM-A) se recuperaron restos óseos humanos, en enterramientos primarios y secundarios, tanto individuales como colectivos. Están representados individuos de varias edades, desde niños hasta adultos de avanzada edad (Capdepon 2004). Algunos objetos de ajuar identificados en uno de los contextos funerarios de la excavación III de Cráneo Marcado (túmulo B), tales como una bala de culebrín y una pipa cerámica de molde, indican contacto europeo. En este mismo contexto se recuperó un fragmento de madera no carbonizada, identificada como *Ilex* sp (Capdepon et al. 2004).

El análisis de los materiales líticos recuperados en los túmulos indica el uso mayoritario (90%) de materias primas locales, como cuarzo y filita. En menores cantidades se registraron artefactos en riolita y areniscas identificadas en la sierra a 15 kilómetros, así como cuarzos con turmalina de la costa atlántica distante unos 4 km (Capdepon y Pintos 2006). Estas materias primas fueron utilizadas para la fabricación de diversos instrumentos, como boleadoras, estecas, rompe coquitos, núcleos, percutores, manos de moler, morteros y raspadores. Análisis de partículas biosilíceas y de gránulos de almidón efectuados sobre seis fragmentos de morteros del sitio

Guardia del Monte (excavación I), permitieron identificar el procesamiento de recursos vegetales silvestres y domesticados (López Mazz et al. 2014; Capdepon et al. 2005; Tablas III.1 y III.2).

La caracterización tecnológica y funcional del material cerámico recuperado indica también el uso de materias primas locales, utilizadas para la fabricación de vasijas de tipo utilitario. La alta heterogeneidad constatada en los rasgos tecnológicos identificados en los tiestos analizados, sugiere falta de especialización en la manufactura cerámica (Capdepon y Pintos 2002). Análisis biosilíceos efectuados sobre adherencias recuperadas en la cara interna de cinco tiestos del sitio Cráneo Marcado (excavaciones I y III), permitieron también identificar diversos recursos silvestres y domesticados, incluyendo maíz, cucúrbitas y palmas (Capdepon et al. 2002).

Junto al análisis biosilíceo en materiales líticos y cerámicos, se analizaron 10 muestras sedimentarias procedentes de las unidades estratigráficas identificadas en los túmulos mayores de cada sitio (CM-B y GM-A). Estos estudios identificaron un conjunto de recursos vegetales silvestres y cultivados (Tabla III.2) con diferente representación en distintos momentos de ocupación de los sitios (del Puerto e Inda 2008).

También el análisis arqueofaunístico identificó variaciones temporales en el aprovechamiento de los recursos. El material faunístico está mayormente representado por mamíferos terrestres, peces y aves, con el venado de campo y el ciervo de los pantanos como una constante en todos los conjuntos analizados (Capdepon y Pintos 2006).

Integrando el registro arqueobotánico y arqueofaunístico de ambos sitios, se propusieron dos momentos diferenciales en las estrategias de subsistencia: 1) un primer periodo que se extendió hasta *circa* el 2000 a ¹⁴C AP, caracterizado por una mayor diversidad de recursos explotados, incluyendo la producción de vegetales domesticados. Esta estrategia se habría desarrollado como respuesta al estrés ambiental generado por condiciones climáticas de mayor estacionalidad y menores temperaturas; 2) un segundo momento que se extiende hasta tiempos históricos y que se habría instaurado bajo condiciones climáticas similares a las actuales, donde habría tenido lugar una estrategia más especializada en el uso de los recursos (menos diversa), con énfasis en la explotación de grandes mamíferos terrestres y vegetales silvestres como las palmeras (Capdepon y Pintos 2006).

Muestreo

En las Tablas III.8 a III.10 se presenta la información referente a las muestras sedimentarias analizadas por sitio y en la Tabla III.11 la relativa a los materiales arqueológicos sobre los que se extrajeron adherencias de cara interna o superficies activas. En las Figuras III.6 a III.8 se representa gráficamente la procedencia de las muestras en relación a la estratigrafía y cronología de cada sitio y excavación.

Se procesaron y analizaron 150 muestras arqueológicas: 87 muestras sedimentarias, 50 extracciones de materiales cerámicos (20 tiestos) y cinco extracciones de material lítico (tres instrumentos). Los materiales se obtuvieron del reservorio del Museo Nacional de Antropología, con autorización expresa de los investigadores responsables de cada sitio y/o excavación.

Los sedimentos analizados proceden de muestreos efectuados en el transcurso de las excavaciones arqueológicas realizadas en los tres sitios, culminadas entre 1993 (CH2D01) y 1998 (Guardia del Monte). Los muestreos no fueron diseñados específicamente para el desarrollo de análisis biosilíceos, sino que corresponden mayormente a muestreos sistemáticos y estratigráficos para caracterización físico-textural y geoquímica de la matriz sedimentaria de las estructuras monticulares. También se utilizaron sedimentos resguardados para la recuperación de materiales mediante zaranda de agua, por contar en algunos casos con muestras procedentes de los niveles artificiales de las excavaciones, representando muestreos continuos con intervalos de 5 cm. No en todos los casos se consiguieron secuencias completas, pero se procuró compensar mediante la obtención de diferentes columnas sedimentarias para cada sitio y excavación.

Los muestreos de adherencias en fragmentos cerámicos e instrumentos líticos se efectuaron expresamente para el análisis de partículas biosilíceas. En el caso de los fragmentos cerámicos, se seleccionaron tiestos previamente caracterizados por contener adherencias en la cara interna y/o externa, identificadas durante el análisis macroscópico para la caracterización tecnológica-funcional de los recipientes. La remoción de las adherencias se efectuó en forma mecánica bajo lupa binocular Nikon SMZ745T, procediéndose también a la extracción mecánica (raspado) de muestras de la propia pasta cerámica. Estas últimas se tomaron como control, para descartar posible contaminación a partir de partículas biosilíceas contenidas en la propia matriz de las vasijas (provenientes de las arcillas y fangos usados como materia prima y/o incorporadas como antiplástico para la manufactura cerámica).

En el caso de los instrumentos líticos, se removieron mecánicamente adherencias contenidas en las superficies activas (filos, oquedades y caras planas), procurándose también la extracción de muestras exteriores de control.

Tabla III.8 Procedencia de los sedimentos analizados del sitio CH2D01

Sitio	Excavación	Profundidad (cm)	Observaciones
CH2D01	B1	0-10	Sub. III Muestras guardadas para zaranda de agua
		20-25	
		40-45	
		60-65	
		70-75	
		75-80	
		80-85	
		85-90	
		90-95	
		95-100	
		100-105	
		105-110	
		110-115	
		115-120	
		120-125	
		125-130	
		130-135	
		10-20	Sub. III. Muestreo de perfil sedimentario Columna A
		30-40	
		50-60	
		70-80	
		90-100	
		110-120	
		130-140	
		150-160	Sub. III. Muestreo de perfil sedimentario Columna B
		10-20	
		30-40	
		50-60	
		70-80	
		90-100	
		110-120	
		130-140	

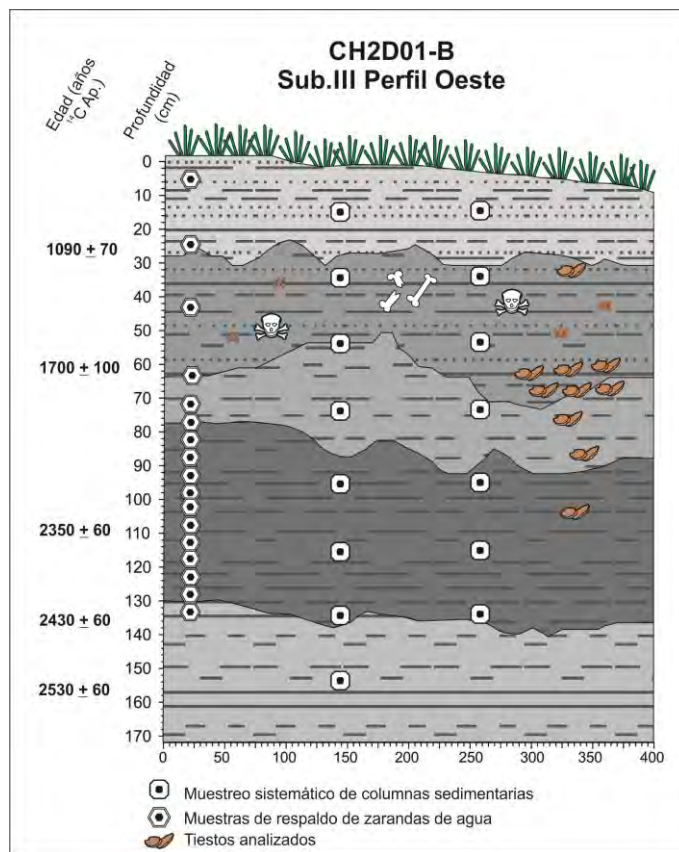


Figura III.6 Representación del contexto estratigráfico, cronológico y arqueológico de los sedimentos y artefactos analizados del sitio CH2D01 Excavación B1.

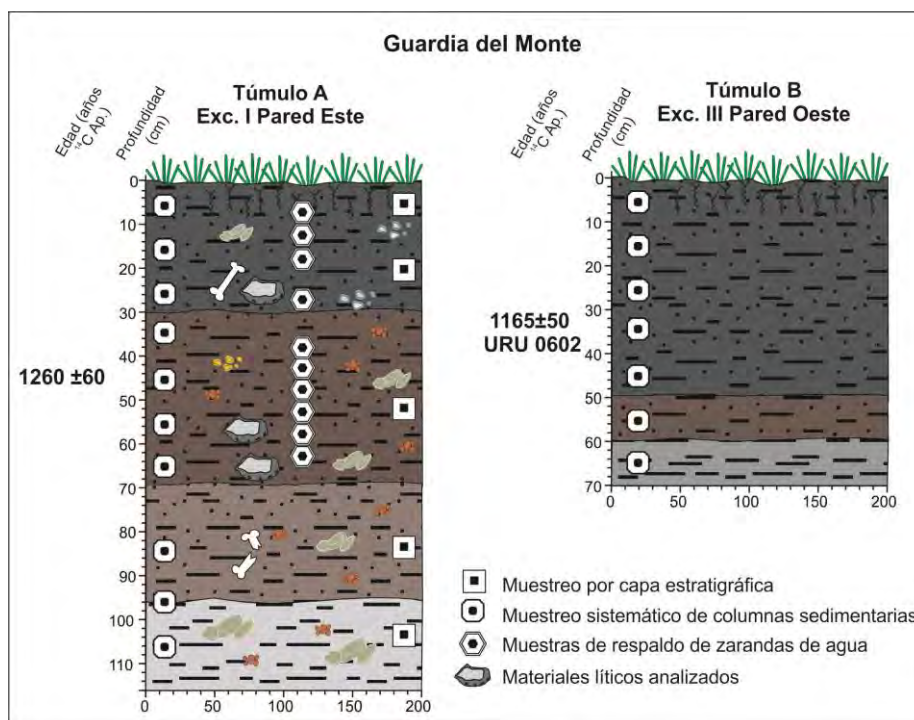


Figura III.7 Representación del contexto estratigráfico, cronológico y arqueológico de los sedimentos y artefactos analizados del sitio Guardia del Monte.

Tabla III.9 Procedencia de los sedimentos analizados del sitio Guardia del Monte

Sitio	Excavación	Profundidad (cm)	Observaciones
Guardia del Monte		5-10	Muestras zaranda H2O
		10-15	
		15-20	
		25-30	
		35-40	
		40-45	
		45-50	
		50-55	
		55-60	
		60-65	
	IA	0-10	Muestreo sistemático de perfil sedimentario Pared Este
		10-20	
		20-30	
		30-40	
		40-50	
		50-60	
		60-70	
		80-90	
		90-100	
		100-110	
		0-10	Muestreo por capas estratigráficas Pared Este
		10-30	
		30-70	
		70-105	
		105-115	
	IIIB	0-10	Muestreo sistemático de perfil sedimentario Pared Oeste
		10-20	
		20-30	
		30-40	
		40-50	
		50-60	
		60-70	

Tabla III.10 Procedencia de los sedimentos analizados del sitio Cráneo Marcado

Sitio	Excavación	Profundidad (cm)	Observaciones
Cráneo Marcado	IIIB	5-10	Muestras zaranda de agua
		10-15	
		15-20	
		25-30	
		30-35	
		40-45	
		60-65	
		75-80	
		0-17	
		17-35	
	IIA	35-51	Muestreo por capas estratigráficas Pared Sur
		51-72	
		72-93	
		93-110	
		0-10	
		10-20	
		20-30	
		30-40	
		40-50	
		50-60	
		60-70	
		70-80	
		90-106	

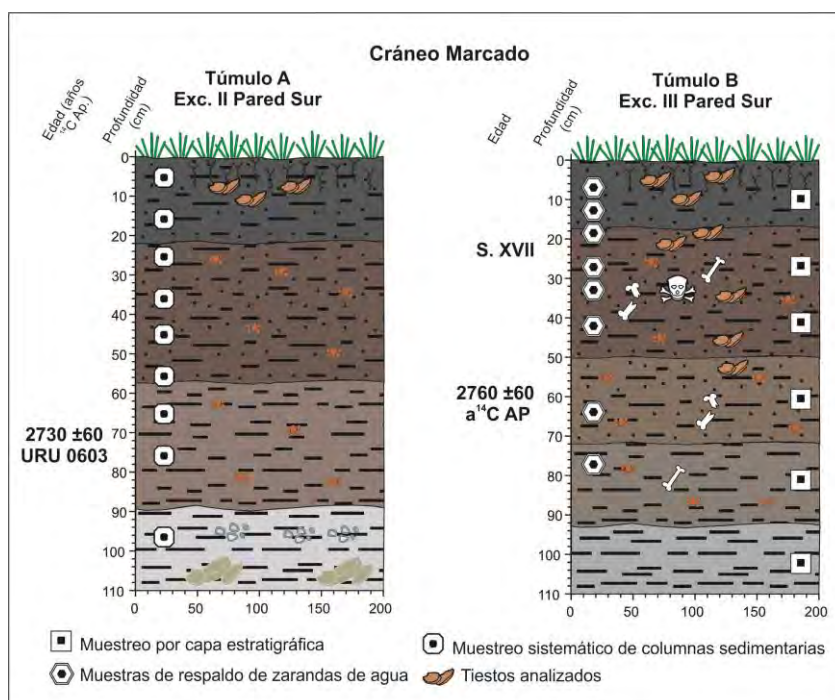


Figura III.8 Representación del contexto estratigráfico, cronológico y arqueológico de los sedimentos y artefactos analizados del sitio Cráneo Marcado.

Tabla III.11 Procedencia de los materiales cerámicos y líticos sobre los que se efectuaron análisis biosilíceos

Sitio	Exc.	Sector	Prof.(cm)	Material	Id	Extracciones	Obs
CH2D01	B1	6H	30-35	Cerámica	CH2D01-7	Cara interna (CI), externa (CE) y pasta (P)	
		9F	60-65		CH2D01-1		
		6H	60-65		CH2D01-6		
		1E	60-65		CH2D01-10		
		10H	65-70		CH2D01-3		
		9F	65-70		CH2D01-4		
		9F	65-70		CH2D01-5		
		2D	75-80		CH2D01-2		
		9R	85-90		CH2D01-8		
Cráneo Marcado	IIA	4S	100-105		CH2D01-9	CI, CE, P	Siglado 2c Siglado 4c
		A4	5-10	Cerámica	CMII-1		
		C4	5-10		CMII-2		
	IIIB	C3	5-10		CMII-3		
		E5	5-10		CMIII-1		
		F5	5-10		CMIII-6		
		Limp.perf	10-15		CMIII-4		
		A2	15-20		CMIII-2		
		F3	30-35		CMIII-5		
Guardia del Monte	IA	E4	45-50	Lítico	CMIII-3	Superficie activa (SA) e inactiva (SI)	Borde Mortero pieza 19 Mano de moler Piedra con hoyuelo
		E4	50-55		CMIII-7		
		H3	25-30		GMI-L3		
		I3	55-60		GMI-L1		
		D2	60-65		GMI-L2		

Procesamiento

Para la extracción de las partículas biosilíceas, las muestras sedimentarias se procesaron siguiendo los pasos detallados en el Apartado II.2. Con las adherencias y muestras de control recuperadas en los materiales arqueológicos, se llevó a cabo un procedimiento más delicado, evitando los ataques ácidos violentos. Si bien las partículas biosilíceas no se ven afectadas por la oxidación química, las muestras de adherencias pueden contener vestigios orgánicos (como gránulos de almidón) susceptibles a dicho tratamiento y cuya preservación es de interés para el desarrollo de investigaciones complementarias. En consecuencia, se procedió a desagregar las adherencias mediante baño de ultrasonido con hexametáfosfato de sodio y a sucesivos lavados con agua destilada hasta obtener muestras suficientemente limpias y desagregadas como para ser observadas bajo microscopio (Capdepon et al. 2002).

Observación y análisis

Para la observación microscópica se montaron preparados fijos y móviles de las 150 muestras, utilizando Entellan y aceite de inmersión respectivamente. Los preparados fueron observados en microscopio Nikon Eclipse 50i a 400 y 1000 magnificaciones. Se observaron entre 300 y 500 partículas por muestra, de acuerdo al cálculo de muestra mínima. Se procedió a la captura y digitalización de imágenes microscópicas, mediante cámara Micrometrics 519CU.

Para la identificación y clasificación de silicofitolitos, se utilizó la clave elaborada en base a la colección de referencia, con aportes de distintos trabajos taxonómicos a nivel regional y global (Anexos I y II).

Para la identificación de fitolitos de *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* y *Cucurbita* spp., se llevaron a cabo análisis morfométricos con el software Image Tool 3.0. La identificación de fitolitos de hoja de maíz se efectuó de acuerdo a los criterios desarrollados en el Apartado III.2. Para la determinación de morfotipos pertenecientes a *Phaseolus vulgaris* se siguieron los criterios establecidos por Bozarth (1990) y para la caracterización de fitolitos de cucurbitáceas se tomaron como referencia los parámetros morfométricos definidos por del Puerto et al (2000), Piperno et al. (2000), Piperno y Stothert (2003) y el material de la colección (Anexo II).

A partir de las observaciones efectuadas sobre el material sedimentario, se identificaron Zonas de Asociación de Silicofitolitos (ZAS) mediante una *Stratigraphically Constrained Clustering*, utilizando el índice de Morisita para medir la fuerza de asociación. Para ello se empleó el software PAST. 3.0 (Hammer et al. 2001).

III.3.3 Resultados

CH2D01 B

Material sedimentario

En la Figura III.9 se presenta la distribución vertical de abundancias relativas de los distintos morfotipos identificados en el material sedimentario, agrupados taxonómicamente y con distinción de la procedencia de cada muestra. En la Figura III.10 se presenta la distribución vertical de abundancia relativa de cada grupo taxonómico y de otras partículas biosilíceas, junto a la zonificación resultante del *Stratigraphically Constrained Clustering*. En la Figura III.11 se ilustran algunos ejemplos representativos de distintas partículas biosilíceas identificadas.

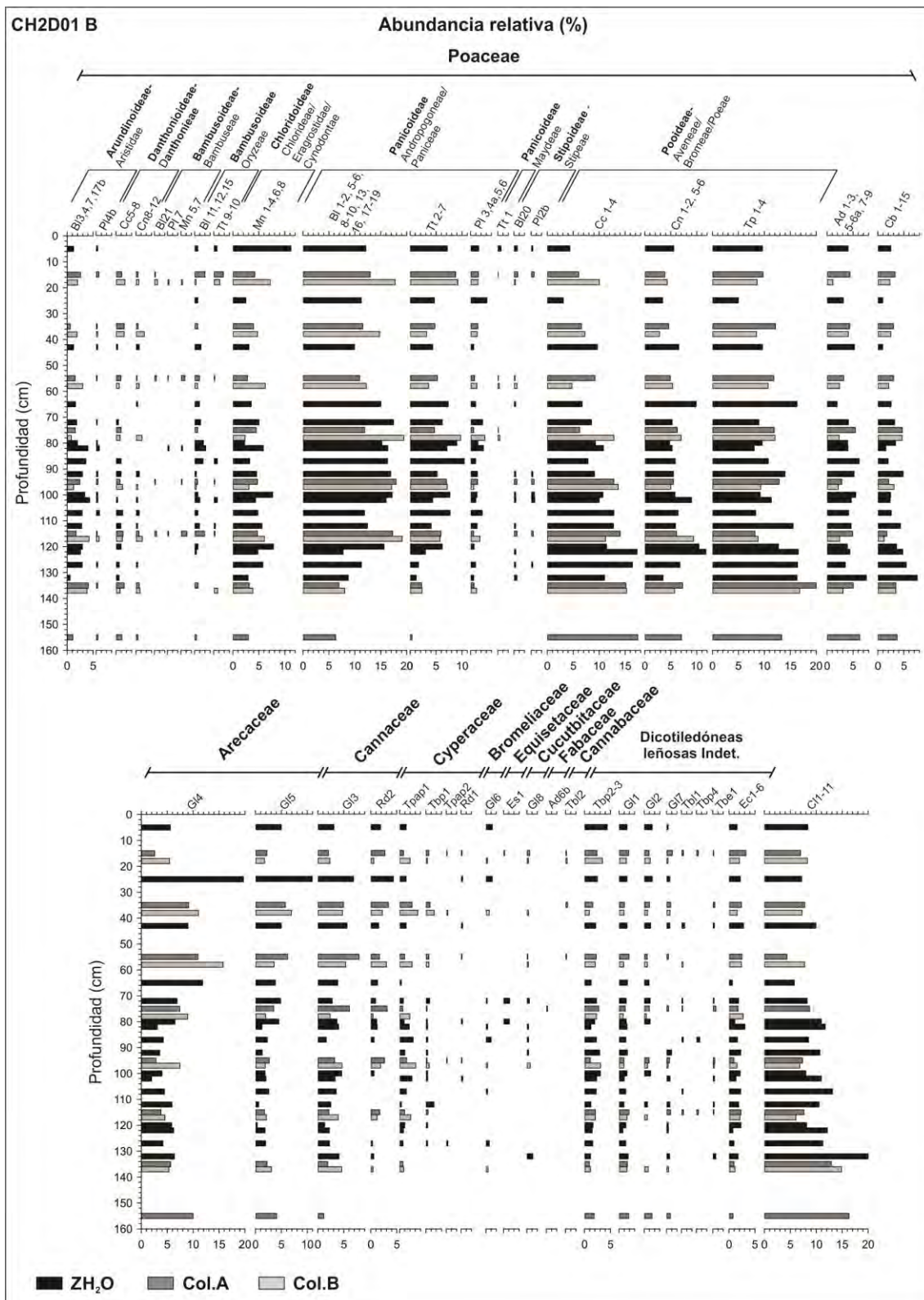


Figura III.9 Distribución vertical de abundancias relativas de los distintos morfotipos identificados en las muestras sedimentarias de CH2D01 B agrupados taxonómicamente. Los colores de las barras refieren a la procedencia de cada muestra (Tabla III.8 y Figura III.6).

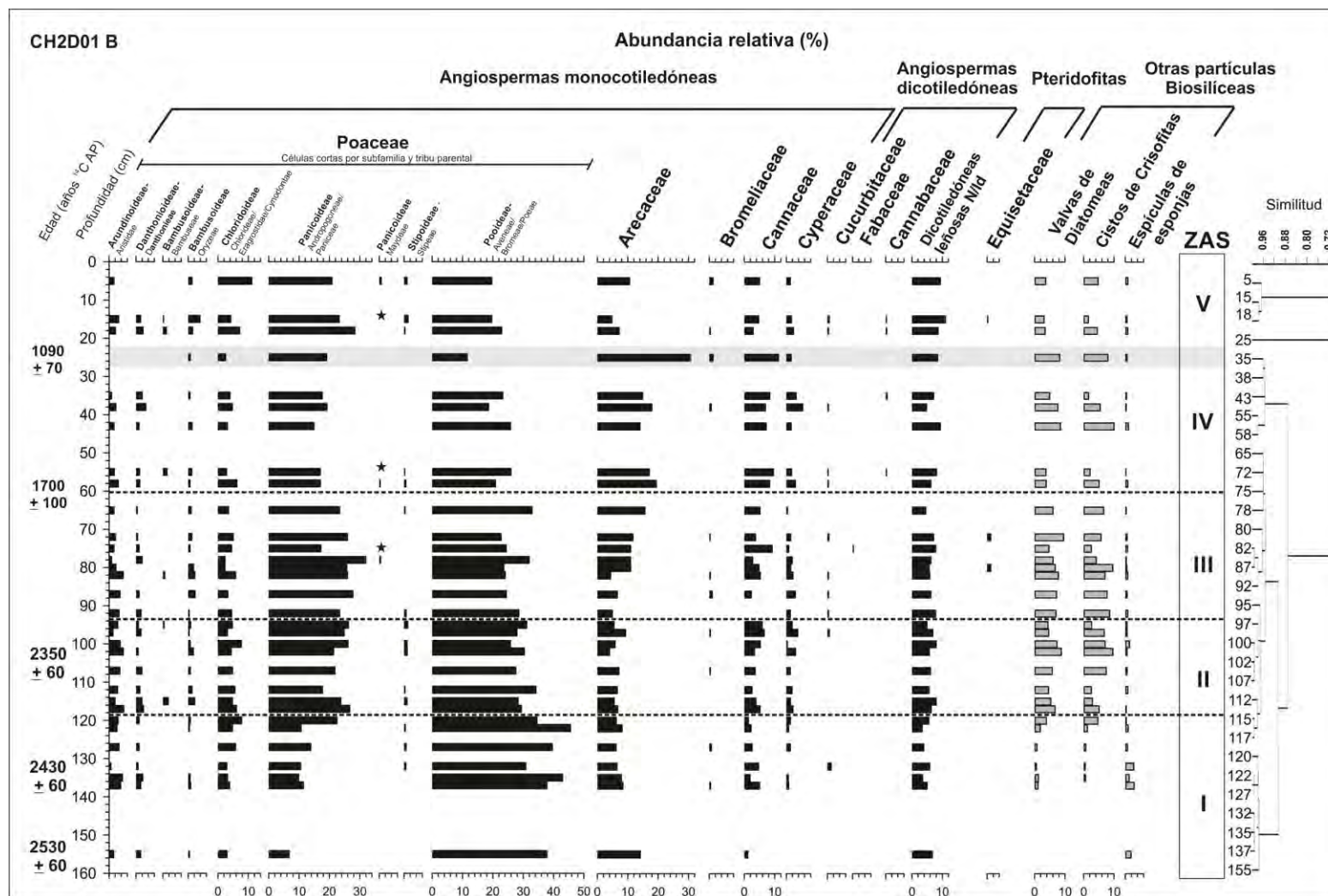


Figura III.10. Distribución vertical de abundancias relativas de los grupos taxonómicos y de otras partículas biosilíceas identificados en el material sedimentario de CH2D01 B, junto a la zonificación resultante del *Stratigraphically Constrained Clustering*.



Figura III.11. Imágenes ilustrativas de los principales tipos de partículas biosilíceas identificadas en el material sedimentario de CH2D01 B: a-b) tetralobados (Tt1) atribuibles a hoja de maíz; c-d) subglobulares facetados (Gl8) de fruto de cucurbitáceas; e) apéndice dérmico (Ad6b) asignable a *Phaseolus* sp.; f) tabular papilado (Tpap1) característico de ciperáceas; g) globulares equinados (Gl4) de palmeras; h-i) esférico radiado (Rd2) y globular granuldo (Gl3) de cannáceas; j) esqueleto silíceo de equisetáceas (Es1); k) globular lisa >12µm (Gl1) de dicotiledónea leñosa; l) tabulares poliédricos de superficie rugosa (Tpb3) característicos de dicotiledóneas leñosas; m) tabular lobulado en forma de pieza de puzzle con superficie equinada (Tbl2), propio de fruto de *Celtis* sp.; n-p) otras partículas biosilíceas como valvas de diatomeas (n y o) y cistos de crisofitas (p).

Se identificaron cinco Zonas de Asociación de Silicofitolitos (ZAS):

ZAS I: se extiende entre los 155 y 120 cm. Cuenta con dos fechados radiocarbónicos que la ubican entre ~ 2500 y 2300 a¹⁴C AP. Se caracterizó por el amplio predominio de fitolitos de gramíneas, principalmente del grupo de las pooides (~50%). Entre los potenciales recursos identificados, se destaca la presencia de morfotipos de oríceas, así como de palmeras, bromeliáceas, cannáceas, ciperáceas, cucurbitáceas y dicotiledóneas leñosas no identificadas. Además de silicofitolitos, se registraron bajas abundancias de otras partículas biosilíceas, como valvas de diatomeas, cistos de crisofitas y espículas de espongiarios (III.10).

ZAS II: sector comprendido entre los 119 y 94 cm, con un fechado radiocarbónico de 2350 a¹⁴C AP. Si bien mantuvo el predominio de fitolitos de gramíneas, se caracterizó por el incremento de morfotipos atribuidos a gramíneas andropogóneas y paníceas (subfamilia Panicoidae) y la disminución de aquellos correspondientes a taxones pooides (tribus Aveneae, Bromeae y Poeae). Se continuaron registrando fitolitos de los otros grupos taxonómicos reportados previamente, con un leve incremento en la abundancia relativa de oríceas, cannáceas, ciperáceas y dicotiledóneas leñosas. Asimismo, a esta zona corresponde el primer registro de gramíneas de la tribu Bambuseae (cañas). Otra característica de esta ZAS está dada por un marcado incremento de la representación proporcional de otras partículas biosilíceas, principalmente de valvas de diatomeas y cistos de crisofitas, que alcanzaron a representar en conjunto un 20% del total de partículas biosilíceas observadas.

ZAS III: abarca entre los 93 y 60 cm de profundidad, con un fechado hacia el tope de la zona de 1700 a¹⁴C AP. Presentó características similares a la zona anterior, diferenciándose por el incremento de morfotipos de palmas y cannáceas, así como por el registro de nuevos taxones. Entre ellos se destaca la presencia de silicofitolitos atribuidos a hojas de maíz (Panicoidae – Maydae) cuyas características morfométricas se detallan en la tabla III.12. Asimismo, se registró un micropelo unicelular de cuerpo cilíndrico y extremos aguzado (Ad6b) cuyas dimensiones (5,19 µm de ancho a 6 µm de la punta) permitieron asignarlo a *Phaseolus* sp. (Fabaceae). También se obtuvo el primer registro de equisetáceas en esta zona.

ZAS IV: se extiende entre los 59 y 31 cm de profundidad, ubicándose cronológicamente entre ~1700 y 1100 a¹⁴C AP. Se halla definida por la disminución de fitolitos panicoides y el aumento de pooides, así como por la mayor representación de arecáceas y cannáceas. Se continuaron registrando los taxones referidos para la zona anterior, exceptuando *Phaseolus* sp. (Fabaceae) y *Equisetum* sp. (Equisetaceae). Se registraron morfotipos tabulares lobulados en forma de pieza

de puzle y con superficie equinada (Tbl2) característicos de la semilla de *Celtis* sp. (Cannabaceae), constituyendo el primer registro de este género en la secuencia estratigráfica.

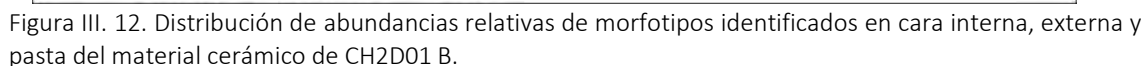
Entre la ZAS IV y la V se registró una muestra azonal, procedente del sector comprendido entre los 30 y 20 cm de profundidad y con una cronología próxima al 1090 a¹⁴C AP. Su característica más distintiva es la alta representación de fitolitos de palmeras, que superan el 30% de la abundancia relativa del total de fitolitos. También se registró la disminución de fitolitos pooides y el incremento de morfotipos de cannáceas, al tiempo que no se observó la presencia de formas atribuibles a bambusas, maydeas, cucurbitáceas, fabáceas, cannabáceas ni equisetáceas.

ZAS V: comprende los 20 cm superiores del perfil estratigráfico, con una cronología posterior al ~1000 a¹⁴C AP. A excepción de las fabáceas, todos los taxones referidos en las ZAS anteriores están presentes en esta zona, co-dominando las gramíneas panicoides y pooides. Se constató una disminución en la representación de fitolitos de palmeras y cannáceas, así como de otras partículas biosilíceas registradas.

Tabla III.12 Características morfométricas de los fitolitos tetralobados atribuidos a hoja de *Zea mays* relevados en el material sedimentario de CH2D01 B

Muestra	Prof. (cm)	Medidas (µm)				% Simetría			
		Largo Máx.	Ancho Máx.	Largo cuerpo	Ancho cuerpo	Dif. máximos	Dif. Cuerpo	Total (1)	Cuerpo (2)
Z 0-10	5	17,02	16,01	7,61	7,1	1,01	0,51	5,93	6,70
		19,43	16,09	8,57	7,84	3,34	0,73	17,19	8,52
		21,5	21,44	13,67	13,67	0,1	0,0	0,3	0,0
		15,71	15,49	9,08	8,95	0,2	0,1	1,4	1,4
2A	15	14,64	14,49	9,65	8,87	0,2	0,8	1,0	8,1
		18,84	15,94	10,18	9,23	2,9	0,9	15,4	9,3
		15,91	15,45	7,76	7,11	0,5	0,6	2,9	8,4
4A	35	14,94	14,42	8,09	7,48	0,5	0,6	3,5	7,5
		19,27	18,45	12,21	11,7	0,8	0,5	4,3	4,2
6A	55	18,57	15,33	12,39	11,78	3,2	0,6	17,4	4,9
		15,42	15,13	10,05	9,11	0,3	0,9	1,9	9,4
6B	55	16,61	16,32	8,32	8,1	0,29	0,22	1,75	2,64
8A	75	14,49	14,16	9,04	8,65	0,3	0,4	2,3	4,3
		17,23	16,68	12,55	11,7	0,6	0,9	3,2	6,8
8B	75	14,55	14,24	7,53	7,01	0,31	0,52	2,13	6,91
Media		16,94	15,98	9,78	9,22	0,97	0,56	5,37	5,94
DS		2,15	1,87	2,02	2,06	1,16	0,28	6,02	2,91

En las Figuras III.12 y III.13 se presentan gráficamente las abundancias relativas de morfotipos y taxones identificados en el material cerámico analizado. Imágenes ilustrativas de las principales partículas identificadas se presentan en la Figura III.14.



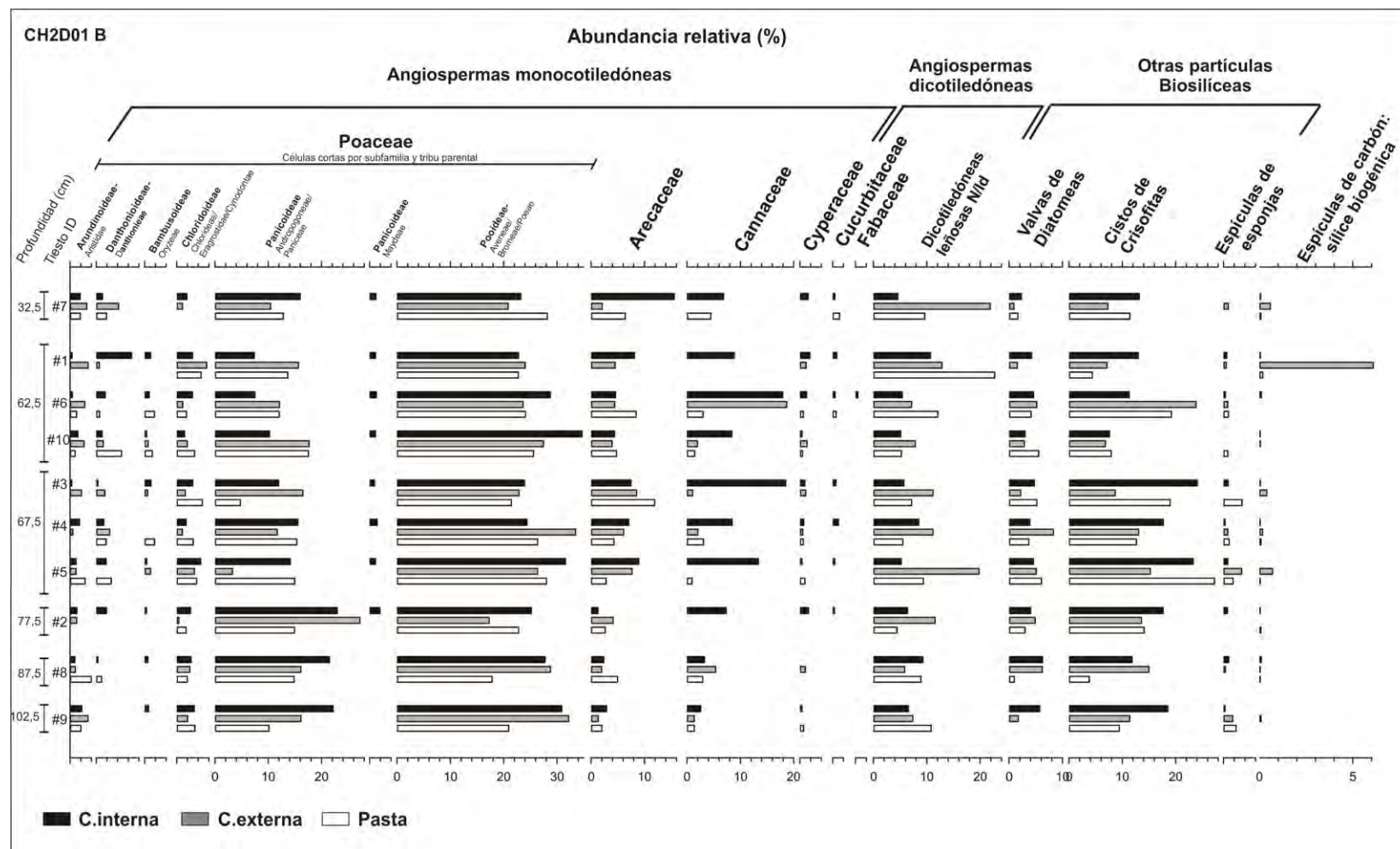


Figura III.13. Distribución de abundancias relativas de los grupos taxonómicos de fitolitos y otras partículas identificadas en cara interna, externa y pasta del material cerámico de CH2D01 B.

Entre los principales resultados se destaca el registro de fitolitos producidos en grano y marlo de maíz (Bl19, Tt8, Pl8 y Cn4) en adherencias de la cara interna de los tiestos #1 a 7 y 10. Estos morfotipos no fueron observados en la matriz sedimentaria del túmulo ni en las otras extracciones efectuadas en los tiestos. Sin embargo, en la secuencia sedimentaria analizada se observaron fitolitos de hoja de maíz en los 80 cm superiores del perfil estratigráfico (Figura III.12 y III.14), lo que es consistente con los niveles de procedencia de los tiestos con identificación positiva de fruto de maíz.

Junto al maíz, en la cara interna del tiesto #6 se observó la presencia de micropelos unicelulares del tipo Ad6b (Anexo I) atribuibles a *Phaseolus* sp. (Figuras III.13 y III.14). Constituye el único registro de este morfotipo en las extracciones del material cerámico, aunque se cuenta con un registro puntual en la columna sedimentaria de la estructura monticular (Figura III.10).

Fitolitos de cucurbitáceas se registraron en siete de los tiestos analizados. En cinco de los tiestos, la observación de morfotipos globulares facetados característicos de cucúrbitas se produjo únicamente en las extracciones de la cara interna. En los dos casos restantes (tiestos #6 y 7) se registraron tanto en las extracciones de la cara interna como de la propia pasta cerámica (Figura III.12). Las características morfométricas se presentan en la Tabla III.13.

Morfotipos típicos de *Canna* sp. (Gl3 y Rd2) se observaron en gran abundancia en las muestras cerámicas, con mayor representación (o presencia exclusiva) en la cara interna de los recipientes. Los valores de abundancia (hasta 20%) duplican la representación observada en las muestras sedimentarias del túmulo. Con frecuencia se presentaron varios elementos articulados (Figura III.14). En forma similar, fue frecuente la observación de masas semi-fundidas de fitolitos globulares de superficie lisa con escasas proyecciones equinadas, característicos del fruto de *Butia odorata* (Figura III.14). Se observaron principal o exclusivamente en la cara interna de los tiestos (Figura III.13).

En las extracciones de las caras externas fueron abundantes los fitolitos de dicotiledóneas leñosas, así como tejidos silicificados de gramíneas y fitolitos quemados. También fue común observar la presencia de espículas de carbón, en relaciones de abundancia que en varios casos igualaron o incluso superaron ampliamente (Tiesto #1) la representación de partículas biosilíceas.

Finalmente, en todas las extracciones se reportó la presencia de otra sílice biogénica, representada principalmente por cistos de crisofitas (Figuras III.13 y III.14). Sus valores de abundancia relativa duplican los guarismos registrados en la matriz sedimentaria del túmulo. No

obstante, no se observó una tendencia diferencial entre las distintas extracciones para cada tiesto, estando presentes en cara interna, externa y pasta.

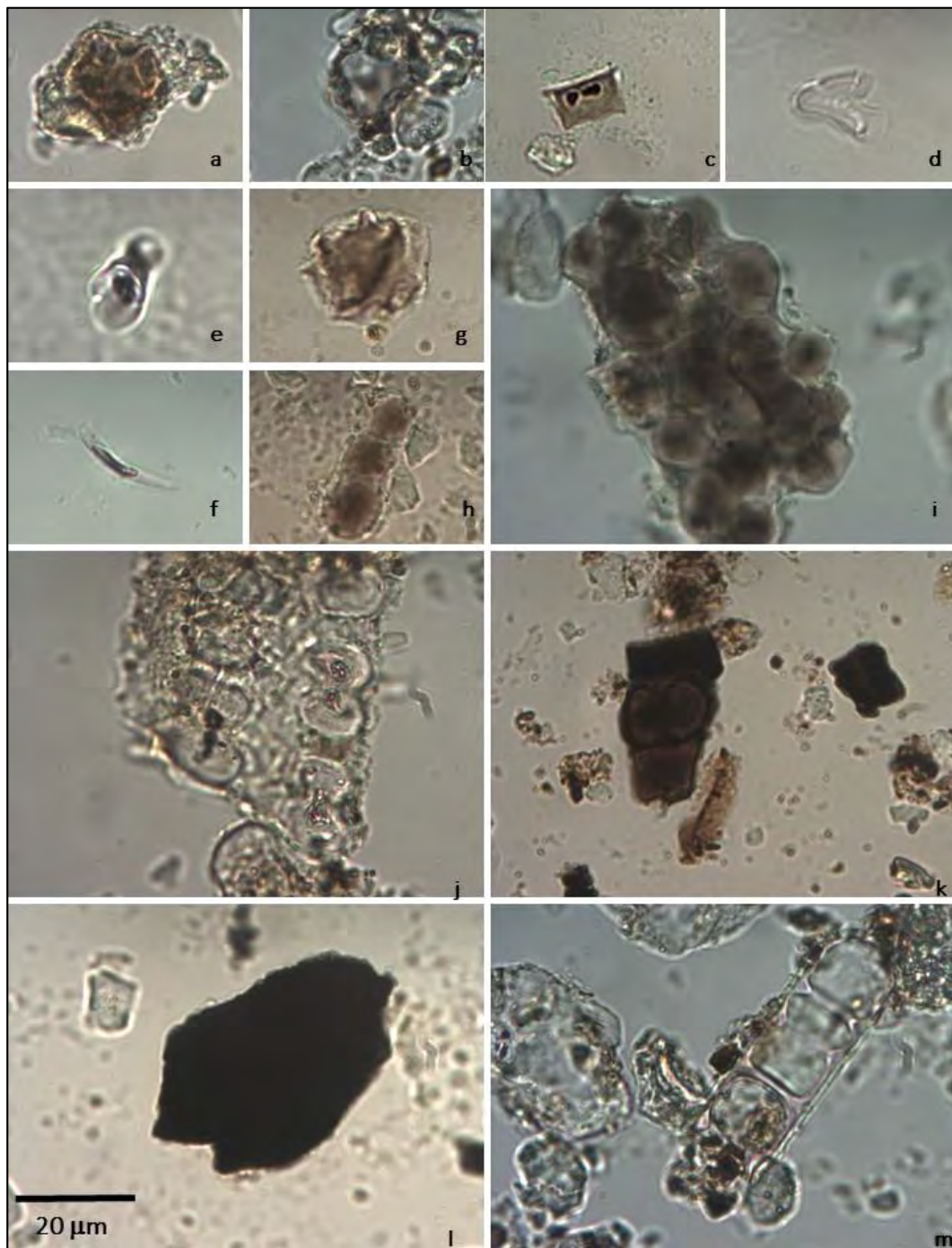


Figura III.14. Imágenes ilustrativas de las partículas características observadas en las extracciones efectuadas sobre material cerámico de CH2D01 B: a-b) subglobulares facetados de cucurbitáceas (Gl8); c-e) células cortas (Cn4 y Tt8) producidas en marlo y grano de maíz; g-h) esférico radiado (Rd2) y globulares granulados (Gl3) atribuibles a cannáceas; i) conjunto de morfotipos globulares lisos con escasas proyecciones equinadas (Gl4) típicos de fruto de *Butia odorata*; j) fragmento de tejido epidérmico silicificado de gramíneas, con presencia de morfotipos bilobados; k-l) fitolitos termoalterados (k) y espículas de carbón (l) frecuentemente observados en las adherencias de cara externa; m) valvas articuladas de diatomeas registradas en cara interna de varios tiestos.

Tabla III.13 Características morfométricas de los fitolitos subglobulares facetados atribuibles a *Cucurbitaceae* identificados en muestras del sitio CH2D01 B.

<i>Sedimentos</i>				<i>Tiestos</i>			
Prof. (cm)	Muestra	Largo (μm)	Ancho (μm)	Prof.(cm)	Muestra	Largo (μm)	Ancho (μm)
15	2A	14,66	11,24	32,5	7i	14,07	12,72
15	2A	13,88	12,27	32,5	7p	15,76	14,11
15	2A	14,36	13,22	32,5	7p	14,77	14,76
15	2B	13,88	9,83	62,5	1i	9,52	8,89
15	2B	17,55	14,95	62,5	1i	14,13	11,38
35	4B	13,01	10,2	62,5	6i	7,04	6,76
55	6A	13,7	11,85	62,5	6p	10	9,91
55	6B	16,5	14,2	62,5	10p	14,5	12,3
72,5	Z 70-75	12,42	10,85	62,5	10p	17,25	15,4
72,5	Z 70-75	12,9	12,43	62,5	10p	12,8	11,7
82,5	Z 80-85	15,57	14,22	67,5	3i	17,44	11,88
87,5	Z 85-90	7,44	7,21	67,5	3i	12,92	10,44
92,5	Z 90-95	11,73	8,33	67,5	4i	18,02	17,81
95	10B	18,96	14,39	67,5	4i	13,87	13,36
95	10B	13,24	13,1	67,5	4i	18,07	14,39
115	12A	15,85	13,43	67,5	5i	13,95	10,27
132,5	Z 130-135	12,06	11,05	77,5	2i	16,13	13,58
132,5	Z 130-135	12,77	12,58				
Media		13,9	12,0	Media		14,1	12,3
DS		2,5	2,1	DS		3,1	2,7

Guardia del Monte IA y IIIB

Material sedimentario

En las Figuras III.15 y III.16 se presenta gráficamente la distribución vertical de abundancia relativa de morfotipos y grupos taxonómicos de silicofitolitos y otras partículas biosilíceas identificados en el material sedimentario de la estructura A (excavación I) del sitio Guardia del Monte. En las Figuras III.17 y III.18 se presenta la misma información para el perfil estratigráfico de la estructura B (excavación III). Imágenes representativas de las partículas registradas se ilustran en la Figura III.19.

En el perfil estratigráfico de la estructura A (excavación I) se identificaron tres ZAS:

ZAS I: comprende las dos unidades estratigráficas inferiores (Figura III.7) entre los 110 y 65 cm de profundidad, cronológicamente anteriores al 1300 a¹⁴C AP. Se caracterizó por el predominio de fitolitos de gramíneas, con marcada representación de morfotipos de la subfamilia Pooideae. Las ciperáceas se hallan también bien representadas, siendo sus morfotipos registrados en todas las muestras de la ZAS, al igual que los atribuidos a palmeras y dicotiledóneas leñosas. Registros menos constantes de fitolitos de cannáceas y observaciones puntuales de morfotipos característicos de bromeliáceas, *Celtis* sp. (Cannabaceae) y cucurbitáceas completan la asociación fitolítica. A esta se suman otras partículas biosilíceas observadas, con mayor representación de cistos de crisofitas.

ZAS II: se extiende entre los 64 y los 13 cm, con un fechado de 1260 ± 60 a¹⁴C AP. Presenta una asociación fitolítica muy similar a la ZAS I, distinguiéndose por un registro más constante de cannáceas y bromeliáceas, así como por la observación puntual de apéndices dérmicos (Ad6b) asignables a *Phaseolus* sp. (Fabaceae) hacia el tope de la zona.

ZAS III: abarca los 12,5 cm superiores del perfil estratigráfico. Se caracterizó por el incremento de fitolitos de gramíneas C₄ con especial representación de morfotipos de la subfamilia Chloridoideae. También en esta zona se obtuvo el único registro de gramíneas bambusoides.

En el perfil estratigráfico de la estructura B (excavación III) también se identificaron tres ZAS:

ZAS I: Comprende las dos unidades estratigráficas basales, entre los 70 y 50 cm de profundidad. Predominaron los fitolitos correspondientes a células cortas de gramíneas, con notorio dominio de los tipos asignables a la subfamilia Pooideae. Palmeras, cannáceas, ciperáceas, cucurbitáceas y dicotiledóneas leñosas completan la asociación, junto a otras partículas biosilíceas entre las que dominaron las espículas de espongiarios. También se registró una alta concentración de partículas de carbón (Figuras III.18 y III.19).

ZAS II. Se extiende entre los 50 y 10 cm de profundidad, con un fechado en su interior de 1165 ± 50 a¹⁴C AP. Se diferencia de la zona anterior por la disminución de fitolitos pooides y el incremento de panicoides, dentro de los que se registraron morfotipos atribuibles a *Zea mays* (Tabla III.14, Figuras III. 17 a III.19).

ZAS III: comprende los 10 cm superiores del perfil, que incluyen el tapiz vegetal actual. Se distinguió por el marcado registro de gramíneas clorídeas.

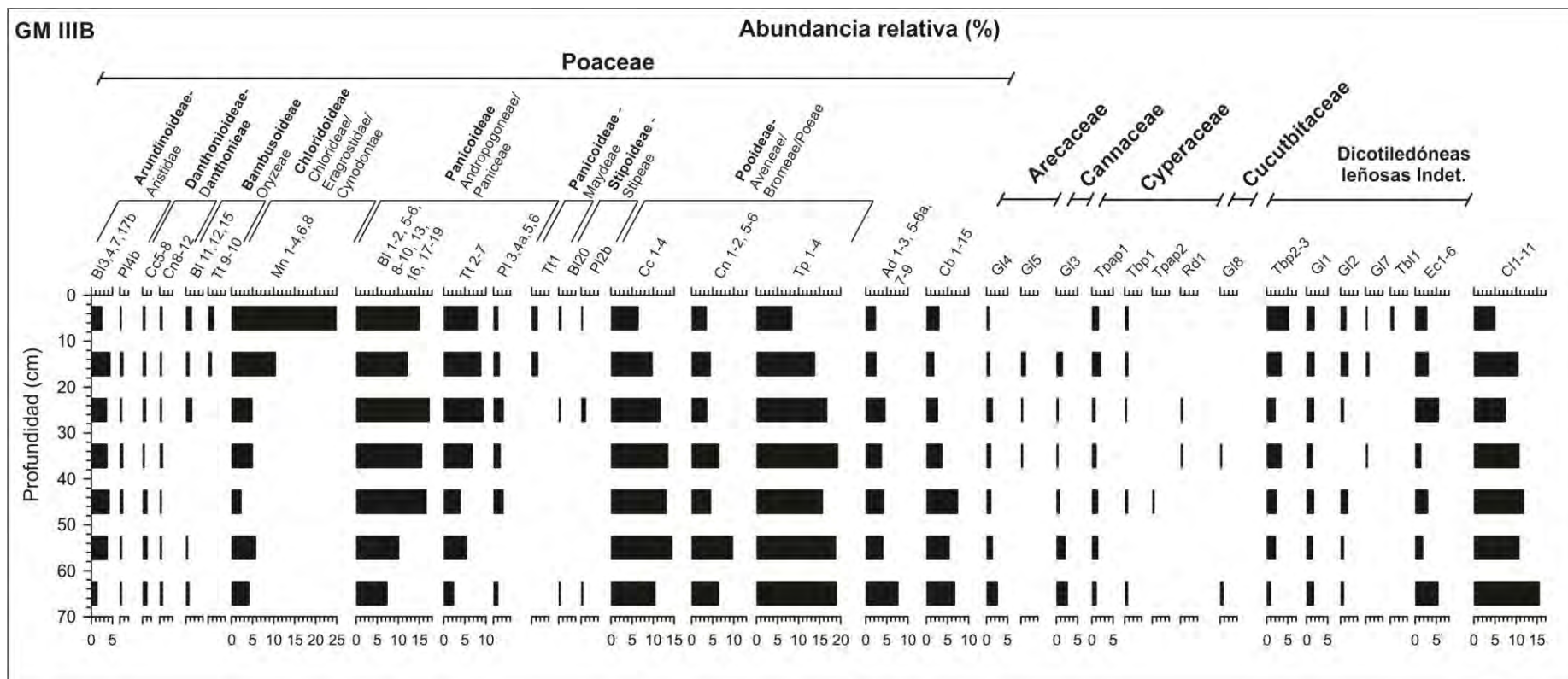


Figura III. 17. Distribución vertical de abundancias relativas de los distintos morfotipos identificados en las muestras sedimentarias de Guardia del Monte B (Exc.III) agrupados taxonómicamente.



Figura III.19. Imágenes representativas de las principales partículas identificadas en sedimentos de Guardia del Monte IA y IIIB: a-c) fitolitos tetralobados asignables a maíz; d-f) subglobulares facetados de cucurbitáceas; j-l) morfotipos producidos en tallo (j), rizoma (k) y fruto (l) de ciperáceas; m) globular equinado de palmera; n-m) valvas de diatomeas.

Tabla III.14 Características morfométricas de los fitolitos tetralobados identificados como pertenecientes a *Zea mays* en muestras sedimentarias de Guardia del Monte IIIB

Prof. (cm)	Medidas (µm)					% Simetría		
	Largo Máx.	Ancho Máx.	Largo cuerpo	Ancho cuerpo	Dif. máximos	Dif. Cuerpo	Total (1)	Cuerpo (2)
5	14,47	14,41	7,9	7,86	0,06	0,04	0,41	0,51
	18,55	14,42	5,76	5,67	4,13	0,09	22,26	1,56
	14,8	14,68	7,32	6,86	0,12	0,46	0,81	6,28
	22,63	21,73	8,03	7,41	0,9	0,62	3,98	7,72
	19,69	18,87	12,42	11,31	0,82	1,11	4,16	8,94
	14,66	14,57	6,23	5,72	0,09	0,51	0,61	8,19
15	18,59	15,53	8,47	7,7	3,06	0,77	16,46	9,09
	16,18	15,61	5,53	4,98	0,57	0,55	3,52	9,95
	15,96	15,58	10,4	9,59	0,38	0,81	2,38	7,79
Media	17,28	16,16	8,01	7,46	1,13	0,55	6,07	6,67
DS	2,78	2,51	2,24	2,01	1,46	0,34	7,81	3,37

Material Lítico

En la Figura III.20 se presentan imágenes ilustrativas de las principales partículas identificadas en el material lítico analizado, mientras que en la Figura III.21 se expresan gráficamente las abundancias relativas de morfotipos y taxones identificados en las extracciones efectuadas sobre los instrumentos y en la matriz sedimentaria que los contenía.

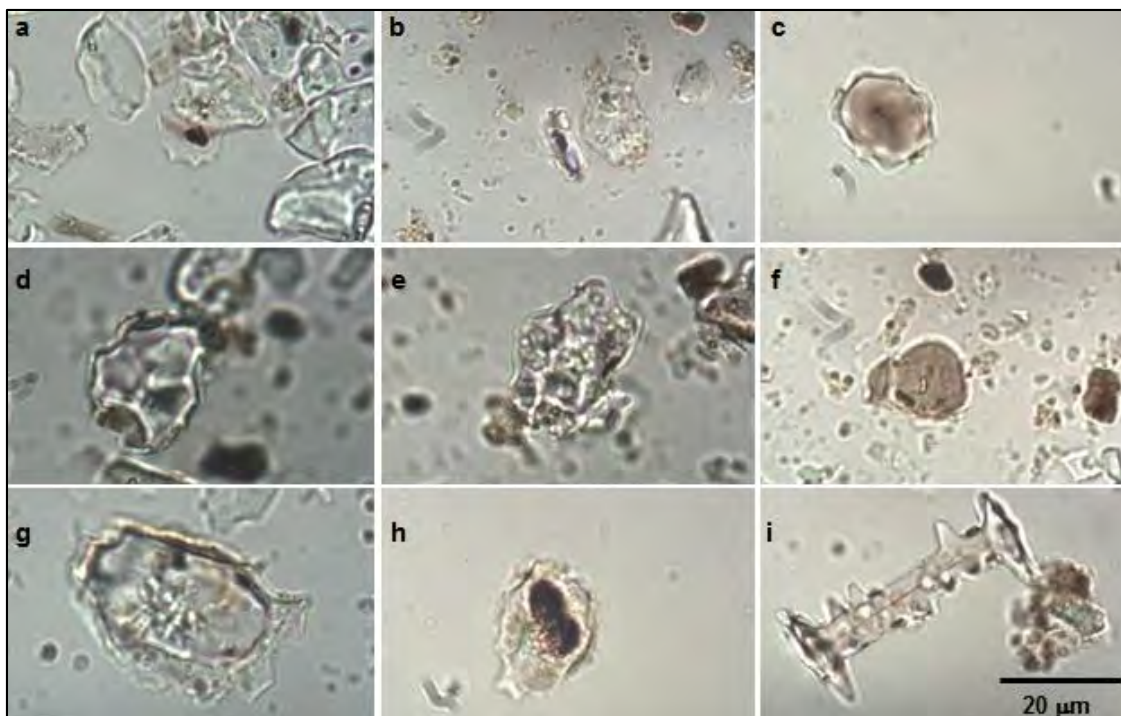


Figura III.20. Imágenes ilustrativas de las partículas observadas en la superficie activa de los materiales líticos analizados de Guardia del Monte IA: a-b) morfotipos atribuibles a fruto y semilla de maíz; c) fitolito de palmera; d-e) morfotipos globulares facetados de cucúrbitas; f) cistolito; g-h) fitolitos de rizomas de ciperáceas; i) espícula de espongiario.

Entre los resultados obtenidos se destaca el hallazgo, aunque con escasa representación, de morfotipos correspondientes a marlo y granos de maíz (Tt8, Pl8 y Cn4) en la superficie activa del fragmento de mortero identificado como L3. Estos morfotipos no fueron observados en la superficie inactiva ni en la matriz sedimentaria que contenía al instrumento, así como tampoco en las muestras sedimentarias del perfil estratigráfico analizado en la excavación IA (Figuras III.15 y III.16). Junto a estos morfotipos se registraron fitolitos subglobulares facetados atribuibles a cucúrbitas (Tabla III.15), los cuales tampoco fueron observados en la superficie inactiva y en la matriz. Finalmente, también se destaca para este instrumento la mayor abundancia relativa de fitolitos de dicotiledóneas en la superficie activa.

Los otros dos instrumentos no reportaron diferencias destacables entre las asociaciones fitolíticas registradas en las superficies activas y en las muestras de control (superficie inactiva y/o matriz sedimentaria). Ninguna de las asociaciones presentó morfotipos ausentes en los controles o presentes pero en abundancias notoriamente inferiores.

Tabla III.15 Características morfométricas de los fitolitos subglobulares facetados atribuibles a *Cucurbitaceae* identificados en muestras del sitio Guardia del Monte.

Excavación	Material	Prof. (cm)	Muestra	Largo (μm)	Ancho (μm)
GMI A	Sedimentos	5	C M5	21,63	14,29
			C M5	14,32	13,1
		7,5	Z 5-10	12,31	10,55
			PE M8	10,05	7,32
		35	PE M8	21,89	18,99
			Z 35-40	17,45	16,42
	Instrumentos líticos	65	PE M5	23,51	13,68
			L3 SA	11,14	9,75
		27,5	L3 SA	20,54	14,31
			L3 SA	19,15	9,94
			L3 SA	20,32	17,33
			L3 SA	7,04	5,37
			L3 SA	16,33	13,91
			L3 SA	16,33	13,91
GM III B	Sedimentos	35	30-40	14,85	11,08
		65	60-70	21,49	17,76
				34,64	27,12
Media				17,92	13,81
DS				6,58	5,18

Cráneo Marcado IIA y IIIB

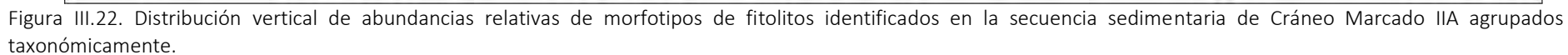
Material sedimentario

En las Figuras III.22 a III.25 se presenta gráficamente la distribución vertical de abundancia relativa de morfotipos y grupos taxonómicos de silicofitolitos y otras partículas biosilíceas identificados en el material sedimentario de las estructuras A (excavación II) y B (excavación III) del sitio Cráneo Marcado. Imágenes de las partículas registradas se ilustran en la Figura III.26.

Las asociaciones biosilíceas identificadas en la secuencia sedimentaria de la excavación IIA permitieron identificar dos ZAS:

ZAS I: comprende el sector inferior del perfil estratigráfico, entre los 100 y 70 cm de profundidad. Cuenta con un fechado radiocarbónico de 2760 ± 60 a ^{14}C AP. Se caracterizó por el neto predominio de fitolitos de gramíneas, representados principalmente por células cortas de la subfamilia Pooideae. Palmeras, ciperáceas, cannáceas y dicotiledóneas leñosas completan la asociación fitolítica, junto a otras partículas biosilíceas con fuerte representación de espículas de espongiarios.

ZAS II: abarca los 70 cm superiores del perfil. Presentó una mayor riqueza de morfotipos, destacándose la presencia de células cortas de gramíneas bambusoides, así como la presencia de fitolitos de bromeliáceas y cucurbitáceas.



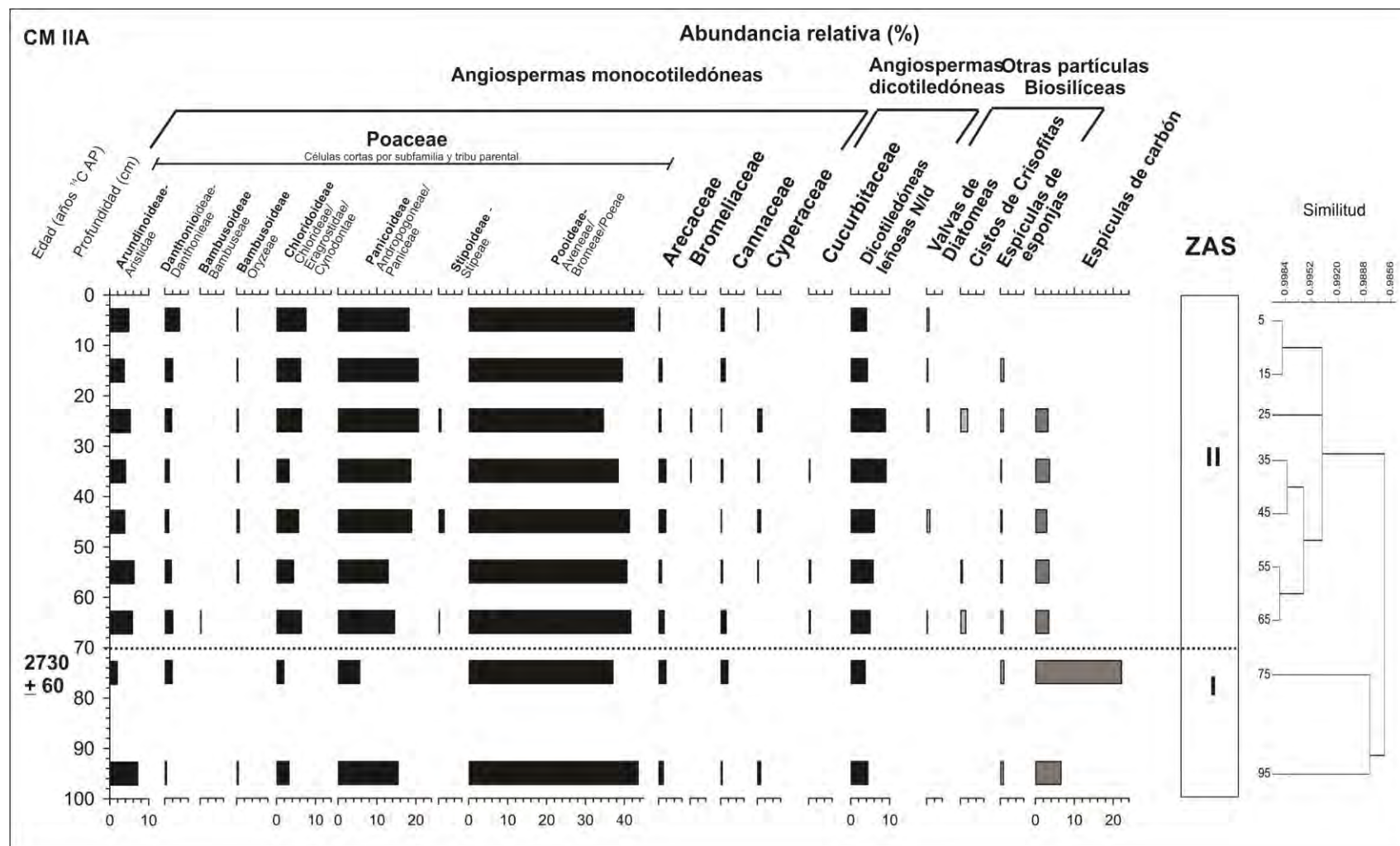


Figura III. 23. Distribución vertical de abundancias relativas de los grupos taxonómicos y de otras partículas biosilíceas en el material sedimentario de Cráneo Marcado IIA, junto a la zonificación resultante del *Stratigraphically Constrained Clustering*

En la estructura B (excavación III) se identificaron cinco zonas de asociación fitolítica:

ZAS I: corresponde a la unidad inferior del perfil estratigráfico (110-90 cm), identificada como horizonte natural pre-cerrito (Figura III.8). Se registró una muy escasa abundancia de partículas biosilíceas, entre las que dominaron los fitolitos de células cortas de gramíneas, con representación de las subfamilias Pooideae, Panicoidea y Chloridoideae. Junto a ellos se observó la presencia de morfotipos pertenecientes a dicotiledóneas leñosas, así como de otras partículas biosilíceas como valvas de diatomeas, cistos de crisofitas y espículas de espongiarios.

ZAS II: abarca las dos unidades estratigráficas suprayacentes (Figura III.8), entre los 90 y 48 cm de profundidad, con un fechado hacia el tope de la ZAS de 2760 ± 60 a ^{14}C AP. Se registró una mayor riqueza de morfotipos de fitolitos, con aportes de nuevos grupos de gramíneas entre los que se destacan, por su importancia económica, formas bambuseas, oríceas y maydeas. En relación a estas últimas, es de destacar que los escasos morfotipos observados no son los característicos de hoja, sino que se atribuyen a fruto y semilla de maíz. Estos morfotipos fueron observados en cara interna de tiestos y en la superficie activa de instrumentos líticos de los otros sitios analizados, pero no en la matriz sedimentaria. Junto a las gramíneas, en esta ZAS se registraron morfotipos de otras familias como Arecaceae, Bromeliaceae, Cannaceae, Cyperaceae y Cucurbitaceae (Figura III.26, Tabla III.16). El grupo de las dicotiledóneas leñosas sigue bien representado en esta ZAS, al igual que otras partículas biosilíceas.

ZAS III: se extiende entre los 48 y 20 cm de profundidad, correspondiendo a la segunda unidad estratigráfica identificada en la estructura (Figura III.8). Si bien no cuenta con fechados radiocarbónicos, la presencia de material histórico de contacto europeo hacia el tope de la capa, permite asignarle una fecha máxima de 300-350 a ^{14}C AP a ese sector. A nivel fitolítico presenta los mismos grupos registrados en la ZAS anterior. Se diferencia por la menor abundancia relativa de morfotipos de gramíneas pooides y de dicotiledóneas leñosas.

ZAS IV: abarca entre los 20 y 10 cm, correspondiendo al sector inferior de la unidad estratigráfica superior. Se caracterizó por una disminución de morfotipos de gramíneas pooides y por el incremento de panicoides y chloridoides, así como de dicotiledóneas leñosas.

ZAS V: comprende los 10 cm superiores del perfil estratigráfico, incluyendo el tapiz vegetal actual. Se diferenció por un nuevo aumento de fitolitos de gramíneas chloridoides y pooides, disminuyendo las formas panicoides. Valvas de diatomeas y cistos de crisofitas alcanzaron la máxima representación en esta ZAS.

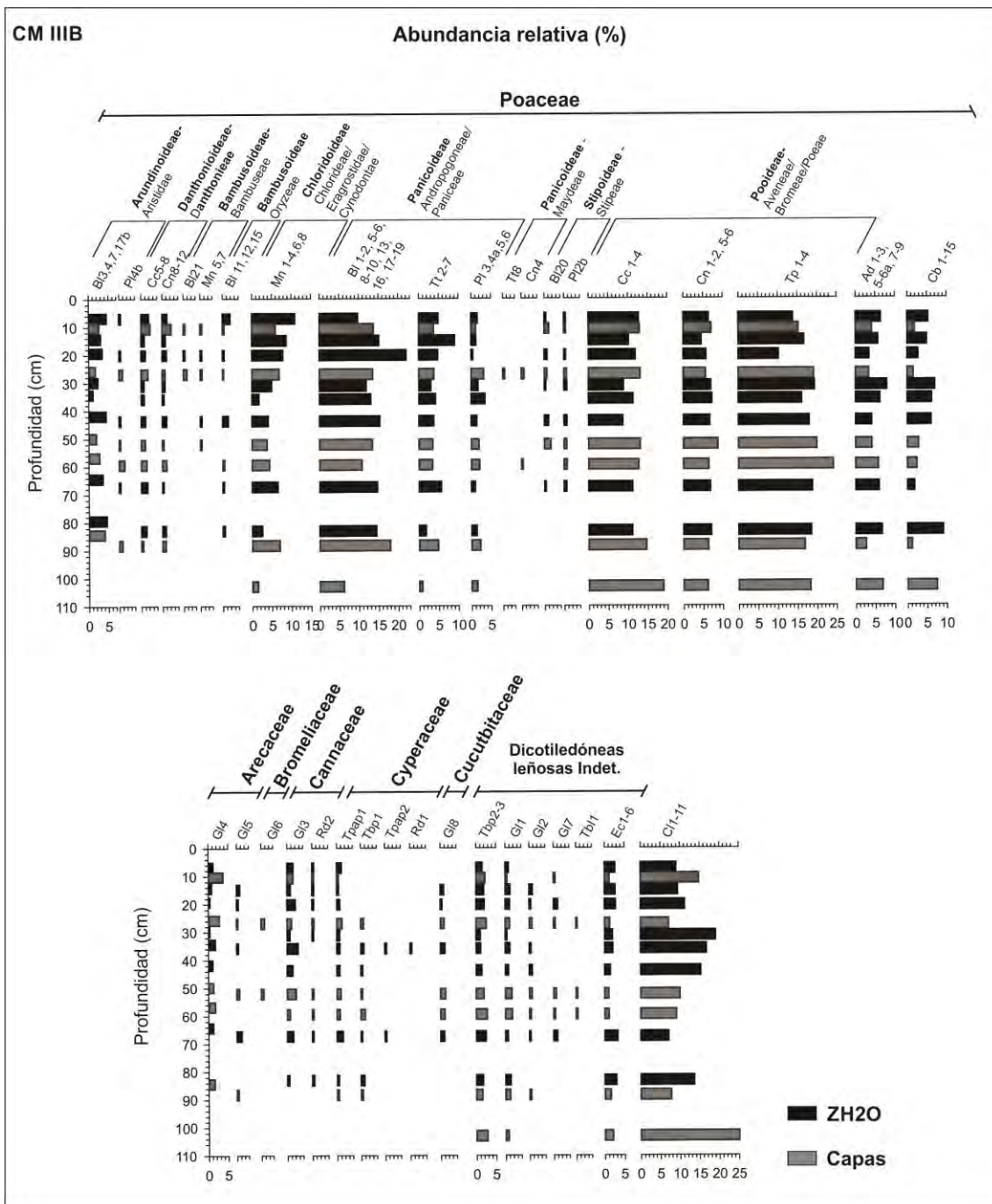


Figura III.24. Distribución vertical de abundancias relativas de morfotipos de fitolitos identificados en la secuencia sedimentaria de Cráneo Marcado IIIB agrupados taxonómicamente.

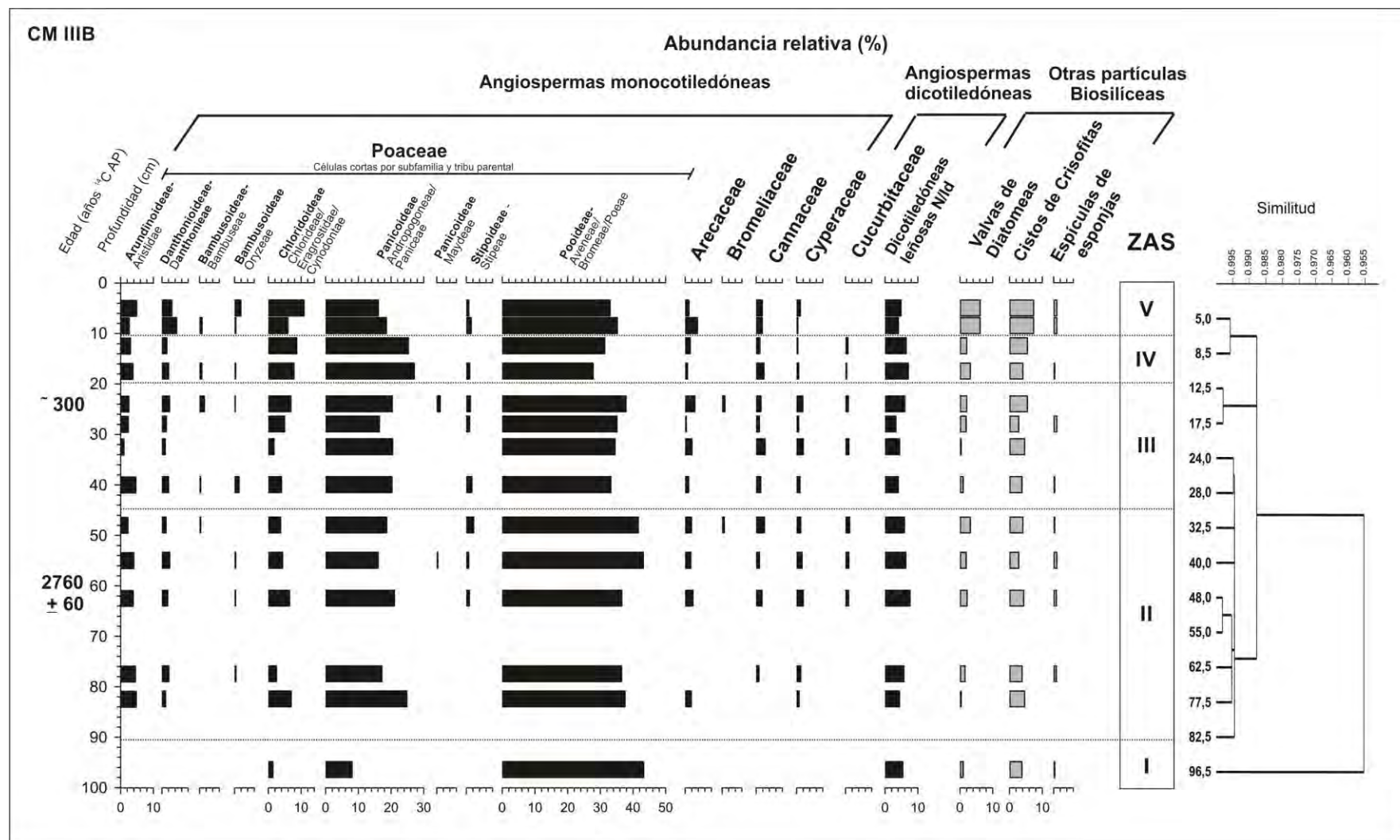


Figura III. 25. Distribución vertical de abundancias relativas de los grupos taxonómicos y de otras partículas biosilíceas en el material sedimentario de Cráneo Marcado IIIB, junto a la zonificación resultante del *Stratigraphically Constrained Clustering*

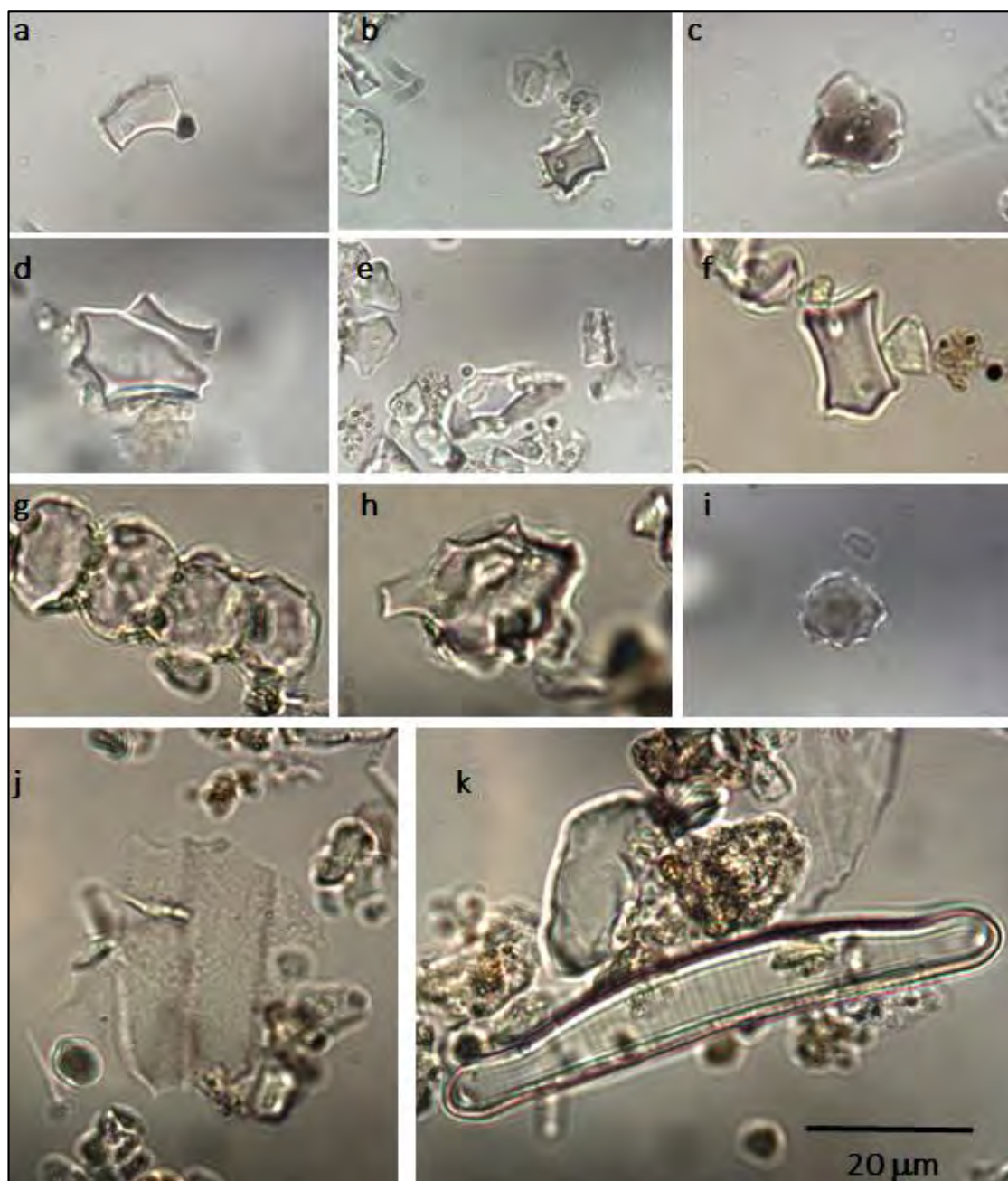


Figura III.26. Imágenes ilustrativas de las principales partículas biosilíceas identificadas en sedimentos de Cráneo Marcado IIA y IIIB: a-c) morfotipos de fruto y semilla de maíz; d-e) fitolitos facetados de cucurbitáceas; f) célula corta de bambusácea; g) globulares granulados encadenados de achira (*Canna* sp.); h) fitolito radiado de rizoma de ciperácea; i) globular espinoso de palmera; j) tabular poliédrico de dicotiledónea leñosa; k) valva de diatomea del género *Eunotia*.

Material cerámico

En las Figuras III.27 y III.28 se presenta gráficamente la distribución de abundancias relativas de los principales morfotipos y grupos taxonómicos identificados en las extracciones efectuadas sobre el material cerámico de Cráneo Marcado IIA y IIIB. En la Figura III.29 se ilustran algunas partículas características.

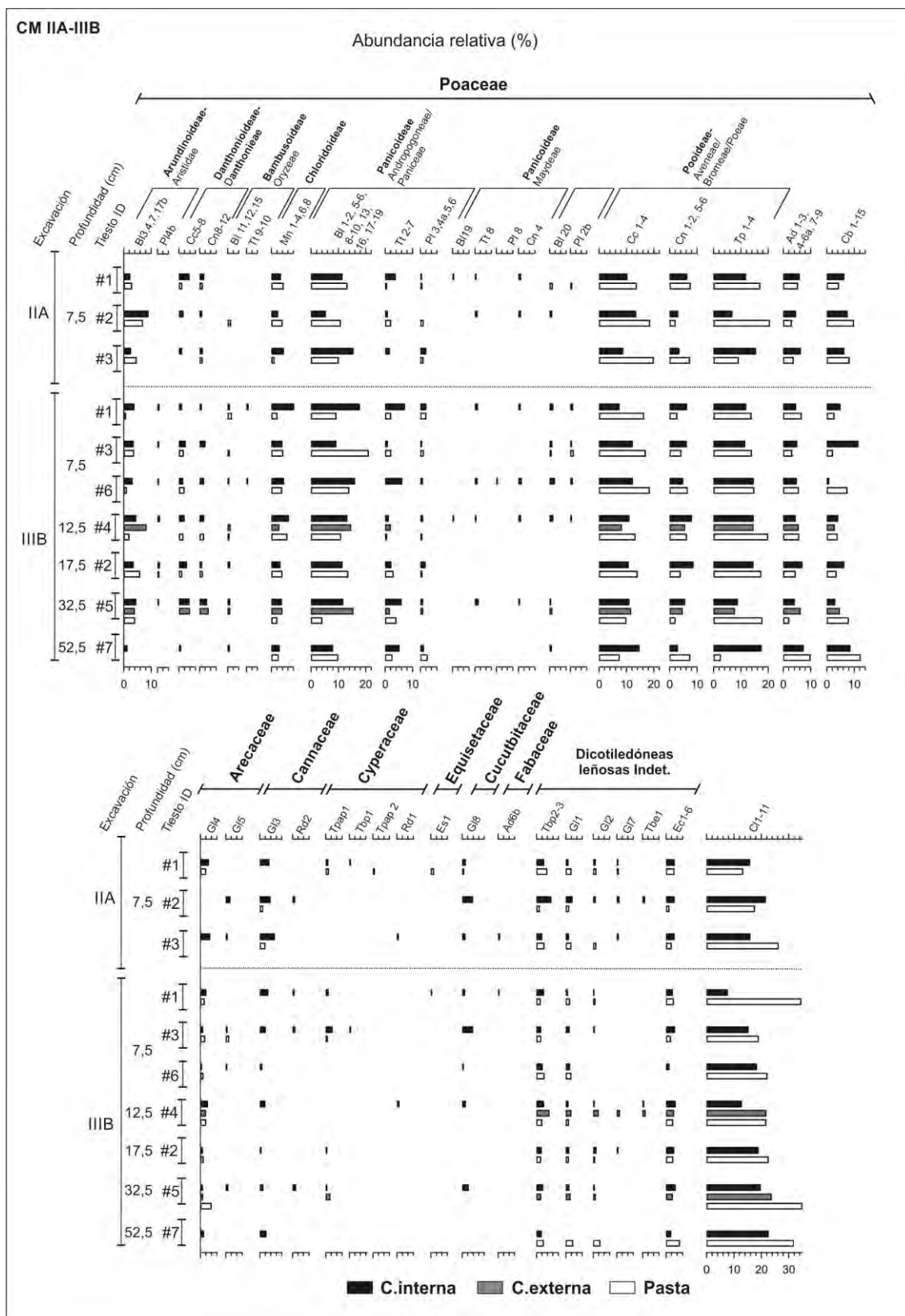


Figura III.27. Distribución de abundancias relativas de morfotipos identificados en cara interna, externa y pasta del material cerámico de Cráneo Marcado IIA y IIIIB.

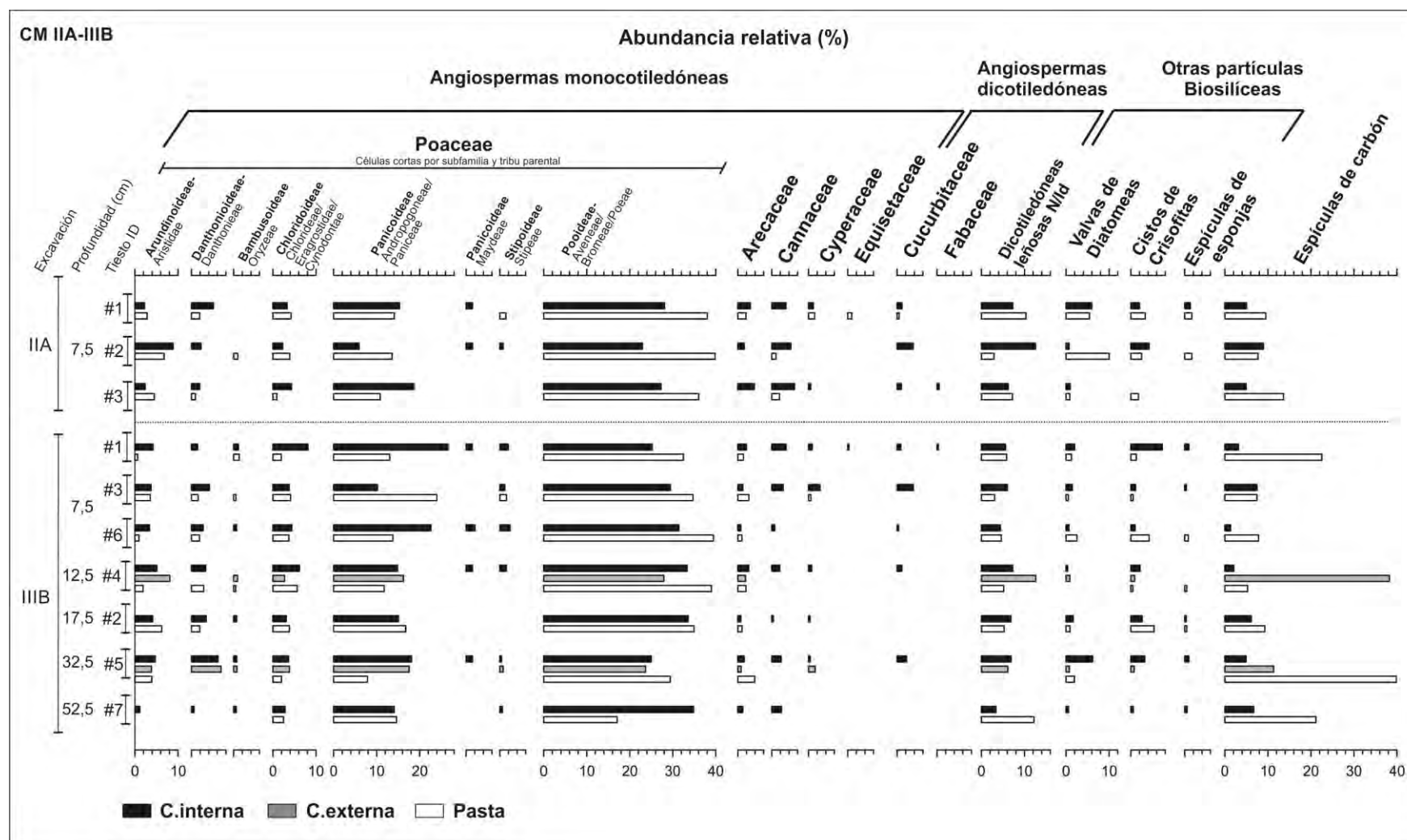


Figura III.28. Distribución de abundancias relativas de los grupos taxonómicos de fitolitos y otras partículas identificadas en cara interna, externa y pasta del material cerámico de Cráneo Marcado IIA y IIIB

Entre los principales resultados se destaca la presencia de morfotipos producidos en fruto y semilla de maíz, registrados exclusivamente en las adherencias de cara interna de seis de los tiestos analizados procedentes de ambas excavaciones (Figuras III.27 y III.28). Aunque escasamente representados, estos morfotipos fueron también identificados en dos muestras de material sedimentario de la excavación IIIB (Figuras III.24 y III.25), pero no así en la IIA (Figuras III.22 y III.23). Asimismo, apéndices dérmicos de morfometría asignable a *Phaseolus* sp., fueron registrados exclusivamente en adherencias de cara interna de dos de los tiestos analizados, procedentes de los primeros niveles de excavación (7,5 cm de profundidad) de ambas estructuras. Dichos morfotipos no fueron observados en el material sedimentario de ninguna de las estructuras.

Fitolitos subglobulares facetados atribuibles a cucurbitáceas fueron identificados en ocho de los tiestos analizados. En siete de ellos el registro se obtuvo únicamente en adherencias extraídas de la cara interna. En el tiesto #1 de la excavación IIA, no obstante, el registro se produjo tanto en la cara interna como en la propia pasta cerámica (Figuras III.27 y III.28). Morfotipos de similares características fueron identificados en muestras sedimentarias de ambas estructuras (Tabla III.16, Figuras III.22 a III.25), pero con valores de abundancia relativa marcadamente inferiores.

Formas típicas de palmeras y cannáceas fueron registradas en muestras de todos los tiestos. En el caso de las formas subglobulares equinadas atribuibles a palmeras, fueron observadas en las extracciones efectuadas tanto en cara interna como en cara externa y pasta, siendo también frecuente su observación en el material sedimentario de ambas estructuras (Figuras III.22 a III.25). Sólo en tres de los fragmentos cerámicos su registro fue exclusivo de las adherencias en cara interna. También los morfotipos de cannáceas fueron observados en el material sedimentario de las dos estructuras, pero su registro en las adherencias de cara interna de algunos tiestos analizados supera ampliamente los valores de abundancia detectados en la matriz sedimentaria. Si bien los morfotipos subglobulares lisos y granulados producidos en tallo de *Canna* sp. se identificaron tanto en cara interna como en pasta, las formas radiadas (Rd2) producidas en rizomas de estas plantas se observaron únicamente en la cara interna de los tiestos (Figura III.27).

En relación a las adherencias de cara interna, se destacó también la mayor abundancia relativa de valvas de diatomeas y cistos de crisofitas en los tiestos #1 y #5 de CM IIIB (Figura III.28). En los restantes tiestos estas partículas presentaron valores similares o mayores en las extracciones de la pasta cerámica. Las pastas también se caracterizaron por un alto contenido de partículas de carbón y células cortas de gramíneas, que podrían indicar el uso de material vegetal como antiplástico en la elaboración de las vasijas. Las espículas de carbón fueron también frecuentes

en las adherencias de cara externa lo que, junto al mayor registro de fitolitos de especies leñosas, indica que los recipientes fueron sometidos a fuego con combustible de origen vegetal (Figuras III.28 y III.29).

Tabla III.16 Características morfométricas de los fitolitos subglobulares facetados atribuibles a Cucurbitaceae identificados en muestras sedimentarias y material cerámico de Cráneo Marcado IIA y IIIB.

Sedimentos					Tiestos					
Excavación	Prof. (cm)	Muestra	Largo (μm)	Ancho (μm)	Excavación	Prof. (cm)	Muestra	Largo (μm)	Ancho (μm)	
IIA	35	30-40	13,08	12,67	IIA	7,5	li	47,62	38,45	
	55	50-60	9,58	7,3			lp	11,57	9,95	
			10,83	8,01			lii	14,44	11,4	
			12	9,08			lii	12,29	6,57	
	65	60-70	25,23	24,87			lii	16,83	16,34	
			13,97	13,93			liii	16,58	10,57	
	12,5	Z10-15	13,73	12,59			li	14,42	12,69	
			17,5	Z15-20			13,66	8,13	li	9,66
	27,79	18,09					li	19,77	11,37	
	32,5	Z30-35	15,72	13,95			liii	25,57	14,27	
			13,01	10,61			7,5	liii	22,29	14,25
			15,4	8,12				liii	24,49	14,01
IIIB	26	II	8,69	7,07	IIIB	12,5	liii	15,24	11,76	
			9,32	8,91			liii	16,74	10,96	
			20,02	11,31			Vli	14,77	12,48	
			8,32	6,77			IVi	16,98	13	
			23,39	18,21			IVi	21,15	15,16	
	43	III	17,19	13,51			32,5	Vi	7,41	6,49
			9,52	5,65				Vi	14,8	14,61
			12,18	9,69				Vi	12,49	9,72
	61,5	IV	11,16	7,07						
			62,5	Z60-65				13,45	11,03	
	15,3	11,2								
	Media			14,46				11,21	Media	
DS			5,23	4,52	DS				8,44	6,50

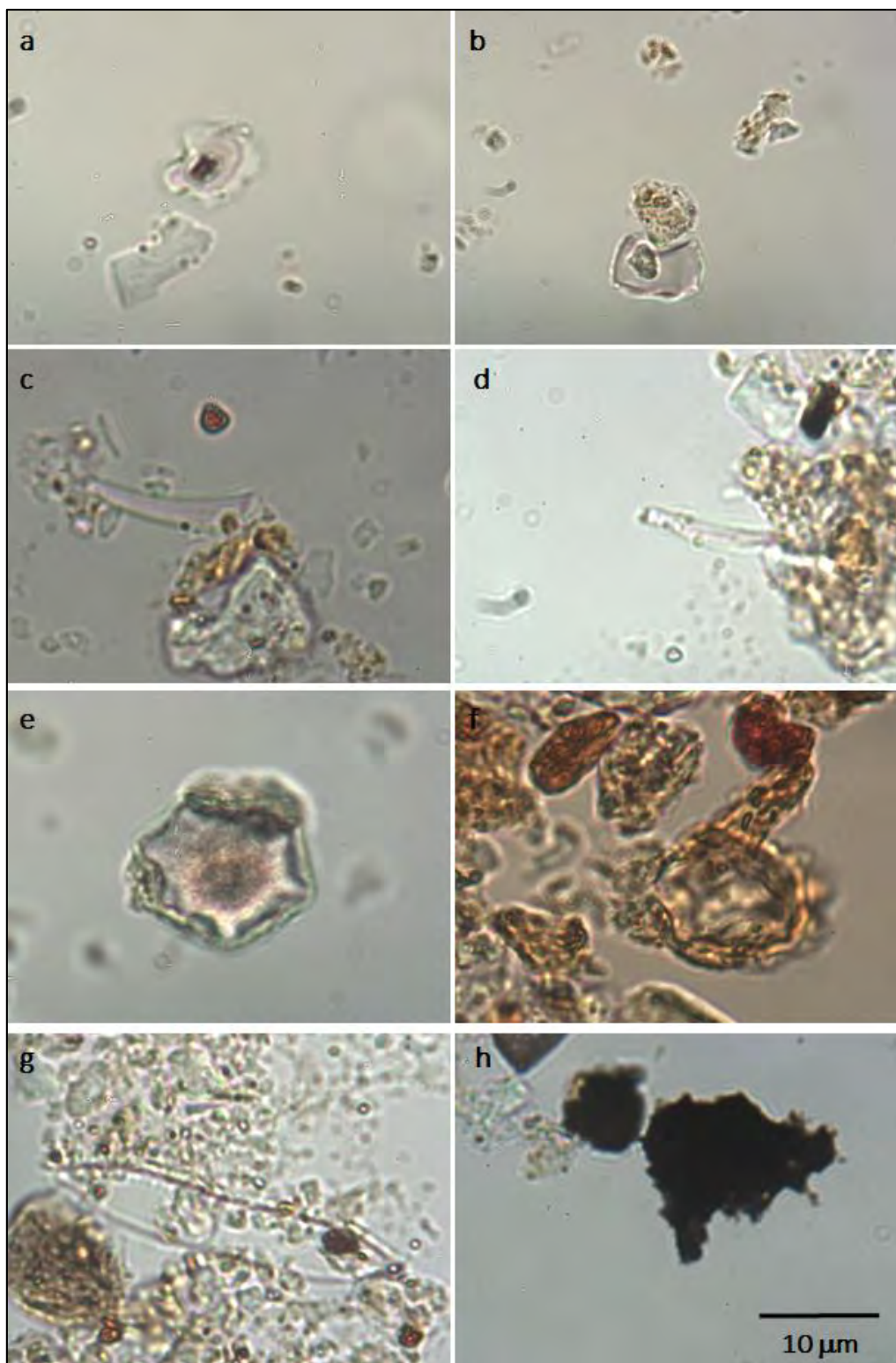


Figura III.29. Imágenes ilustrativas de los principales tipos de partículas identificadas en el material cerámico de Cráneo Marcado IIA y IIIB: a-b) células cortas de fruto y semilla de maíz; c-d) apéndices dérmicos asignables a *Phaseolus* sp.; e-f) fitolitos subglobulares facetados de cucurbitáceas; g) valva de diatomea en pasta cerámica; h) partículas de carbón en adherencias de cara externa.

III.3.4 Discusión y conclusiones

Del análisis integrado de los resultados obtenidos se desprenden algunas consideraciones generales para los tres sitios. En primer lugar, el análisis de múltiples columnas sedimentarias de las mismas estructuras no aportó registros contrastantes que pudieran indicar una marcada variabilidad horizontal de las asociaciones fitolíticas. Esta situación puede deberse a que estas estructuras son horizontalmente homogéneas en su registro fitolítico o, más probablemente, a que los muestreos proceden de una misma excavación de dimensiones acotadas que no cubren la variabilidad horizontal previamente señalada (Olivero y Campos 2001). A pesar de lo expuesto, la densidad de muestras analizadas permitió generar información detallada sobre la paleoetnobotánica de los constructores de cerritos, contribuyendo a identificar recursos vegetales silvestres y cultivados con mayor control cronoestratigráfico y contextual.

Del mismo modo, la combinación de análisis fitolíticos en muestras sedimentarias e instrumentos arqueológicos, constituyó una estrategia adecuada para obtener registros complementarios que aporten a un conocimiento más cabal de las prácticas de obtención, procesamiento y consumo de recursos vegetales en la prehistoria regional. Si bien los principales recursos alimenticios identificados se registraron tanto en sedimentos como en instrumentos, su representación en estos último (principalmente en el material cerámico) resultó marcadamente mayor. También en algunos recursos, como el maíz o las achiras, se detectaron diferencias en la representación de ciertos órganos en los artefactos arqueológicos.

Esta información, articulada con el registro de otras partículas contribuyó también a la caracterización de técnicas de procesamiento de los recursos vegetales. Por ejemplo, la mayor abundancia relativa de espículas de carbón, fitolitos de dicotiledóneas leñosas y fitolitos quemados de gramíneas observada en adherencias de la cara interna de varios tiestos, es indicativa del uso de fuego con combustible vegetal para el procesamiento de alimentos. Asimismo, la mayor representación de valvas de diatomeas y cistos de crisofitas en adherencias internas de algunos tiestos, puede responder a prácticas de transporte y almacenamiento de agua, así como a la preparación de alimentos en medio líquido (decocción o infusión). Finalmente, la identificación de fitolitos producidos en marlo y granos de maíz en la superficie activa de un instrumento de molienda, es clara evidencia del procesamiento de dicho recurso.

Por otra parte, las asociaciones fitolíticas identificadas en el material cerámico también aportaron información relativa a la tecnología involucrada en la producción de alfarería indígena. La abundancia de partículas de carbón y fitolitos de gramíneas en la propia pasta de varios tiestos

analizados, refieren al uso de antiplástico vegetal para la manufactura cerámica. Por otro lado, la presencia de fitolitos de cucúrbitas en las extracciones efectuadas de algunas pastas, podría estar indicando el uso de frutos de calabazas como molde para la confección de las vasijas.

En otro orden, las asociaciones fitolíticas relevadas en el material sedimentario permitieron una aproximación más amplia al registro arqueobotánico y paleobotánico, aportando información respecto a otros vegetales y/u otros usos, así como de contextos no cerámico e incluso precerrito. También aportaron información de interés para la caracterización bioestratigráfica de las estructuras monticulares. Al respecto, se destaca el buen ajuste de las ZAS identificadas con las estratigrafías relevadas para los distintos cerritos, principalmente en lo que refiere a los límites entre estratigráficas.

En lo que refiere a grupos vegetales identificados, los resultados obtenidos permitieron ratificar la presencia de varios recursos potenciales, algunos previamente identificados en contextos arqueológicos de la región e incluso en los mismos sitios analizados (Tabla III.7). Entre ellos, las palmeras constituyen un caso notorio, dado su registro recurrente en los materiales analizados. Fitolitos subglobulares equinados característicos de palmeras fueron identificados en todas las muestras sedimentarias de las distintas estructuras, a excepción de la muestra procedente del horizonte natural subyacente a la estructura B de Cráneo Marcado. La falta de registro en horizontes naturales y las altas abundancias relativas registradas al interior de las estructuras (hasta 30% en CH2D01-B), apuntan fuertemente a un aporte de carácter cultural. La representación diferencial de fitolitos producidos en fruto de estas plantas en adherencias de cara interna de varios tiestos analizados (Figuras III.12 y III.27) es un claro indicio de su aprovechamiento – y posiblemente también de su procesamiento y/o almacenamiento – por parte de los grupos constructores de cerritos. Estos datos son consistentes con las evidencias macro-botánicas y paleodietarias (elementos trazas y caries) obtenidas para el sitio CH2D01 (ej., Sans 1999, Bracco et al. 2000b). Además de ser importantes como recursos alimenticios (frutos, médula, savia, semilla), las palmeras constituyen una fuente muy importante de materia prima para construcción, cestería, cordelería, combustible, entre otras (ver del Puerto 2011 por referencias etnobotánicas regionales).

Fitolitos de cannáceas también fueron registrados desde los niveles más tempranos de las estructuras, presentando igualmente una representación diferencial en las adherencias recuperadas del interior de varios fragmentos cerámicos analizados. Al igual que las palmeras, las achiras cuentan con numerosas referencias etnobotánicas que dan cuenta de variados usos por parte de poblaciones indígenas sudamericanos, incluyendo el consumo alimenticio y medicinal

de sus órganos subterráneos y el uso de otras partes de la planta como materia prima para diversas industrias (ej. Arenas 1983; Mabilde 1983; Martínez-Crovetto 1981). Como se refirió al comienzo del capítulo, existen vastas referencias del manejo y cultivo de cannáceas por parte de grupos indígenas sudamericanos (ej. Hernández Bermejo y León 1992; Patiño 1963). No obstante, su crecimiento espontáneo en el área de estudio y su registro en testigos naturales con cronologías que anteceden las evidencias de ocupación humana en la región (del Puerto 2011), no permiten afirmar su condición de recurso manejado o cultivado en los contextos analizados.

Otros potenciales recursos silvestres están representados por ciperáceas, bromeliáceas, gramíneas de las tribus *Oryzeae* y *Bambuseae*, equisetáceas y cannabáceas. Entre ellos, bromelias y ciperáceas tienen usos tanto alimenticios (frutos y rizomas) como tecnológicos (cestería, cordelería e industria textil). Mientras que los fitolitos de bromeliáceas fueron observados únicamente en muestras sedimentarias, morfotipos diagnósticos de ciperáceas se registraron tanto en sedimentos como en instrumentos. Dado que las ciperáceas forman parte integral del estrato herbáceo del ecosistema de pastizal característico de la zona de estudio (incluyendo distintos tipos de campos y humedales), es difícil atribuir la totalidad de su registro a actividades culturales que involucren su directa manipulación y uso. Aun así, la mayor representación en el material cerámico de fitolitos producidos en órganos subterráneos, es un indicio firme en tal dirección.

Una situación similar se plantea con las gramíneas oríceas (tribu *Oryzeae*). Existen varias especies de este grupo – dentro del que se encuentran diversas variedades silvestres y domésticas de arroz – cuyas semillas son comestibles. Entre ellas, en la zona de estudio prosperan *Leersia hexandra*, *Luziola peruviana* y *Rhynchoryza subulata* (Madanes et al. 2013; Rapoport et al. 2009; Clement 1999). Su registro en el material sedimentario no puede atribuirse a un uso directo, ya que los fitolitos pueden provenir de las zonas de aporte del material constructivo de las estructuras. Sin embargo, la representación diferencial – y en algunos casos exclusiva – de morfotipos característicos en la cara interna de varios tiestos, estaría indicando su aprovechamiento como recurso.

Por otro lado, el registro de gramíneas de la tribu *Bambusae* fue menos generalizado, aunque se identificaron morfotipos característicos en sedimentos de todos los sitios. El uso de las cañas para múltiples fines tecnológicos, ceremoniales e incluso alimenticios, está ampliamente registrado para la Sudamérica indígena (ej. Basile Becker 1976; Metraux 1946; Teschauer 1918). Al no ser especies frecuentes en los pastizales típicos de la región, su registro en las estructuras es más

fácilmente asimilable a actividades antrópicas. Su identificación en los sitios estudiados constituye el primer registro de estas plantas en sitios arqueológicos de la región este de Uruguay.

Muchas otras gramíneas nativas, cuyos fitolitos fueron observados en las muestras analizadas, constituyen potenciales recursos para múltiples usos. Las referencias etnobotánicas aluden al consumo alimenticio de especies como *Bromus catharticus*, *Distichlis spicata*, *Panicum urvilleanum* y *Setaria geniculata* (Rapoport et al. 2009) así como el aprovechamiento de varios tipos de pajas con fines tecnológicos (ej. Arenas 1983). Sin embargo, al no evidenciarse una representación diferencial en los instrumentos ni en las muestras sedimentarias, resulta difícil distinguir si forman parte del aporte sedimentario para la construcción de las estructuras o si su registro es producto de otras actividades humanas que involucraron su manipulación directa.

Finalmente, fitolitos característicos de *Equisetum* sp. y de fruto de *Celtis* sp., se observaron en algunas muestras puntuales. En el caso de *Equisetum* sp., es un recurso conocido por su uso como agente abrasivo (por su alto contenido en sílice) para pulir instrumentos, pero también tiene usos medicinales (Martínez y Pochettino 1998). Los frutos de tala (*Celtis* spp.), por su parte, tienen uso alimenticio (ej. Maranta 1987; Arenas 1983; Ragonese y Martínez-Crovetto 1947).

Además de los potenciales recursos mencionados, se identificaron fitolitos de otros vegetales cuyo uso y manipulación es indiscutible. Es el caso del maíz, los porotos y las cucurbitas. Entre ellos, el registro más temprano y también el más extendido fue el de las cucurbitáceas. Morfotipos subglobulares y elongados facetados fueron observados en muestras sedimentarias de todas las estructuras, así como en el material cerámico y lítico. El relevamiento morfométrico de los fitolitos característicos aportó tamaños medios entre 14 y 18 μm (Tablas III.13, III.15 y III.16) considerablemente menores que los reportados en la bibliografía para especies domesticadas (ej. Piperno y Stother 2003; Piperno et al. 2000; Bozarth 1987). Los tamaños registrados son incluso menores a los reportados para especies de cucurbitáceas silvestres de Centro América (Piperno y Stother 2003; Piperno et al. 2000). Sin embargo, el análisis de material comparativo de referencia aportó datos morfométricos similares en el zapallo kabutiá, un híbrido de las especies domésticas *Cucurbita máxima* y *C. moschata* (Anexo II). De igual modo, el estudio de material comparativo en especímenes procedente de la región indicó un menor tamaño en los fitolitos de especies domésticas como *C. máxima*, *C. fiscifolia* y *C. moschata*, en relación con el reportado para especímenes de estas mismas especies en regiones tropicales (Anexo II). Si bien estos datos no permiten asegurar el carácter doméstico de las cucurbitáceas identificadas mediante el análisis fitolítico, tampoco sustentan atribuirles una condición silvestre. Se requieren

estudios más detallados de especímenes regionales de cucurbitáceas silvestres y domesticadas para dar luz sobre el tema.

A diferencia de las cucúrbitas, el carácter doméstico del maíz está fuera de discusión. El registro de fitolitos producidos en hoja, marlo y grano de maíz en sedimentos e instrumentos de los tres sitios, refuerza las evidencias preexistentes respecto a la presencia de este cultivo en la prehistoria regional. Aun así, cabe notar que su representación se halla bastante deprimida y que temporalmente su registro se concentra en los últimos 1700-1500 años (Figura III.30). Cabe señalar que en la estructura III de Cráneo Marcado se identificaron morfotipos asignables a marlo y grano en muestras (sedimentos y cerámica) procedentes de una unidad estratigráfica fechada en 2760 ± 60 a¹⁴C AP. No obstante, el hecho de que el fechado corresponda a la capa, sumado a que las muestras proceden del sector superior de la unidad estratigráfica y a que la misma limita con niveles ubicados cronológicamente hacia el ~ 300 a¹⁴C AP., ponen en duda la cronología del registro fitolítico. Teniendo en cuenta que en las otras estructuras, incluyendo la estructura CMIIA del mismo sitio, no se registraron fitolitos de maíz para fechas previas al 2000 a¹⁴C AP, se optó por mantener una asignación cronológica más conservadora.

Fitolitos diagnósticos de maíz fueron observados en material sedimentario de los tres sitios, pero no en todas las estructuras. Tanto en Cráneo Marcado como en Guardia del Monte, en los que se analizó material de dos estructuras por sitio al menos parcialmente contemporáneas entre sí, se efectuó la identificación positiva de maíz solo en una estructura de cada sitio. Sin embargo, el análisis del material cerámico aportó un registro más recurrente, aunque cronológicamente consistente con el recuperado en la matriz sedimentaria. No se observaron fitolitos de maíz en tiestos procedentes de niveles con cronología previa a *circa* 1700 a¹⁴C AP. En el caso del material lítico, morfotipos asignables a marlo y grano de maíz se identificaron únicamente en el fragmento de mortero procedente de la estructura A de Guardia del Monte e identificado como L3 (Figura III.21). El mismo procede de la primera unidad estratigráfica identificada en la estructura, depositada con posterioridad al 1260 a¹⁴C AP.

Finalmente, apéndices dérmicos de *Phaseolus* sp. fueron recuperados en forma muy puntual en muestras sedimentarias y en material cerámico. La cronología de su ocurrencia se corresponde con la del maíz (Figura III.30), siendo más frecuente su hallazgo en materiales procedentes de los niveles más recientes de las distintas estructuras. La escasa producción biosilíceas de las leguminosas – y de las dicotiledóneas en general – puede explicar la baja representación de este recurso. No obstante, el mismo fue también identificado mediante análisis de gránulos de

almidón en materiales líticos del sitio Guardia del Monte (López Mazz et al. 2014), lo que refuerza la presencia de este cultígeno en la prehistoria regional.

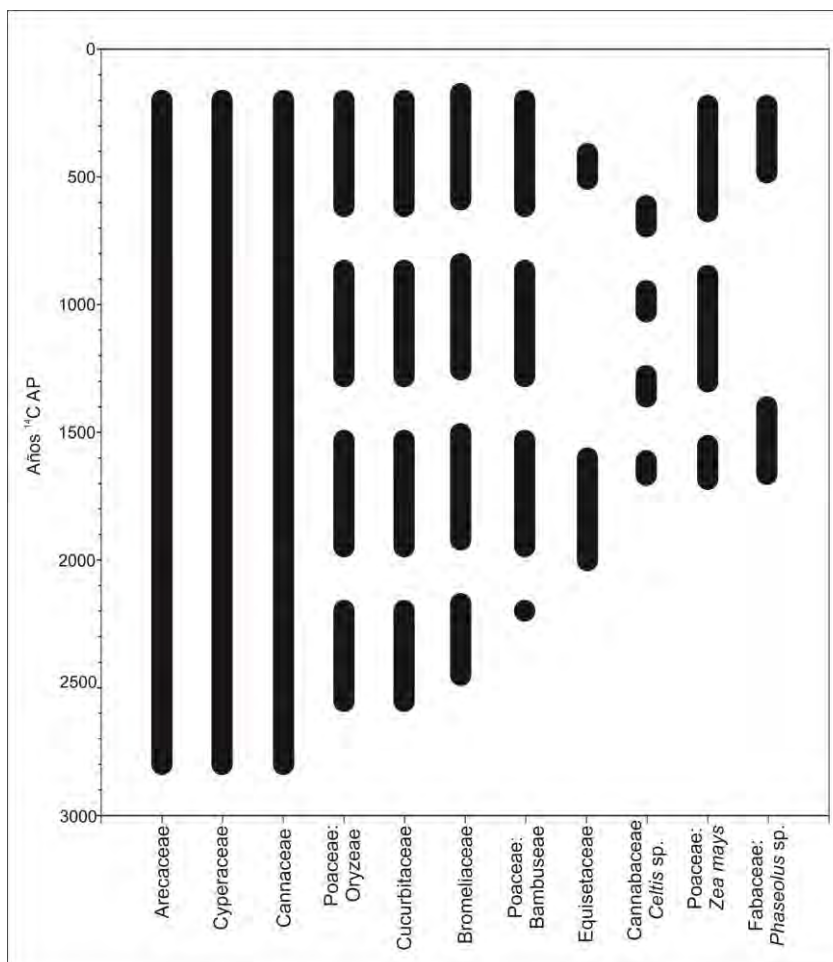


Figura III.30. Expresión temporal de los principales recursos identificados mediante análisis fitolítico en sedimentos y materiales de las estructuras CH2D01-B, Guardia del Monte A y B, Cráneo Marcado A y B. Las líneas continuas representan registros constantes y las discontinuas observaciones parciales y/o puntuales.

Como se expresa gráficamente en la Figura III.30, se constató una tendencia temporal de aumento en la riqueza de recursos identificados, reportándose los mayores valores a partir de ~1700-1500 a¹⁴C AP. A este respecto se destaca que el maíz y los porotos, únicos recursos de indiscutible carácter doméstico, fueron los últimos en ser incorporados al registro. Como se señaló anteriormente, esto no significa necesariamente que no estuvieran presentes en los depósitos más tempranos: la ausencia de evidencia no significa evidencia de ausencia. Esto es particularmente relevante si se tiene en cuenta que para otras estructuras monticulares de la región se ha reportado la presencia de fitolitos y gránulos de almidón atribuibles a maíz, zapallos y porotos para fechas de entre 4600 y 3000 a¹⁴C AP (Tablas III.1 y III.7; Iriarte et al. 2004, 2001).

También los análisis fitolíticos efectuados previamente en los sitios investigados habían reportado la presencia de estos recursos entre el 3000 y 2500 a¹⁴C AP (ej. del Puerto e Inda 2008; Capdepon et al. 2005; Olivero y Campos 2001). En este sentido, la aplicación de muestreos más densos y rigurosos (150 muestras en relación a las 25 implicadas en los análisis previos) y el desarrollo de una base comparativa y de estudios sistemáticos de caracterización morfométrica de fitolitos de maíz (Apartado III.2, Anexo II) otorgan mayor confiabilidad a las nuevas identificaciones realizadas, pero no niegan la posibilidad de una ocurrencia más temprana del maíz.

A pesar de estas consideraciones, el registro tardío de cultivos puede también indicar una incorporación posterior de las prácticas productivas o bien una intensificación de las mismas para los últimos 1500 años. Este proceso de intensificación en las prácticas de producción/procura de recursos, que habría aumentado la visibilidad de los cultivos en el registro, ya fue propuesto para estos mismos sitios a partir del análisis arqueofaunístico. El mismo evidenció la explotación y el procesamiento más intensivo de recursos animales para los momentos tardíos de ocupación (Capdepon y Pintos 2006; Pintos 2000; Pintos y Gianotti 1995), incluyendo posibles prácticas de control y manejo de especies silvestres como el venado de campo, la domesticación incipiente del apereá y la cría de animales domésticos como el perro (Moreno 2014).

Para el periodo comprendido entre ~3000 y ~1700 a¹⁴C AP, el conjunto de la información arqueobotánica, arqueofaunística y bioantropológica es consistente con una subsistencia basadas en recursos silvestres, con los cérvidos y los palmares ocupando un rol principal. Si bien no se descarta la existencia de prácticas de manejo y producción vegetal, los recursos domesticados no habrían tenido una fuerte incidencia hasta periodos más recientes. Durante los últimos 1500 años, quizás como parte de un proceso general de intensificación en la interacción humano-ambiental, la producción de alimentos y el consumo de recursos domesticados habrían comenzado a tener un mayor protagonismo. La presencia de caries en la población mortuoria junto a la evidencia microbotánica, indican una mayor incidencia de productos agrícolas, particularmente del maíz, en la dieta. Cuál fue el rol del maíz y cuán importante fue su consumo entre los constructores de cerritos durante el Holoceno tardío, son preguntas que se buscará contestar mediante el análisis isotópico desarrollado en el siguiente apartado.

III.4 Isótopos estables y paleodieta: ponderando el consumo de maíz durante el Holoceno tardío en el este de Uruguay

III.4.1 Introducción

Los sistemas de subsistencia – particularmente los aspectos vinculados a la dieta – de los grupos constructores de cerritos del Este de Uruguay han sido objeto de numerosas aproximaciones metodológicas y han estado a la base de diversas interpretaciones socio-económicas. Caracterizados tempranamente por la arqueología profesional uruguaya como cazadores-recolectores con economías de alta eficiencia en ambientes de alta productividad (López Mazz y Bracco 1994, 1992), la identificación de las bases materiales del desarrollo socio-cultural (complejidad) alcanzado por estas poblaciones fue concebida como un objetivo prioritario. De esta forma, bajo el contexto de una arqueología de fuerte impronta procesual, se propició el desarrollo de análisis arqueofaunísticos, arqueobotánicos y bioantropológicos (ej. Sans y Femenías 2000; Pintos 2000; Olivero y Campos 2001; Sans 1999; Pintos y Gianotti 1995) para reconstruir la dieta de las poblaciones prehistóricas constructoras de túmulos.

El temprano hallazgo de indicadores indirectos (registro de caries y silicofitolitos) del consumo de recursos cultivados – particularmente de maíz – en contextos arqueológicos de los últimos 2500 años (Olivero y Campos 2001; Sans 1999), propició nuevas aproximaciones tanto teóricas como metodológicas. A pesar de que los primeros estudios analíticos de paleodieta (oligoelementos e isótopos estables) negaron una fuerte incidencia de recursos cultivados en la dieta (Bracco et al. 2001b; Fregeiro 2001), las prácticas de cultivo fueron conceptualmente incorporadas como indicio de un proceso de intensificación económica y de complejización sociocultural (Bracco et al. 2001b).

Con el devenir de las investigaciones y la obtención de cronologías más tempranas para las evidencias de cultivo en la región, el concepto de complejidad derivó hacia su dimensión evolutiva y las poblaciones constructoras de cerritos fueron interpretadas como “sociedades complejas del Período Formativo Temprano” (Iriarte 2007; Iriarte et al. 2004). Aún reconociendo la existencia de una economía mixta, en estos modelos la producción de alimentos es integrada como elemento clave – indicador y promotor – del desarrollo sociocultural hacia una vida agrícola y el establecimiento de un modo de vida sedentario (Iriarte 2007, 2006b; Iriarte et al. 2004).

A escala regional, investigaciones recientes han puesto en cuestionamiento varios aspectos de esta asociación entre cultivo y complejización. Por un lado, se ha demostrado que el registro de

un cultígeno no necesariamente implica el establecimiento de prácticas agrícolas por parte de los grupos humanos generadores de los restos asociados (Gil et al. 2010). Por otro, se ha cuestionado fuertemente la existencia de una trayectoria lineal y progresiva de complejización, desde la adopción de un cultivo a la transformación del sistema económico, conllevando un incremento constante de su importancia en la dieta a través del tiempo (ej., Staller et al 2006; Gil et. al 2006, Tykot et al. 2006, Staller y Thompson 2002).

Estos cuestionamientos han llevado a la aplicación sistemática de análisis de isótopos estables como evidencia directa de paleodieta, buscando dimensionar la importancia – más allá de la simple presencia – de cultivos como el maíz en la dieta de las poblaciones prehistóricas, así como sus variaciones temporales y geográficas (ej., Gil et al. 2010; Falabella et al. 2007). Los resultados obtenidos por estos estudios son consistentes al demostrar un desfase temporal entre la incorporación del maíz (evidenciada por vestigios macrobotánicos) y su constitución como un componente importante en la dieta (denotada por la señal isotópica $\delta^{13}\text{C}$ en huesos humanos). Tanto para la región de Chile central como para centro occidente y noroeste de Argentina, los registros indican que el maíz se habría constituido en un componente significativo de la dieta para algunas poblaciones recién a partir del último milenio de nuestra era (ej. Galvan y Samec 2012; Gil et al. 2010, 2006; Falabella et al. 2008, 2007). En forma paralela, estas mismas investigaciones junto a otras desarrolladas en el Delta del Paraná, han evidenciado una importante variabilidad geográfica y cultural en la producción y consumo de maíz, destacando la coexistencia de grupos humanos con variadas estrategias económicas y modos de subsistencia (ej. Gil et al. 2010; Loponte y Kozameh 2009; Falabella et al. 2007).

Teniendo en cuenta la variabilidad temporal, geográfica y cultural denotada por estos estudios regionales, el presente trabajo se propone profundizar en la caracterización isotópica de la paleodieta de los constructores de cerritos del Holoceno tardío en el este de Uruguay, ampliando la muestra previamente analizada e incorporando nuevos indicadores analíticos. Los objetivos principales han sido: a) aportar a la caracterización de la dieta de estas poblaciones prehistóricas; b) dimensionar el rol de los recursos cultivados (más precisamente del maíz) en la dieta; c) identificar variaciones en la dieta vinculables a aspectos cronológicos, poblacionales y geográficos.

III.4.2 Materiales y Métodos

Geoquímica isotópica

Los isótopos estables de carbono y nitrógeno en huesos humanos han sido ampliamente utilizados como indicadores de paleodieta, en la medida en que reflejan la composición isotópica de los alimentos consumidos (ej. Frohle et al. 2012; Tykot 2006; Schoeninger y De Niro 1984). La relación isotópica del carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, expresada como $\delta^{13}\text{C}$) refleja principalmente los mecanismos fotosintéticos (C_3 , C_4 y CAM) de las plantas consumidas directamente y de las consumidas por las presas animales. En comparación con los estándares de referencia establecidos (Ambrose 1993), las plantas C_3 son más ricas en ^{13}C que las plantas con mecanismo fotosintético C_4 . De esta forma, los valores $\delta^{13}\text{C}$ en colágeno de individuos con una dieta basada en recursos C_3 estarán próximos a -21,5 ‰, mientras que los de un individuo con dieta basada en recursos C_4 estarán próximos a -7,5 ‰ (Gil et al. 2010).

Por otro lado, estudios experimentales han demostrado que los distintos sub-componentes de la dieta afectan en forma diferencial la señal isotópica de los tejidos. Mientras que los valores $\delta^{13}\text{C}$ basados en colágeno ($\delta^{13}\text{C}_{\text{co}}$) reflejan mayormente los componentes proteicos de la dieta, aquellos obtenidos de la fracción mineral o apatita ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ap}}$) son más representativos de la tendencia total (7-10 años), reflejando todos los sub-componentes de la dieta (Frohele et al. 2012; Kellner y Schoeninger 2007). Los valores $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos en huesos evidencian un fraccionamiento isotópico respecto a la dieta, que implica un enriquecimiento estimado de 5 ‰ en el caso del colágeno y de 12 ‰ para la apatita (Gil et al. 2010).

La relación de isótopos de nitrógeno ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ expresada como $\delta^{15}\text{N}$), por su parte, ha sido ampliamente utilizada para caracterizar la posición trófica, así como el consumo de recursos marinos (Frohele et al. 2012; Schoeninger et al. 1983). El nitrógeno atmosférico ingresa a la cadena alimenticia humana a través de las plantas y animales que conforman la dieta. La mayoría de las plantas (a excepción de las leguminosas que mantienen relaciones simbióticas con bacterias fijadoras de nitrógeno) obtienen el nitrógeno del suelo y exhiben valores $\delta^{15}\text{N}$ mayores a los atmosféricos.

Los animales, por su parte, muestran un enriquecimiento próximo a 3 ‰ en relación a las plantas y animales que consumen (Schoeninger y De Niro 1984). Por otro lado, en los ecosistemas marinos los vertebrados muestran valores $\delta^{15}\text{N}$ entre 6 y 8 ‰ mayores que animales terrestres en similar posición trófica (Froehle et al. 2012). Este último aspecto es crítico para identificar dietas ricas en

recursos marinos, en la medida que la relación isotópica del carbono (tanto sobre colágenos como sobre apatita) en recursos marino se superpone a la aportada por fuentes de proteína C₄ (Froehle et al. 2012).

El material arqueológico

Se llevó a cabo el análisis isotópico ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) en 17 muestras óseas procedentes de cinco sitios arqueológicos del este del Uruguay (Figura III.31). Tres de los sitios fueron objeto del análisis fitolítico reportado en el Apartado III.3: CH2D01, Cráneo Marcado y Guardia del Monte (Tablas III.17 y III.18). Junto a estos, se analizaron también restos óseos procedentes del sitio CG14E01 ubicado en la Sierra de San Miguel ($33^{\circ}44.687'\text{S}$ - $53^{\circ}43.059'\text{O}$) y del sitio Puntas de San Luis ($33^{\circ}38.382'\text{S}$ - $53^{\circ} 51.503'\text{O}$) en el Bañado de India Muerta (Figura III.31). Todos los sitios se caracterizan por estar integrados por estructuras monticulares (“cerritos de indios”) datadas en el Holoceno medio y tardío (Bracco et al. 2000a, 2008a; Capdepon y Pintos 2006, 2002; Cabrera 2000, 1999).

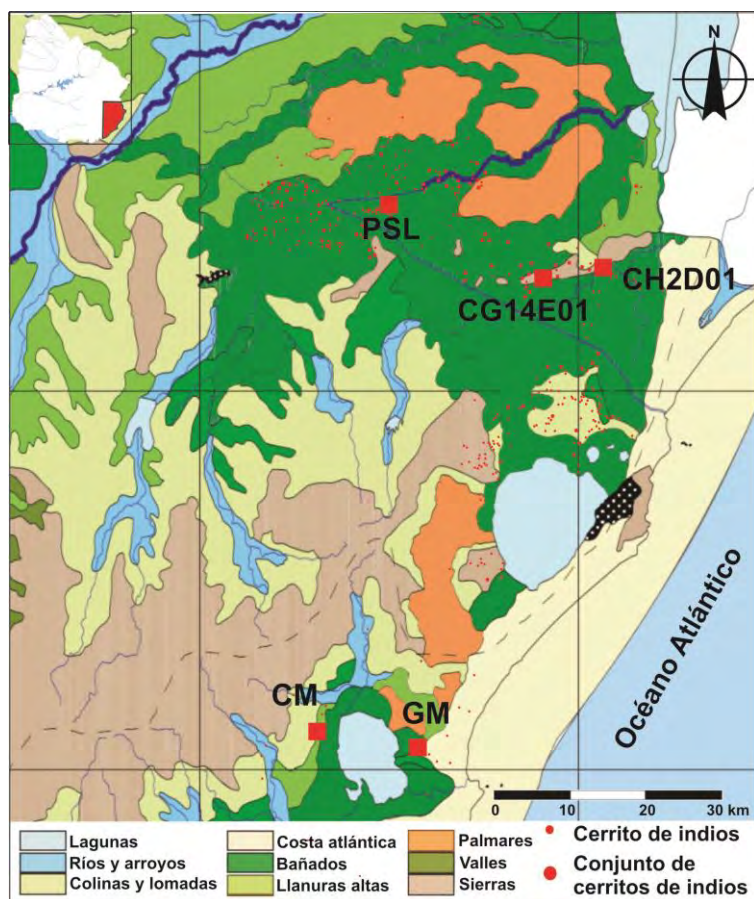


Figura III.31. Ubicación geográfica de los sitios de procedencia de las muestras óseas utilizadas para el análisis isotópico.

De las muestras óseas analizadas, 11 corresponden a restos humanos exhumados en cerritos de los sitios CH2D01, Cráneo Marcado, CG14E01 y Puntas de San Luis (PSL), todos ellos ubicados cronológicamente en el Holoceno tardío (Tabla III.17). En forma conjunta se analizó la señal isotópica en seis muestras óseas de fauna recuperada en los sitios CH2D01, Guardia del Monte y PSL, correspondientes a lobo marino, corvina negra, nutria, venado de campo y ciervo de los pantanos (Tabla III.18). Para un mejor análisis de los resultados, los datos generados se presentan y discuten conjuntamente con información isotópica preexistente para la región de estudio, incluyendo valores reportados sobre la fracción mineral de óseos humanos (Tablas III.17 y III.18).

Para el análisis isotópico las muestras óseas fueron sometidas a un procesamiento primario en el Laboratorio de Datación por ^{14}C de la Cátedra de Radioquímica de Facultad de Química (Universidad de la República, Uruguay), siguiendo el protocolo propuesto por Schoeninger y DeNiro (1984). El mismo comenzó con el lavado de los restos con agua destilada en baño de ultrasonido. Posteriormente, sobre los restos óseos restantes se obtuvo el colágeno mediante disolución con HCl al 8% en una relación de 200 ml: 100 g agitando constantemente en agitador magnético por 15 minutos. Tras sucesivos lavados hasta alcanzar pH neutro, la muestra desmineralizada fue tratada con (NaOH) 0.5% para eliminar ácidos húmicos y fúlvicos. El colágeno precipitado fue finalmente lavado con agua destilada hasta obtener pH neutro y se dejó secar en estufa a 60 °C.

La abundancia relativa de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ se determinó por espectrometría de masa en Stable Isotope Ratio Facility for Environmental Research (SIRFER), Universidad de Utah, Salt Lake City, USA. Los valores fueron expresados como abundancia relativa ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) y fueron calculados con respecto a los estándares internacionales (Lamb et al. 2006; Wilson et al. 2005).

Ecología Isotópica de vegetales comestibles

Con el fin de ampliar las bases de referencia para una mejor interpretación de los resultados analíticos, se relevó información concerniente a los mecanismos fotosintéticos de las especies vegetales potencialmente comestibles de la región. Se tomó como base el listado de plantas nativas con referencias etnobotánicas de uso alimenticio reportadas por del Puerto (2011a), la que fue ampliada a partir de nuevos aportes bibliográficos sobre especies comestibles (ej. Madanes et al. 2013; Rapoport et al. 2009; Clement 1999; Ragonese y Martínez Crovetto 1947).

El mecanismo fotosintético de las especies se obtuvo también de diversas bases de datos (ej. Delta Database y Global Invasive Species Database) y trabajos de investigación (ej. Madanes et al.

2013; Della Coletta et al. 2009; Reddy y Hodges 2000; Medina et al. 1999). Para especies cultivadas con presencia en el registro arqueológico regional – como el maíz, las cucúrbitas y los porotos – se obtuvo también información específica de la relación isotópica $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en especímenes arqueológicos (Gil et al. 2010; Falabella et al. 2008, 2007).

III.4.3 Resultados y discusión

En la Tabla III.17 se presentan los resultados obtenidos del análisis isotópico ($\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$) sobre las muestras óseas humanas analizadas, junto a valores previamente reportados para sitios de la región de estudio.

La mayoría de los valores $\delta^{13}\text{C}$ obtenidos sobre colágeno ($\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$) son muy negativos (<-20), indicando un alto predominio de recursos C_3 como fuente de proteína. No obstante, para dos individuos (CMIII-I7 y Aguas Dulces) se reportaron valores considerablemente mayores (~ -14). Si se observan los valores $\delta^{15}\text{N}$ obtenidos para las mismas muestras, los mayores valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ se corresponden con valores notoriamente más elevados de la relación $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ (Figura III.31). Lo anterior se asocia con un importante aporte de recursos marinos en el componente proteico de la dieta (ej. Froehle et al. 2012). Esto se halla reforzado por la señal isotópica obtenida en restos óseos arqueofaunísticos, reportados en la Tabla III.18. Los valores $\delta^{13}\text{C}$ y $\delta^{15}\text{N}$ más elevados del material arqueofaunístico corresponden a fauna marina: lobo marino y corvina.

Las restantes muestras que cuentan con datos $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ y $\delta^{15}\text{N}$ no aportaron altos valores, no hallándose tampoco una correlación entre ambos indicadores (Figura III.32). Esto denota el predominio de recursos continentales como fuente de proteína (ej. Froehle et al. 2012; Gil et al. 2010; Falabella et al. 2008; Kellner y Schoeninger 2007), lo que se encuentra respaldado por los valores obtenidos en restos arqueológicos de fauna continental (Tabla III.18).

Tabla III.17. Valores isotópicos en restos óseos humanos del este de Uruguay, con información de procedencia, cronología (*directa, # cronoestratigráfica, x asociación material), sexo y edad (Pintos y Bracco 1999; Sans 1999; Capdepon 2004; Bracco 2006). Los primeros 11 registros se presentan como nuevos, en tanto los restantes fueron tomados de 1: Bracco et al. (2000b) y 2: Mut (2015).

Sitio/Exc.	Cronología	Sexo/Edad	N (%)	C (%)	C/N	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{ap}}$	Ref.
C.M IIIB	<2700 a ¹⁴ C AP#	adulto	4,58	23,05	5	12,4	-20,3		
C.M IIIB	<2700 a ¹⁴ C AP#	f/adulto	2,7	11,79	4,4	10,1	-20,4		
C.M IIIB	<2700 a ¹⁴ C AP#	f/adulto	9,35	28,3	3	9,89	-20,7		
C.M IIIB	>2700 a ¹⁴ C AP#	adulto	13,77	39,34	2,9	18,6	-14,2		
CH2D01-A	778±45a ¹⁴ C AP *		15,78	43,54	2,8	9,54	-21,6		
CH2D01-A	700±45a ¹⁴ C AP *		13,03	37,22	2,9	10,1	-21		
CG14E01	830±70a ¹⁴ C AP*	m/adulto	14,97	41,76	2,8	10,1	-21,2		
CG14E01	850±70 a ¹⁴ C AP*	f/adulto	15,43	41,94	2,7	9,99	-21,3		
PSL II D1	1390±90*		12,92	37,43	2,9	11,4	-21,2		
PSL II D1	1360±100*		10,97	31,88	2,9	11,4	-21,2		
PSL II-III	1470±90*		13,69	38,45	2,8	10,3	-21		
CH2D01-A	290+75 a ¹⁴ C AP*	m/adulto					-19,3		1
CH2D01-A	400+50 a ¹⁴ C AP#	niño					-19,5		1
CH2D01-A	400+50 a ¹⁴ C AP#	m/adulto					-20,5		1
CH2D01-B	1090+70 a ¹⁴ C AP#	m/adulto					-18,5		1
CH2D01-B	1090+70 a ¹⁴ C AP#	niño					-19,8		1
CH2D01-B	1090+70a ¹⁴ C AP#	f/adulto					-20,4		1
CH2D01-B	1090+70a ¹⁴ C AP#						-20,6		1
CH2D01-B	2530+60 a ¹⁴ C AP#						-19		1
CH2D03							-21,2		1
B.Santiagoño							-20,7		1
India Muerta	1590+90 a ¹⁴ C AP*						-21,3		1
India Muerta							-21,4		1
India Muerta							-20,9		1
India Muerta								-11,6	1
CH2D01-A	1350±160 a ¹⁴ C AP#	m/adulto	14,21	42,48	3	9,36	-20,6	-9,03	2
CH2D01-A	1350±160 a ¹⁴ C AP#	f/adulto	12,58	35,47	2,8	9,81	-20,9	-11,8	2
CH2D01-A	1350±160 a ¹⁴ C AP#	m/adulto	12,71	34,42	2,7	9,57	-21,5	-11,8	2
CH2D01-A	1450+70 a ¹⁴ C AP *	m/adulto	2,97	9,16	3,1	9,18	-21,6	-12,2	2
CH2D01-A	2090±90 a ¹⁴ C AP#	f/adulto	18,52	47,38	2,6	9,56	-21,6	-12,3	2
CH2D01-B	980±100 a ¹⁴ C AP*	f/adulto	8,75	24,94	2,9	9,25	-20,7	-8,65	2
CG14E01	1600 ADx	m/adulto	16,39	43,88	2,7	9,82	-20,5	-9,79	2
CG14E01	1600 ADx	f/adulto	17,05	47,28	2,8	9,69	-20,8	-9,28	2
Aguas Dulces	3520±60a ¹⁴ C AP*	adulto	16,76	44,63	2,7	17,7	-13,8	-8,75	2

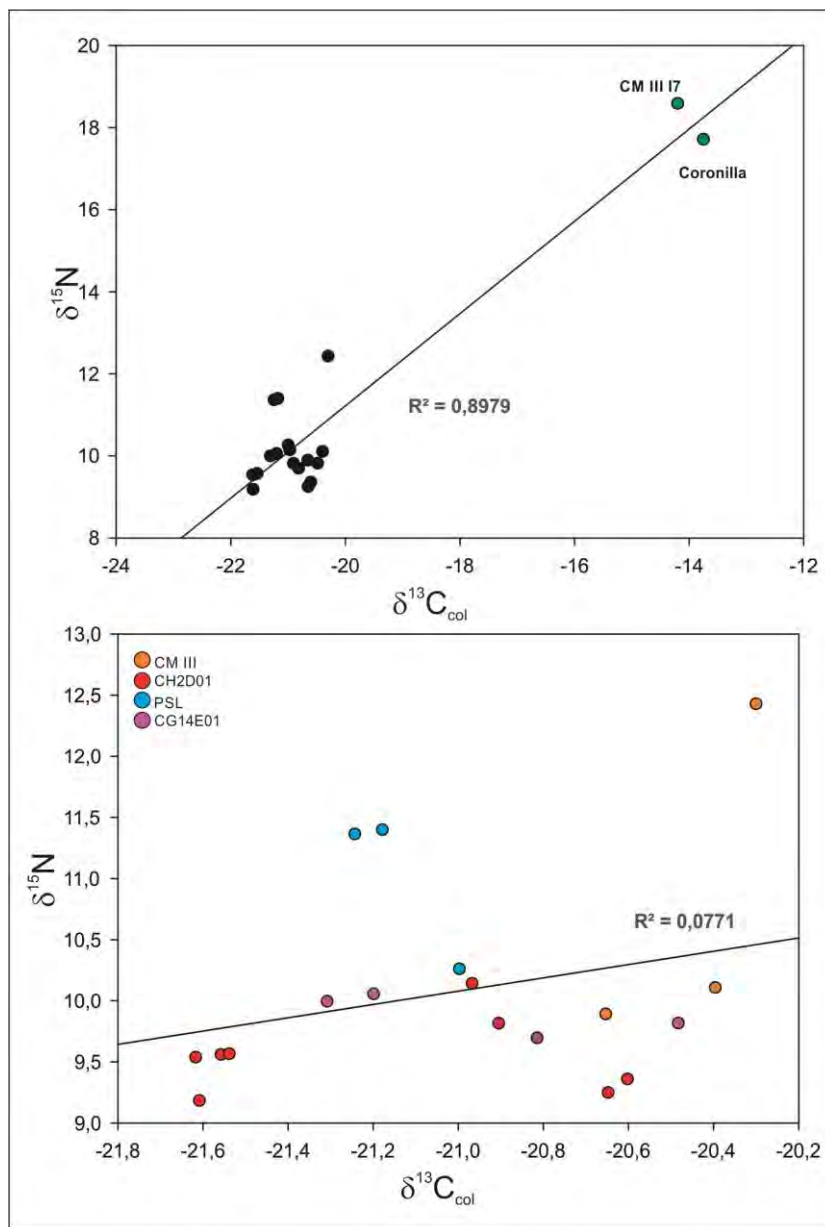


Figura III.32 Gráficos de dispersión de valores $\delta^{13}C_{col}$ y $\delta^{15}N$ en restos óseos humanos con línea de tendencia de regresión lineal. El gráfico de la izquierda incluye todas las muestras con valores $\delta^{13}C_{col}$ y $\delta^{15}N$, destacándose en verde los restos óseos con señal de importante consumo de recursos marinos. En el gráfico de la derecha se excluyen estos valores y se detalla la procedencia por sitio de las muestras.

Tabla III.18. Valores isotópicos en restos óseos faunísticos de contextos arqueológicos del este de Uruguay. Los primeros 4 registros se presentan como nuevos, en tanto los restantes fueron tomados de 1: Bracco et al. (2000b).

Sitio/Exc.	Nombre vernáculo	Especie	N (%)	C (%)	C/N	$\delta^{15}N$	$\delta^{13}C_{col}$	Ref.
G. del Monte II	Lobo Marino	Idet.	13,40	43,29	3,23	18,28	-16,84	
G. del Monte II	Corvina negra	<i>Pogonia cromis</i>	5,87	24,61	4,19	13,56	-17,31	
CH2D01 IA	Venado	<i>Ozotoceros bezoarticus</i>	4,45	19,68	4,42	4,77	-24,63	
CH2D01 IA	Ciervo	<i>Blastocerus dichotomus</i>	14,10	38,79	2,75	5,15	-21,71	
PSL AT	Nutria	<i>Myocaster coypus</i>	3,58	10,56	2,95	5,41	-23,76	
PSL AT	Nutria	<i>Myocaster coypus</i>	4,99	14,43	2,89	3,99	-22,02	
CH2D01 B III	Ciervo	Idet.					-20,4	1
CH2D01 B III	Pez	Idet.					-19,7	1
CH2D01 B III	Ciervo	Idet.					-21,2	1
CH2D01 B II	Ciervo	Idet.					-21,1	1

Por otro lado, los valores $\delta^{13}\text{C}$ en fracción mineral ($\delta^{13}\text{C}_{\text{ap}}$) se hallan entre -8,6 y -12 y – si se excluye el individuo procedente de Aguas Dulces que reportó altos valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ y $\delta^{15}\text{N}$ indicadores de consumo de recursos marinos, muestran una buena correlación con los valores de la fracción orgánica (Figura III.33).

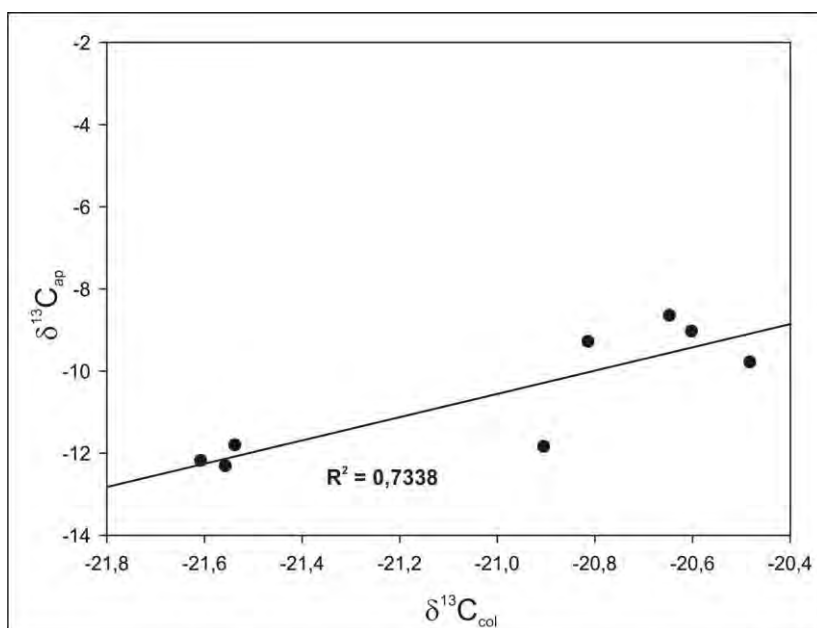


Figura III.33. Gráfico de dispersión y regresión lineal de valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ y $\delta^{13}\text{C}_{\text{ap}}$, en restos óseos humanos, sin considerar los individuos con fuerte señal de consumo de recursos marinos.

Ninguno de los valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{ap}}$ obtenidos puede asociarse con una dieta basada en recursos C_4 , que suele estar evidenciada por valores > -7 (Gil et al. 2010). Sin embargo, cinco muestras óseas reportaron valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{ap}}$ entre -7 y -10, correspondiéndose con una alimentación general basada en recursos C_3 pero con aportes C_4 ($< 30\%$) en el componente no proteico de la dieta (Froehle et al. 2012; Gil et al. 2010). Los bajos valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ y $\delta^{15}\text{N}$ en estas mismas muestras (exceptuando el individuo de Aguas Dulces), indican que el aporte C_4 no provino de recursos marinos. Si bien son solo 9 las muestras que cuentan con análisis $\delta^{13}\text{C}$ en la fracción orgánica y mineral, la buena correlación establecida entre ambos indicadores (Figura III.33) permite inferir que individuos con valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ mayores a -20,9 podrían estar igualmente reflejando una dieta con aportes menores de alimentos C_4 . Sin considerar aquellas muestras que no cuentan con análisis $\delta^{15}\text{N}$ (y que por tanto no se puede evaluar la incidencia de los recursos marinos) ascenderían a siete los individuos con indicios de cierto componente C_4 en la alimentación: dos del sitio CH2D01, tres de Cráneo Marcado y dos de CG14E01 (Tabla III.17).

Teniendo en cuenta la información etnobotánica y la ecología isotópica de las plantas silvestres comestibles de la región (Tabla III.19), resulta poco factible que el aporte C₄ en estas dietas mixtas proceda de recursos vegetales silvestres. De las 79 especies comestibles listadas en la Tabla III.19, el 86% tienen mecanismo fotosintético C₃, el 7% C₄ y el 7% CAM (Figura III. 34).

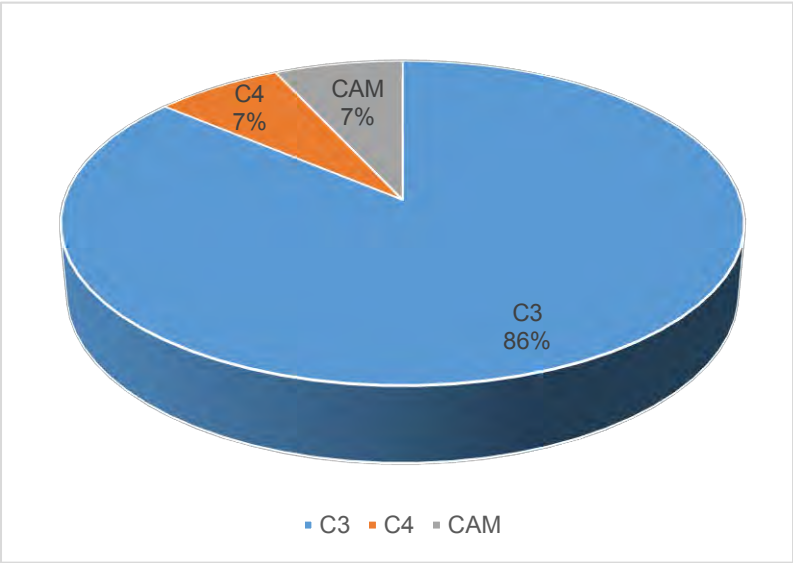


Figura III.34 Gráfico de representación proporcional de especies vegetales comestibles de la región de estudio (Tabla III.19), de acuerdo al mecanismo fotosintético reportado.

Las especies comestibles C₄ no representan recursos particularmente abundantes ni cuentan con referencias etnobotánicas que indiquen que hayan constituido recursos importantes en la dieta de las poblaciones indígenas. Para algunas especies, como *Chenopodium ambrosoides* o *Cyperus* sp., las fuentes dan cuenta de su uso como condimento (Rapoport et al. 2009; Clement 1999). Otras, como *Ibicella lutea* o *Setaria geniculata*, tienen pequeños frutos o granos comestibles (Rapoport et al. 2009) que requerirían de un consumo a gran escala para dejar una huella isotópica.

Tabla III.19. Listado de especies vegetales comestibles encontradas en el este del Uruguay, con indicación de su mecanismo fotosintético.

Especie	Mecanismo Fotosintético
<i>Acacia caven</i> Molina	C ₃
<i>Acanthosyris spinescens</i> (Mart. & Eichler) Griseb	C ₃
<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Hieron. ex Niederl.	C ₃
<i>Azolla filiculoides</i> Lam.	C ₃
<i>Baccharis</i> spp.	C ₃
<i>Berberis laurina</i> Billb.	C ₃
<i>Bidens laevis</i> (L.) Britton, Sterns & Poggenb.	C ₃
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg	C ₃

Tabla III.19 Continuación

<i>Bromelia antiacantha</i> Bertol.	CAM
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	C ₃
<i>Butia odorata</i> (Barb. Rodr.) Noblick	C ₃
<i>Canna glauca</i> L.	C ₃
<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	C ₃
<i>Celtis tala</i> Gillies ex Planch.	C ₃
<i>Cereus uruguayanus</i> R. Kiesling	CAM
<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.	C ₄
<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl.	C ₃
<i>Cissampelos pareira</i> L.	C ₃
<i>Cissus palmata</i> Poir.	CAM
<i>Commelina erecta</i> L.	C ₃
<i>Cyperus esculentus</i> L.	C ₄
<i>Dioscorea sinuata</i> Vell.	C ₃
<i>Echinodorus grandiflorus</i> (Cham. & Schltdl.) Micheli	C ₃
<i>Eichhornia azurea</i> (Sw.) Kunth	C ₃
<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	C ₃
<i>Ephedra tweediana</i> Fisch. & C.A. Mey.	C ₃
<i>Eryngium pandanifolium</i> Cham. & Schltdl.	C ₃
<i>Erythrina crista-galli</i> L.	C ₃
<i>Eugenia uniflora</i> L.	C ₃
<i>Eugenia uruguayensis</i> Cambess.	C ₃
<i>Eupatorium hecatanthum</i> (DC.) Baker	C ₃
<i>Ficus luschnathiana</i> (Miq.) Miq.	C ₃
<i>Gnaphalium</i> sp.	C ₃
<i>Guadua trinii</i> (Nees) Nees ex Rupr.	C ₃
<i>Guettarda uruguensis</i> Cham. & Schltdl.	C ₃
<i>Hypochaeris</i> spp.	C ₃
<i>Hyptis mutabilis</i> (Rich.) Briq.	C ₃
<i>Ibicella lutea</i> (Lindl.) Van Eselt.	C ₄
<i>Ipomoeae platensis</i> Ker Gawl.	C ₃
<i>Lantana camara</i> L.	C ₃
<i>Leersia hexandra</i> Sw.	C ₃
<i>Lepidium didymum</i> L.	C ₃
<i>Lepismium lumbricoides</i> (Lem.) Barthlott	CAM
<i>Luziola peruviana</i> Juss. ex J.F. Gmel.	C ₃
<i>Mikania micrantha</i> Kunth	C ₃
<i>Muehlenbeckia sagittifolia</i> (Ort.) Meissn.	C ₃
<i>Myrceugenia glaucescens</i> (Cambess.) D. Legrand & Kausel	C ₃
<i>Ocotea acutifolia</i> (Nees) Mez	C ₃
<i>Opuntia</i> spp.	CAM
<i>Oxalis</i> spp.	C ₃
<i>Passiflora caerulea</i> L.	C ₃
<i>Physalis viscosa</i> L.	C ₃
<i>Phytolacca dioica</i> L.	C ₃
<i>Pluchea sagittalis</i> (Lam.) Cabrera	C ₃
<i>Portulaca oleracea</i> L.	C ₄ -CAM

Tabla III.19 Continuación

<i>Pouteria salicifolia</i> (Spreng.) Radlk.	C ₃
<i>Psidium cattleyanum</i> Sabine	C ₃
<i>Rhynchoryza subulata</i> (Nees) Baill.	C ₃
<i>Rollinia emarginata</i> Schltdl.	C ₃
<i>Rumex pulcher</i> L.	C ₃
<i>Salpichroa organifolia</i> (Lam.) Baill.	C ₃
<i>Salvinia</i> sp.	C ₃
<i>Sambucus australis</i> Cham. & Schltdl.	C ₃
<i>Sapium haemospermum</i> Müll. Arg.	C ₃
<i>Sarcocornia ambigua</i> (Michx.) M.Á. Alonso & M.B. Crespo	C ₄
<i>Schinus longifolia</i> (Lindl.) Speg.	C ₃
<i>Senecio bonariensis</i> Hook. & Arn.	C ₃
<i>Senna corymbosa</i> (Lam.) H.S. Irwin & Barneby Lam.	C ₃
<i>Setaria geniculata</i> P. Beauv.	C ₄
<i>Solanum commersonii</i> Dun.	C ₃
<i>Solanum sisymbriifolium</i> Lam.	C ₃
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	C ₃
<i>Thalia geniculata</i> L.	C ₃
<i>Thalia multiflora</i> Horkel	C ₃
<i>Tropaeolum pentaphyllum</i> Lam.	C ₃
<i>Typha domingensis</i> Pers.	C ₃
<i>Vigna luteola</i> (Jacq.) Benth.	C ₃
<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke	C ₃
<i>Xanthium spinosum</i> L.	C ₃

Por otro lado, en la Tabla III.20 se presenta una recopilación de la señal isotópica del maíz, las cucúrbitas y los porotos obtenida de fuentes bibliográficas referentes a Argentina y Chile. Estos tres recursos han sido identificados en el registro arqueológico de los cerritos de indios del este de Uruguay (ej. del Puerto e Inda 2008, 2005a; Iriarte et al. 2004, 2001; Olivero y Campos 2001; apartado III.3), por lo que su consumo se halla más firmemente sustentado que el de muchas de las especies listadas en la Tabla III.19. De acuerdo a los valores isotópicos de estos cultivos, solo el maíz podría estar aportando al componente C₄ de la dieta mixta inferida para los individuos con mayores valores $\delta^{13}\text{C}$.

Tabla III.20. Valores isotópicos de referencia para especies cultivadas presentes en el registro arqueológico regional. Fuentes: Gil et al. 2010; Falabella et al. 2007

Especie	Procedencia	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
		13,1	-23,2
<i>Cucurbita maxima</i> Duchesne	Centro-Occidente (C.O) Argentina	6	-26,7
		7	-24,3
		9,8	-24,2
			-26,6
<i>Cucurbita</i> sp.	Chile Central		-27,2
<i>Lagenaria</i> sp.			-25,4
<i>Lagenaria</i> sp.	C.O Argentina	10,4	-25,7
<i>Phaseolus lunatus</i> L.	Chile Central		-24
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	C.O Argentina	5,5	-11,2
	Chile Central		-9,7
<i>Zea mays</i> L.		9,6	-9,1
	C.O Argentina	10,2	-10,3
		9,5	-9,7
<i>Zea mays</i> (semilla)	C.O Argentina	3,4	-9,6
		3,9	

III.4.4 Conclusiones

Los datos presentados y discutidos muestran una gran consistencia entre sí y con los antecedentes arqueológicos existentes para el área, si bien continúan siendo limitados para un análisis en profundidad que permita reconstruir con mayor resolución la paleodieta de los constructores de cerritos. Además de que la muestra es aún muy reducida, no todos los restos óseos tienen los mismos indicadores analizados. El análisis integrado de las señales isotópicas $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{ap}}$ y $\delta^{15}\text{N}$ es sustancial para evaluar los aportes a la dieta en forma integral, discriminando el consumo de recursos marinos y los distintos componentes proteicos y no proteicos.

Al mismo tiempo, la falta de cronologías directas sobre las muestras óseas, así como de referencias completas de sexo y edad de los individuos analizados, dificulta vincular las diferencias isotópicas relevadas con variaciones temporales y/o culturales en las prácticas alimenticias.

El indicio más claro de una diferencia marcada en la alimentación está dado por la fuerte incidencia de recursos marinos en los dos individuos con cronologías próximas al 3000 a¹⁴C AP, ambos procedentes de sitios costeros (Figuras III.32 y III.35). Aunque la muestra es muy escasa como para realizar generalizaciones, no puede desconocerse que el registro arqueológico

regional evidencia una intensificación de las ocupaciones costeras para el periodo comprendido entre ~4500-2500 años ^{14}C AP, denotada por una mayor densidad de ocupaciones en las costas lacustres y oceánicas y con la explotación más especializada de recursos marinos (ej., Inda et al. 2011, 2006; López Mazz y Villamarzo 2009; López Mazz et al. 2009; Castiñeira et al. 2001).

Las restantes muestras proceden de inhumaciones presumiblemente posteriores, incluso considerando los fechados de las capas estratigráficas. Ninguna de ellas evidencia valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ tan elevados que puedan vincularse con una importante ingesta de recursos marinos o de maíz (Figura III.35). En relación a los recursos marinos, los valores $\delta^{15}\text{N}$ confirman que los mismos no constituyeron la base de la dieta para los individuos inhumados con posterioridad a ~2500 a ^{14}C AP. Lo anterior no niega su consumo, que se haya fuertemente evidenciado por los restos arqueofaunísticos recuperados de las excavaciones (ej. Capdepont y Pintos 2006; Pintos 2000; Pintos y Gianotti 1995). Los valores obtenidos simplemente indican que no constituyeron el recurso alimenticio por excelencia.

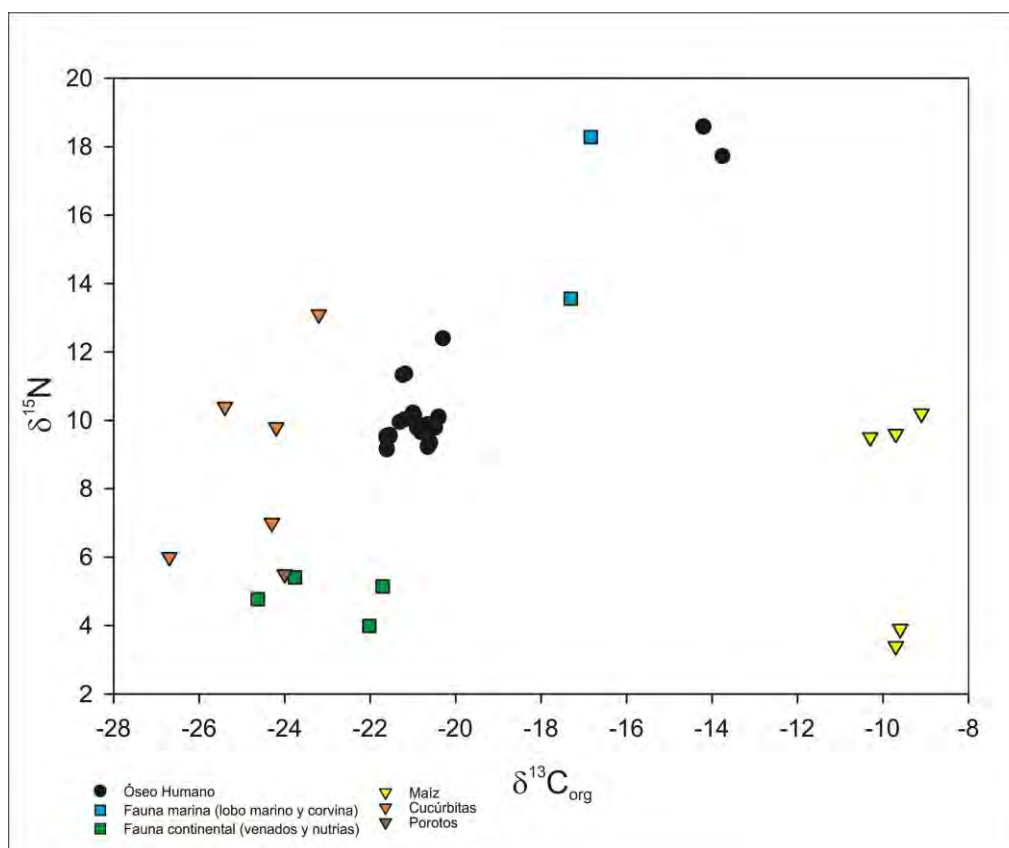


Figura III.35. Gráfico de dispersión de valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ y $\delta^{15}\text{N}$ de las muestras óseas consideradas (Tablas III.17 y III.18) y en los vegetales cultivados de referencia (Tabla III.20).

Algo similar puede argumentarse del consumo de maíz. Si bien los valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{col}}$ descartan un consumo importante de este cultivo como base de la dieta, algunos individuos evidenciaron

cierto aporte C_4 a la dieta. Solo uno de estos individuos, recuperado en el sitio CH2D01, cuenta con cronología directa que lo ubica hacia el 1000 a¹⁴C AP (Tabla III.17). Los restantes individuos tienen cronología asignada por asociación material o cronoestratigráfica. En el caso de los restos procedentes de Cráneo Marcado III, los mismos fueron recuperados de una unidad estratigráfica datada en 2730 ± 60 a¹⁴C AP (Capdepon y Pintos 2006). No obstante, en el sector superior de dicha unidad se recuperaron materiales europeos del siglo XVII, algunos asociados a enterramientos humanos y recuperados en los mismos niveles que restos los sometidos a análisis isotópicos (Capdepon 2004; Capdepon y Pintos 2002). Lo anterior puede ser un indicio de una cronología considerablemente más moderna para los restos analizados. De igual modo, los restos humanos del sitio CG14E01 con evidencias de dietas con aporte C_4 se hallan asociados a materiales de contacto europeo (Cabrera 1999), asignándoseles una antigüedad por asociación material de 350 a¹⁴C AP (1600 AD). Finalmente, el séptimo individuo con indicios de aporte C_4 a la dieta proviene también del sitio CH2D01 y tiene una cronología máxima asignada de 1350 a¹⁴C AP por cronoestratigrafía (fechado de la capa).

Si se considera el conjunto de cronologías asignadas al total de restos analizados, no se observan indicios claros que indiquen un cambio general en la dieta de los constructores de cerritos, vinculado a un incremento marcado en el consumo de maíz con el tiempo. Sin embargo, teniendo en cuenta las consideraciones efectuadas en relación a la cronología de los individuos con evidencias de aporte C_4 a la dieta, es posible proponer que estas dietas se hallan mayormente representadas en el último milenio, coexistiendo igualmente con dietas basadas puramente en recursos silvestres.

Más allá de las limitaciones de la muestra, los resultados obtenidos permiten confirmar la presencia de maíz en la dieta de los constructores de cerritos, constituyendo una vía independiente y directa que respalda los resultados del análisis arqueobotánico. Al mismo tiempo, permiten dimensionar el rol de los recursos cultivados, particularmente del maíz, en la subsistencia prehistórica. El maíz no constituyó la base de la alimentación, sino que se integró en forma parcial y variable en una dieta donde los recursos silvestres continuaron jugando un rol central. Pudo constituir un recurso complementario, de contingencia, o incluso relevante para la elaboración de bebidas fermentadas consumidas en actividades ceremoniales.

III.5 Conclusiones Generales del Capítulo

Los análisis desarrollados en este capítulo han permitido confirmar el potencial de los silicofitolitos como indicadores paleoetnobotánicos, así como afinar y ampliar la información existente en relación a las prácticas de procura, procesamiento y consumo de recursos vegetales en la prehistoria de la región este. Integrando los resultados taxonómicos, arqueobotánicos y de paleodieta con la información arqueológica y geocronológica contextual, se pueden identificar, a grandes rasgos, los siguientes cambios temporales en las prácticas de subsistencia para el Holoceno medio-tardío:

~4500-3000 a¹⁴C AP: durante el fin del Holoceno medio tuvo lugar una intensificación de las ocupaciones humanas en las costas lacustres y oceánicas, con una explotación más sistemática de los recursos marinos. Los patrones de asentamiento, la geocronología y el registro arqueofaunístico de los sitios de Laguna de Castillos y la costa atlántica (ej. Inda et al. 2011, 2006; López Mazz et al. 2009; Capdepon y Pintos 2006; Castiñeira et al. 2001), junto a la señal isotópica de los restos óseos humanos correspondientes a este periodo (CMIII-I7 y Aguas Dulces) apuntan a una dieta proteica fuertemente basada en recursos costeros. Esto no es extrapolable a todos los sitios del Holoceno medio en la región, sino a las ocupaciones humanas próximas a la costa. En forma complementaria, el registro arqueobotánico indica la explotación y consumo de recursos silvestres como las palmeras, achiras y ciperáceas.

~3000-1500 a¹⁴C AP: para el comienzo del Holoceno tardío las prácticas de subsistencia se encontraron más centradas en recursos continentales, con un marcado énfasis en herbívoros de gran porte (ej. cérvidos) y plantas silvestres de mecanismo fotosintético C₃. Si bien el registro arqueofaunístico evidencia que se mantuvo el consumo de recursos marinos (Capdepon y Pintos 2006; Pintos 2000) los datos isotópicos indican que éstos no constituyeron un componente sustancial de la alimentación durante este periodo. El registro arqueobotánico muestra una mayor riqueza de recursos explotados, con incorporación de bromelias, arroces silvestres, cañas y equisetáceas. También durante este periodo se registró la presencia de recursos posiblemente manejados y/o cultivados como las calabazas.

~1500-250 a¹⁴C AP: para los últimos 1500 años se hallaron evidencias de la incorporación de especies indiscutiblemente cultivadas en la dieta de los pobladores del área. Los registros arqueobotánicos e isotópicos permitieron identificar el consumo de maíz, aunque con un aporte secundario al componente no proteico de la alimentación. Además de ser secundario, el consumo parece no haber sido generalizado, ya que solo una fracción de los individuos de la misma

cronología (e incluso de los mismos sitios) analizados isotópicamente presentó señales de una dieta con aportes C_4 . El hallazgo de fitolitos de maíz y porotos en adherencias de cara interna de fragmentos cerámicos y en la superficie activa de instrumentos líticos, es señal del procesamiento de estos recursos para su consumo. Por otro lado, además del procesamiento y consumo se hallaron evidencias de prácticas de producción de maíz, aunque fuera de los sitios arqueológicos analizados. El registro de fitolitos asignables a maíz en depósitos sedimentarios de la costa de la Laguna Negra, datados en torno al 1000 a¹⁴C AP, indica el desarrollo de prácticas agrícolas que trascendieron los huertos domésticos. Esto implica el desarrollo de estrategias productivas específicas, basadas en el aprovechamiento de aportes de nutrientes y agua en la zona euritolar de la laguna. Como se argumentó anteriormente, la cronología de estos hallazgos no cuestiona necesariamente la presencia más temprana de prácticas productivas en base a recursos domesticados. En todo caso, pone de manifiesto el desarrollo de tecnologías (en el sentido más amplio de *know how*) específicas y una mayor incorporación a la dieta que, por otra parte, continuó basándose en la explotación de recursos silvestres.

IV. Síntesis, Integración Conclusiones

IV.1 Síntesis

IV.2 Integración

IV.3 Conclusiones



IV.1 Síntesis

En la Tabla IV.1 se presenta un esquema de los principales resultados obtenidos del análisis paleoclimático y paleoeconómico en los tres ejes transversales: 1) estudios comparativos actuales de fitolitos en plantas y sedimentos, 2) análisis fitolíticos aplicados a registros paleoambientales y arqueológicos y 3) contrastación/calibración de la información aportada por los fitolitos y generación de modelos integrados con información isotópica.

Dentro de cada eje transversal se obtuvieron resultados relevantes para la investigación de cada sub-área, que dan cumplimiento a los objetivos específicos planteados y que conforman la base de la síntesis y del análisis integral que se desarrollará en este capítulo.

Tabla IV.1 Síntesis de los principales resultados obtenidos en el análisis paleoclimático y paleoeconómico

Análisis / Aplicaciones	Reconstrucción paleoclimática	Modos de producción y estrategias de subsistencia
Estudios fitolíticos comparativos en plantas y sedimentos actuales	1. Generación de nuevo sistema de clasificación de fitolitos de gramíneas y catálogo 2. Capacidad de discriminar grupos de relevancia taxonómica (subfamilias y tribus) y funcional (C₃:C₄) 3. Correlación de asociaciones fitolíticas con variables bioclimáticas	1. Definición de nuevos caracteres diagnósticos de <i>Zea mays</i> 2. Confirmación de identificación de fitolitos de maíz en registro paleolimnológico 3. Catálogo de fitolitos de especies de interés arqueológico
Análisis fitolíticos aplicados a registros paleoetnobotánicos	1. Nuevos registros paleolimnológicos para el Holoceno tardío 2. Modelos paleoclimáticos – paleoambientales de mayor resolución para el Holoceno tardío	1. Nuevos registros de recursos vegetales silvestres y cultivados. 2. Nuevas evidencias de prácticas de procesamiento de vegetales. 3. Reconocimiento de tendencias de cambio temporal en los sistemas productivos.
Calibración y/o contrastación de la información aportada por los silicofitolitos	1. Calibración fitolitos-clima actual y estimaciones cuantitativas de los cambios climáticos del Holoceno tardío 2. Contrastación e intercalibración de la señal climática de los fitolitos mediante análisis isotópicos 3. Modelo paleoclimático integrado (fitolítico y geoquímico) para el Holoceno tardío	1. Reconstrucción de paleodieta mediante análisis isotópicos 2. Confirmación de consumo de maíz en la prehistoria regional 3. Evaluación de la relevancia del maíz en la dieta. 4. Identificación de tendencias de cambio en la paleodieta. 5. Modelo integrado (fitolítico y geoquímico) de subsistencia para el Holoceno tardío

Los estudios comparativos sobre material vegetal de referencia permitieron profundizar en el conocimiento de la producción de silicofitolitos en gramíneas y otras especies de interés ambiental y arqueológico. A partir de la observación y descripción de las asociaciones fitolíticas, se generó un sistema de clasificación con 134 morfotipos básicos que se describen en el Anexo I. Esta información constituye la base de un catálogo de silicofitolitos en construcción, del cual se presenta un adelanto en el Anexo II.

A partir de análisis multivariados y morfométricos, se ratificó que los morfotipos definidos permiten identificar y discriminar grupos taxonómicos a distintos niveles, desde subfamilia hasta tribu y especie, como el caso del maíz. Trascendiendo la asignación taxonómica, el análisis discriminante mostró que los morfotipos correspondientes a células cortas de gramíneas permiten identificar el mecanismo fotosintético C_3 o C_4 de las especies parentales, siendo esta información de gran relevancia para las reconstrucciones paleoambientales.

En este mismo sentido, el análisis de fitolitos en sedimentos actuales a lo largo de gradientes ambientales demostró la sensibilidad climática de las gramíneas en general y de los silicofitolitos en particular, estableciéndose correlaciones estadísticamente significativas entre grupos taxonómicos y funcionales y variables bioclimáticas relevantes para estudios paleoecológicos.

Una vez establecidas las bases comparativas actuales, la aplicación del análisis fitolítico al registro subfósil permitió aumentar la resolución de los modelos paleoclimáticos y paleoeconómicos para el Holoceno tardío en la región. Se obtuvieron nuevos registros que verifican y amplían la información existente sobre los cambios climáticos acaecidos durante el último milenio de nuestra era, así como en relación a prácticas prehistóricas de producción, procesamiento y consumo de recursos silvestres y cultivados.

Finalmente, los ensayos de calibración y contrastación de la información aportada por los fitolitos brindan mayor confiabilidad a las reconstrucciones generadas. La integración de información isotópica, a su vez, permite mayor resolución en el estudio de los procesos naturales y culturales que intervinieron en la generación del registro y que forman parte esencial de esa dinámica humano-ambiental que se pretende desentrañar.

IV. 2 Integración

Dando cumplimiento al objetivo general de esta tesis, a partir de la integración de la información paleoclimática y paleoeconómica generada y articulando a su vez con los antecedentes locales y regionales, se propone el siguiente modelo general de dinámica humano-ambiental para el Holoceno de la región este (Figura IV.1), con énfasis en los últimos 3000 años:

~10000-~7000 a¹⁴C AP (~9480-~5825 a Cal. AC):

El comienzo del Holoceno fue la fase final del calentamiento progresivo y del ascenso del nivel del mar, que llegó a hallarse 120 metros por debajo del nivel actual durante el máximo de la última glaciación, hace unos 26.000 años (ej. Bracco et al. 2014, 2011b; Cavallotto et al. 2004). A pesar del calentamiento general del clima, las condiciones eran aún más frías y secas que las actuales, favoreciendo el desarrollo de una vegetación de tipo estepa (ej. del Puerto et al. 2011; Iriarte 2007). Los bañados característicos de la región aún no se habían desarrollado en su extensión histórica, por encontrarse el nivel de base por debajo del actual. Bajo estas condiciones se dan las primeras ocupaciones humanas registradas para la región (López Mazz 2012).

• ~7000-~5000 a¹⁴C AP (~5825- ~3670 a Cal. AC):

Hacia el 7000 a¹⁴CAP el mar alcanzó su nivel actual (Martínez y Rojas 2013) y continuó ascendiendo hasta superarlo entre 4 y 5 metros hacia el 6000-5500 a¹⁴CAP (Bracco et al. 2014, 2011b; Martínez y Rojas 2013, 2011). Este evento, conocido como Máximo Transgresivo del Holoceno, fue acompañado por condiciones climáticas más cálidas y húmedas (del Puerto et al. 2011; Iriarte 2007). Como consecuencia de un nivel de base alto empezó el desarrollo de las lagunas costeras, a partir de entonces golfos o ensenadas abiertas al mar, generándose bañados salobres y marismas en las zonas bajas litorales (ej. Inda et al. 2011; Blasi et al. 2005). La vegetación dominante era de pastizales invernales y estivales, con buen desarrollo de comunidades hidrófilas, halófilas y palmares (del Puerto et al. 2011). El ahogamiento de los drenajes producto del aumento del nivel de base habría generado extensos bañados de agua dulce en las planicies altas. Los cursos mayores que desagotan actualmente el exceso de agua hacia la Laguna Merín (Ríos Cebollatí y San Luis) aún no se habían entallado y carecían de competencia, por lo que estas planicies altas, como las de la zona de India Muerta, habrían permanecido inundadas gran parte del año (Bracco et al 2012).

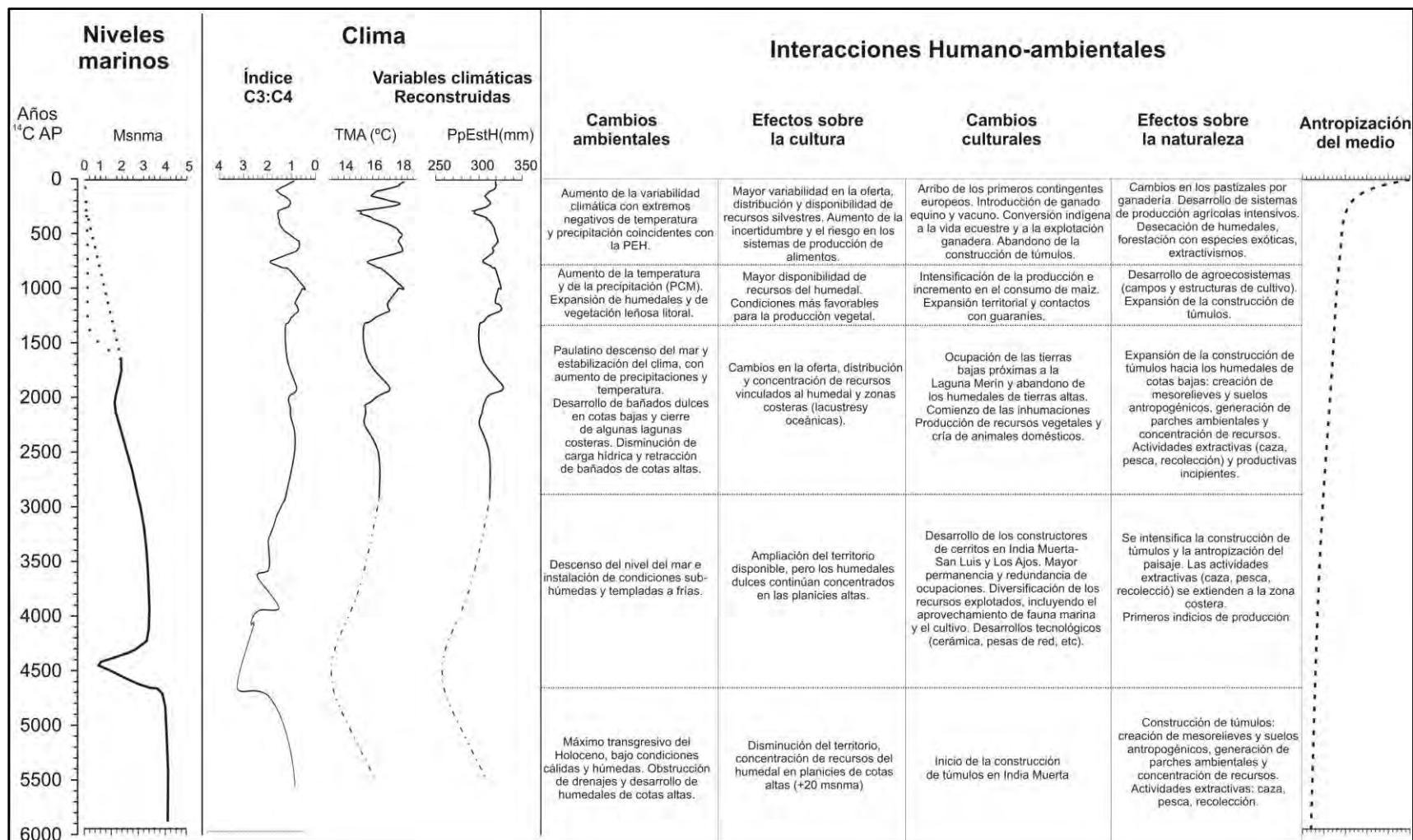


Figura IV.1. Modelo de evolución ambiental e interacciones humano-ambientales para el Holoceno medio y tardío en el este de Uruguay. La curva de variación de los niveles marinos corresponde a Bracco et al. (2011, 2014) y la de cambios en la relación C₃:C₄ a partir de fitolitos fue tomada de del Puerto et al. (2013). A partir de esta última se estimaron las tendencias de las variables climáticas reconstruidas para el periodo previo al 3000 a ¹⁴C AP (líneas punteadas en TMA y PpEstH).

De acuerdo a los datos disponibles, en este escenario habría comenzado la construcción de los primeros cerritos de indios, ubicados en las zonas del Bañado de India Muerta. Con el mar invadiendo las zonas bajas, las planicies de cotas superiores y las serranías que las irrumpen debieron constituir zonas propicias para la ocupación de poblaciones humanas que desarrollaban economías principalmente extractivas (caza, recolección y pesca) basadas en el humedal (ej. López Mazz et al. 2004; Pintos 2000; López Mazz y Bracco 1994). Estas poblaciones aprovecharon las oportunidades que ofrecía el medio local, al tiempo que comenzaron a modificar sustancialmente las condiciones físicas y bióticas de su entorno. La propia construcción de túmulos – único mesorelieve existente en las tierras bajas y medias – dio lugar a la generación de suelos antropogénicos (*sensu* Edit 1985), con características de productividad (fertilidad, drenaje, porosidad) muy superiores a los de cualquier suelo natural de nuestro país (ej. Bracco y Ures 2001; Bracco et al. 1999). Si bien este resultado pudo ser producto de actividades que perseguían otros fines (acondicionamiento y uso de espacios domésticos y/o ceremoniales, por ejemplo), no necesariamente fue desconocido y/o desaprovechado por los constructores de cerritos. Muchos de los túmulos exhiben hoy día una vegetación arbórea/arbustiva que contrasta con el pastizal circundante, por lo que son conocidos localmente como “islas” (ej. Dabiez et al. 2013). Como tales, constituyen parches donde se concentran recursos de flora y fauna y sirven, hasta hoy día, para resguardo de las inundaciones para humanos y otros animales. También son altamente valorados y utilizados como quintas para cultivos domésticos, como maíz, zapallos, porotos y papas (ej. Castillo et al. 2001). A pesar de que en Uruguay aún está pendiente el estudio del efecto de los cerritos sobre la riqueza, distribución y diversidad de especies, es incuestionable que la construcción de túmulos ha generado un impacto – visible y vigente al día de hoy – sobre la biota, las sociedades y los paisajes de las tierras bajas. Los paisajes antrópicos así generados constituyen, ante todo, una evidencia notoria de las prácticas de manejo ambiental desarrolladas por las poblaciones prehistóricas desde el Holoceno medio en la región.

- ~5000-~3000/2500 a¹⁴C AP. (~3670 – 1230/435 a Cal. AC):

El mar comenzó a descender, dando lugar a la conformación de extensos bañados salobres en las planicies bajas y al paulatino cierre de las lagunas costeras (ej. Inda et al. 2011; García-Rodríguez 2002). Este descenso se produjo junto con una disminución de la temperatura y precipitaciones menores y/o estacionales, con déficit en el periodo estival (del Puerto et al. 2011; Iriarte 2006a). La disminución/estacionalidad de las precipitaciones habría llevado a la concentración de sales en las planicies bajas, demorando el desarrollo de los humedales y lagunas dulceacuícolas. Este es el periodo de mayor construcción de cerritos en los bañados de cotas altas y las sierras, indicando que estos lugares seguían siendo los más propicios para la ocupación humana. A pesar

de la disminución de las precipitaciones, los bañados de zonas altas debieron permanecer inundados al menos una parte del año debido a que los drenajes aún no estaban desarrollados plenamente. Esto podría explicar la concentración de cerritos en estas áreas, hallándose los sitios de mayor densidad y los túmulos de mayor altura. La restricción espacial aparece como la causa de una mayor redundancia y permanencia en las ocupaciones humanas.

Entre el 4000 y 3000 a¹⁴C AP también se registra una intensificación de las ocupaciones costeras, tanto oceánicas como lacustres (ej. Inda et al. 2011, 2006; López Mazz et al. 2009). La importancia del consumo de recursos marinos durante ese periodo quedó evidenciada por los resultados de los análisis isotópicos en restos óseos humanos (Apartado III.4). El incremento en el aprovechamiento estacional de recursos costeros pudo haber formado parte de una estrategia de diversificación de la subsistencia para hacer frente a periodos de estrés ambiental. La alta conectividad de los ambientes de las tierras bajas (sierras, planicies altas con palmares y bañados dulceacuícolas, planicies bajas con bañados salobres y lagunas costeras, costa oceánica) debió constituir un elemento clave para la permanencia y desarrollo de los contingentes humanos.

Hacia mediados del periodo se registran los primeros indicios de otras innovaciones que debieron acompañar esta estrategia de diversificación y disminución del riesgo y la incertidumbre. El registro arqueobotánico muestra las primeras evidencias de producción de recursos vegetales, tales como *Zea mays* L. (maíz), *Cucurbita sp.* (zapallos) y *Phaseolus sp.* (porotos), junto con una amplia variedad de plantas silvestres explotadas (ej. del Puerto e Inda 2008; Iriarte 2007, 2006b). La implementación de prácticas productivas estuvo acompañada de cambios culturales que se aprecian en el subsistema tecnológico: comienzo del periodo alfarero (cerámica) y mayor proliferación de instrumentos de molienda, ambos vinculables a cambios en las formas de procesamiento y consumo de los recursos silvestres, manejados y cultivados (ej. Bracco et al. 2009; Capdepon et al. 2005, 2002). Los recursos cultivados, no obstante, aparecen aún muy deprimidos en el registro arqueobotánico (Apartado III.3) y su consumo no se evidencia en la señal isotópica de los restos óseos humanos analizados (Apartado III.4). Las evidencias arqueológicas indican que la subsistencia se basó fuertemente en la explotación de recursos silvestres, animales y vegetales, entre los que se destacan peces marinos (principalmente corvina) en los sitios costeros y dulceacuícolas en los interiores, los cérvidos (venado de campo y ciervo de los pantanos) y las palmeras como recursos centrales (ej. Capdepon y Pintos 2006; Pintos 2000; López Mazz y Bracco 1994, 1992; Apartado III.3).

- ~3000/2500 – 200 a¹⁴C AP. (~1230/435 a Cal. AC – 1760 a Cal. AD):

Durante este periodo el clima y el nivel del mar fueron aproximándose a su condición actual, aunque con importantes oscilaciones (Apartado II.4, Figura IV.2). El clima comenzó a estabilizarse, instaurándose condiciones similares a las actuales hacia el 2000 a ¹⁴C AP. El retroceso del nivel del mar y el incremento en las precipitaciones habrían favorecido el lavado de las sales con la consecuente expansión y dulcificación de los bañados de cota baja y las lagunas costeras. Por contraste, los humedales de cotas altas comenzaron a retroceder, debido a la desobstrucción de los drenajes por la disminución del nivel de base. Esto, junto al aumento en las precipitaciones, llevó al encaje de cursos principales como el río Cebollatí y a la captura de sistemas hídricos menos competentes, como el India Muerta, afectando considerablemente la carga hídrica de estas zonas (Bracco et al. 2012). Ello explicaría el paulatino abandono de las áreas de India Muerta-Paso Barranca y Los Ajos con posterioridad al 3000 a¹⁴C AP, así como la expansión de la práctica de construcción de túmulos en las planicies bajas próximas a la Laguna Merín durante este periodo (ej. Bracco et al. 2011a; Copé 1991). La menor densidad de estos nuevos sitios y la altura considerablemente reducida de los cerritos tardíos, pueden vincularse a una disminución de la redundancia/permanencia de las ocupaciones, coherente con una menor constricción territorial. La presencia de inhumaciones en los cerritos para este periodo es un indicador de cambios en la significación social y cultural de estas estructuras y de un nuevo vínculo con lugares específicos dentro del territorio. La ausencia de inhumaciones previas a este periodo, no permite evaluar si se trata de una re-significación por parte de la misma población/grupo étnico, o bien esta innovación cultural es producto de un cambio poblacional.

A nivel regional, a este mismo periodo corresponde el inicio de la construcción de cerritos en las tierras bajas del noreste del Uruguay (a partir de *circa* 3200 a ¹⁴C AP), en el Delta del Paraná (*circa* 1600 a ¹⁴C AP) y en el curso inferior del Río Uruguay (*circa* 1800 a ¹⁴C AP) (ej. Gianotti y Bonomo 2013; Capdepon 2011; Bonomo et al. 2011; Gianotti et al 2009; Gianotti 2005; Sans 1985). Esto denota una expansión de la construcción de túmulos en tanto rasgo tecnológico (*sensu* López Mazz 1992) y, principalmente, de la antropización de los paisajes de las Tierras Bajas.

Si bien la progresiva estabilización del ambiente, principalmente en las planicies afectadas por los cambios en los niveles marinos del Holoceno, hizo posible la ocupación y transformación de estos nuevos espacios (ej. Castiñeira et al. 2013; Bracco et al. 2011b; López Mazz et al. 2004) la misma tuvo lugar bajo escenarios cambiantes, tanto climática como culturalmente.

Entre *circa* 1500-1000 a¹⁴C AP (800-1300 a Cal AD), tuvo lugar un periodo caracterizado por valores superiores de temperatura y precipitación, coincidente con Periodo Cálido Medieval. La

estimación cuantitativa efectuada a partir del registro fitolítico (Apartado II) indica que en el este de Uruguay la temperatura media anual alcanzó los 18°C (1,5°C superior a la actual) hacia el 1000 AD, mientras que la precipitación durante la estación húmeda habría superado los 325 mm para el mismo momento. Estas condiciones dieron lugar a cambios en la vegetación, denotados por el mayor desarrollo de vegetación arbórea, hidrófila y pastizales estivales (del Puerto et al. 2011).

Culturalmente, durante este periodo tuvo lugar la llegada de contingentes guaraníes en el este y litoral oeste del territorio uruguayo (Capdepon 2011), al tiempo que se evidencia un incremento en las prácticas productivas y en el consumo de recursos cultivados. Si bien existen evidencias más tempranas de presencia de especies domésticas (ej. Iriarte 2007, 2006a y b), recién hacia el 1500 a ¹⁴C AP (circa 500 a Cal. AD) se observan indicios claros de sistemas de producción específicos. El registro de fitolitos obtenido en Laguna Negra (Apartado II.1) es un indicador de prácticas de cultivo de borde de lagunas y bañados, vinculadas a los aportes estacionales de nutrientes que se generan en la zona euriitoral. Si bien este tipo de práctica fue propuesto para periodos anteriores (ej. Iriarte 2007) no existen evidencias concretas para antes del Holoceno tardío. También para este periodo se han evidenciado otros sistemas de cultivo, tanto en el este como en el noreste de Uruguay, vinculados a la construcción y/o aprovechamiento de estructuras en tierra, conocidas localmente como microrelieves (ej. Gianotti et al. 2013; Iriarte 2003). Finalmente, la señal isotópica de los restos óseos humanos recuperados en cerritos de indios (Apartado III.4), aportó las primeras evidencias directas de consumo de maíz en el este de Uruguay con posterioridad al 1500 a ¹⁴C AP. El conjunto de evidencias indica la existencia de prácticas agrícolas y la implementación de una dieta mixta durante los primeros 500 años de nuestra era. Estos cambios pudieron verse favorecidos por el incremento en las precipitaciones (al tratarse de una agricultura de secano), pero también por el contacto intercultural con grupos horticultores de filiación tupí-guaraní. Por otro lado, la expansión de estos contingentes guaraníes procedentes de la floresta tropical hacia el litoral este y oeste de Uruguay, también puede haberse visto favorecida por las condiciones climáticas y ambientales de este periodo. Fenómenos de expansión de las ocupaciones humanas e intensificación productiva (incluyendo sistemas mixtos de subsistencia) han sido vinculados al PCM en distintas zonas de Argentina (ej. Mazzanti y Quintana 2010; Mazzanti 2006; Martínez et al. 2004; Cioccale 1999; Laguens y Bonnin 1987). En las tierras bajas del Delta del Paraná, por ejemplo, las dataciones en cerritos de indios han mostrado un incremento en la ocupación humana desde circa 1200 a ¹⁴C AP hasta el siglo dieciséis de nuestra era, así como la presencia de prácticas hortícolas y de relaciones interculturales que incluyeron a parcialidades guaraníes (Bonomo et al. 2011). Los antecedentes

regionales y las nuevas evidencias generadas, permiten proponer que los cambios climáticos del PCM contribuyeron, en tanto facilitadores, con dichos procesos en el este del Uruguay.

El PCM finalizó hacia el 700 a¹⁴C AP (~1300 a Cal. AD) con un importante y brusco descenso en la temperatura y las precipitaciones, coincidente con el mínimo de actividad solar conocido como Wolf en el hemisferio norte (ver Apartado II.5). De acuerdo a las variables climáticas reconstruidas (Apartado II.4), en el este de Uruguay este cambio implicó un descenso de al menos 3°C en la TMA y una caída de 50 mm en las precipitaciones de la estación húmeda. Estas condiciones se habrían extendido por casi un siglo y dieron inicio al último sector del Holoceno, que se caracterizó por una importante variabilidad climática denotada por la alternancia de condiciones templadas y húmedas con periodos más fríos y secos.

Entre el 1400 y 1650 AD el clima habría mantenido condiciones similares a las actuales. En este escenario es que se produjo el arribo de las primeras expediciones europeas en el territorio y los primeros contactos con los grupos indígenas que lo habitaban. Sin embargo, existen muy pocas crónicas y relatos para este periodo, producto de las limitadas incursiones que se realizaron territorio adentro (Bracco 2004). Para el este de Uruguay no existen referencias conocidas que den cuenta de contacto con los grupos de constructores de cerritos que seguían ocupando la Cuenca de la Laguna Merín en ese entonces. La carencia de metales preciosos retrasó el interés de las autoridades coloniales por el territorio oriental del Uruguay, siendo escasas las incursiones y descripciones hasta la segunda mitad del siglo XVII. Esta situación comenzó a cambiar a partir de la fundación de la Colonia del Sacramento y de la expansión del ganado europeo (López Mazz y Bracco 2010), al descubrir la riqueza no mineral que presentaba el territorio: los pastizales. Al respecto, algunas de las crónicas tempranas, como el diario de navegación del portugués Pero Lope (1530-1532) refiere en este caso de las costas de Montevideo:

“La tierra es la más hermosa y apacible que yo jamás cuidé de ver. No había hombre que se hartara de mirar los campos y la hermosura de ellos” (en Arredondo 1958b:125).

Las evidencias arqueológicas señalan la presencia de grupos con economías mixtas ocupando los cerritos de las tierras bajas del este para este periodo. Los valores de isótopos estables sobre restos óseos humanos reportados en la Tabla III.17, son consistentes con consumo moderado de maíz junto a recursos animales y vegetales silvestres hasta mediados del siglo XVII (400 a ¹⁴C AP). Esto podría indicar que hasta entonces los grupos constructores de cerritos mantuvieron sus estrategias de subsistencia precedentes y que, a pesar de que mantuvieron contacto directo o indirecto con exploradores europeos, aun no se habrían visto fuertemente impactados por tal interacción.

Con la introducción y la rápida expansión del ganado vacuno y equino, comienza la exploración y colonización efectiva del territorio y la rápida transformación de las culturas indígenas que lo habitaban. Se estima que para mediados del siglo XVII (1650-1670) ya abundaban los vacunos en las proximidades de Maldonado (Bracco 2004). Las poblaciones indígenas se valieron de ese recurso, obteniendo movilidad e independencia alimenticia, lo que modificó fuertemente las pautas de interacción con la autoridad colonial (Bracco 2004).

Pero es también a partir de la segunda mitad del siglo XVII que se comienza a registrar una nueva disminución de la temperatura y una mayor variabilidad en las precipitaciones. Este cambio es coincidente con el mínimo de actividad solar conocido como Maunder, que constituyó el de mayor intensidad para el último milenio (Apartado II.5; Shindell 2009b). Estas condiciones, que se extendieron cerca de un siglo (~1650 – 1750 a Cal. AD) constituyeron el inicio de la Pequeña Edad de Hielo. Las referencias históricas, más abundantes para este periodo, dan cuenta de las condiciones imperantes. Por ejemplo, el padre misionero Francisco Jarque refiere en 1683:

“El temple de la tierra es frío, muy destemplado, por los vientos tormentosos, que la mayor parte del año reinan, con grandes aguaceros y tempestades de truenos, rayos y piedra. Es por la mayor parte llano el suelo, y sin árboles, como las tierras frías: hay muchos ríos, lagunas y anegadizos, que sirven de aguadas a las muchas vacas y caballos que se han multiplicado en campos tan extendidos por centenares de leguas y cubiertos siempre de crecidos pastos para todo género de animales” (Jarque 1683 en López Mazz y Bracco 2010:24).

El registro arqueológico de los cerritos de indios no permite establecer una continuidad efectiva en la construcción/ocupación de los túmulos para este periodo. Las descripciones del sur de Río Grande (Brasil) y este del Uruguay tampoco dan cuenta de poblaciones habitando y construyendo túmulos, señalando muchas fuentes el importante despoblamiento del territorio para ese periodo:

“en aquellas partes de la ribera del mar no hay ya gentío, sino algunos pocos en la Laguna de los Patos, donde nuestros portugueses van a hacer sus compras de indios” (Padre Luiz Pessoa 1658, en Bracco 2004: 71)

La captura y compra o “rescate” de esclavos indígenas realizada principalmente por los portugueses, pudo haber constituido un factor relevante que, junto a la adopción del modo ecuestre y una economía basada en el ganado europeo, llevaron a la retracción de las parcialidades indígenas hacia el interior del territorio (López Mazz y Bracco 2010; Cabrera 1992).

Para la primera mitad del siglo XIX (1800-1850 a Cal. AD) se registró un nuevo periodo de descenso de la temperatura y las precipitaciones, también coincidente con un mínimo de actividad solar, en este caso conocido como Dalton (Shapiro et al. 2011; Apartado II.5). Para entonces, las tierras bajas del este de Uruguay continuaban poco pobladas, pero ahora con “indios civilizados”, criollos y algunos bastiones coloniales. El botánico Auguste de Saint-Hilaire, en su recorrido desde Rio Grande del Sur hasta el litoral oeste uruguayo, en setiembre de 1820 realiza la siguiente descripción del territorio de este:

“Desde que abandoné Rio Grande, un viento muy fuerte y muy frio no ha dejado de soplar [...] En los campos que siguen siendo llanos, el pasto está aun reseco y es más bien grisáceo, a veces amarillento; los árboles que habían perdido sus hojas ni siquiera han empezado a dar brotes y no he visto casi ninguna flor. [...] Dos o tres casas que son siempre chozas. Algunos butiás dispersos en los campos” (de Saint-Hilaire 2005: 45).

Respecto a la población en las proximidades de la Villa de Rocha agrega:

“Los vastos campos que recorro están poblados mayormente de indios civilizados y sobre todo de mestizos que no tienen tierras y que van de una estancia a otra, se mezclan sin ceremonia con los que viven en la casa y comen con ellos tanta carne como quieran” (de Saint-Hilaire 2005: 73).

Del mismo relato se desprende que hasta las cercanías de Maldonado los campos continuaban sin cercar y que las prácticas ganaderas consistían en liberar caballos y vacas y dejar que se reprodujeran libremente. No obstante, también observó que allí donde el ganado escaseaba las pasturas eran más altas (de Saint-Hilaire 2005), claro indicio del efecto incipiente del ganado europeo sobre la composición y estructura de los pastizales nativos, que se vería incrementado con el posterior alambrado de los campos.

Debido a ello – y al incremento general del impacto antrópico sobre los ecosistemas estudiados – la información paleoambiental aportada para el último siglo (1900-2000 a Cal. AD) debe ser considerada con cautela, más allá de que los datos reconstruidos son consistentes con las tendencias en aumento de la temperatura y las precipitaciones establecidas a partir de registros instrumentales a nivel nacional (ej. Bidegain et al. 2012).

IV. 3 Conclusiones

Los resultados obtenidos son consistentes con la hipótesis general de trabajo, denotando la mutua influencia de los cambios climáticos y de las prácticas culturales en la conformación de los ambientes característicos de las tierras bajas. En este sentido, es posible afirmar que los cambios climáticos y ambientales del Holoceno tardío fueron significativos a escala de los ecosistemas, incluyendo a las poblaciones humanas como parte integral de los mismos. Estas mantuvieron una ductilidad suficiente como para ajustar sus estrategias ante los cambios del ambiente, tanto físicos como sociales. Dicha flexibilidad se ve reflejada en los patrones de asentamiento (ej. selección de lugares de habitación, movilidad estacional), en las estrategias de explotación de recursos (caza, pesca, recolección, manejo y producción de alimentos) así como en innovaciones tecnológicas vinculadas. Incluyen no solo los cambios acaecidos durante la prehistoria, sino también en la protohistoria e historia temprana de la región. La rápida adopción del caballo y de una vida nómada vinculada a la explotación ganadera, son también pruebas de esa ductilidad, así como lo es la integración final del indígena en la campaña y su contribución cultural y biológica al nacimiento del gaucho.

Muchas de estas estrategias implicaron también modificaciones en el ambiente a distintos niveles. Las más evidentes están representadas por la construcción de túmulos, práctica que tuvo inicio en el Holoceno medio. Durante el Holoceno tardío, no obstante, esta práctica se extendió a nivel regional, tanto hacia nuevos sectores de la cuenca de Laguna Merín como a tierras bajas del noreste uruguayo, del litoral del Río Uruguay y del Delta del Río Paraná. Esto denota una intensificación en las relaciones humano-ambientales, cuyas consecuencias que se extienden hasta la actualidad reforzando el fuerte vínculo entre diversidad biológica y cultural. Dicha intensificación también quedó manifiesta en relación a innovaciones tecnológicas en los sistemas de producción de alimentos durante los últimos 1500 años. Si bien la producción de alimentos no se constituyó en la base de la subsistencia, el desarrollo de sistemas agrícolas, con prácticas y tecnologías especializadas, implica un cambio importante en la interrelación del ser humano con el entorno vegetal, con consecuencias que alcanzan distintas esferas de la cultura: aspectos económicos, biológicos y también simbólicos. Esto es igualmente aplicable a las prácticas de manejo y posible domesticación de recursos animales, concebidas como parte de un proceso de intensificación en la relación humano-ambiental (Moreno 2014). Estas evidencias de intensificación no son aquí entendidas como indicadores de un proceso evolutivo unilineal hacia el desarrollo de sistemas agrícolas/pastoriles y sociedades centralizadas. Esa perspectiva determinista simple, no permitiría abordar otros aspectos de la relación entre naturaleza y

cultura, en la que los cambios pueden formar parte de estrategias coyunturales ante variaciones físicas, bióticas y sociales del entorno, e incluso responder a demandas de carácter simbólico antes que dietético, denotando el carácter dúctil y dinámico de la interacción socio-ambiental.

En este sentido, junto a los cambios del clima también existieron conflictos sociales y culturales que los favorecieron o potenciaron e implicaron modificaciones en las prácticas de subsistencia y en el ambiente, principalmente para el último milenio. Ejemplo de ello es el arribo de grupos guaraníes durante el PCM y su posible vinculación con la intensificación de los sistemas productivos. Pero fue sin dudas la llegada de contingentes europeos, con la introducción de equinos y vacunos y la consecuente transformación de los sistemas culturales y productivos, el mayor factor de impacto (por intensidad y duración) sobre los sistemas humano-ambientales de la región.

Referencias Bibliográficas

- Alexandre, A., J.D. Meunier, A. Mariotti y F. Soubies. 1999. Late Holocene Phytolith and Carbon-Isotope Record from a Latosol at Salitre, South-Central Brazil. *Quaternary Research* 51: 187-194.
- Alonso, E., 1997. *Plantas Acuáticas de los Humedales del Este*. PROBIDES, Rocha-Uruguay.
- Alonso, E. y M. Bassagoda. 2002. La vegetación costera del SE uruguayo: ambientes y biodiversidad. *Documentos de Divulgación*. Museo Nacional de Historia Natural y Antropología. Nº5. 6pp.
- Altesor, A., M. Oesterheld, E. Leoni, F. Lezama y C. Rodríguez. 2005. Effect of grazing on community structure and productivity of a Uruguayan grassland. *Plant Ecology* 179: 83-91
- Ambrose, S.H., 1993. Isotopic analysis of paleodiets: methodological and interpretive considerations. In: Sandford, M.K. (Ed.), *Investigations of Ancient Human Tissue*. Gordon and Breach, Langhorne, PA, pp. 59–130
- Anderson, D.G., K.A. Maasch, D.H. Sandweiss y P.A. Mayewski. 2007. Climate and culture change: exploring Holocene transitions. En: Anderson, D.G., K.A. Maasch y D.H. Sandweiss (Eds.) *Climate Change and Cultural Dynamics: A Global Perspective on Mid-Holocene Transitions*. Elsevier, pp1-23
- Andrade, T. y J. López Mazz. . La Emergencia de la Complejidad entre los Cazadores Recolectores de la Costa Atlántica Meridional Sudamericana. *Boletín de Antropología Americana*, nº.17, 18 y 19: 128-176.
- Arenas, P. 1983. Nombres y usos de las plantas por los indígenas maka del Chaco Boreal. *Parodiana*, 2 (2), pp. 131-229.
- Århem, K. 1993. Ecosofía makuna. En: F. Correa (org.), *La selva humanizada: ecología alternativa en el trópico húmedo colombiano*. Instituto Colombiano de Antropología/Fondo FEN Colombia/Fondo Editorial CEREC. Bogotá: 109-26.
- Arredondo, H., 1958a. *Santa Teresa y San Miguel*. El Siglo Ilustrado, Montevideo- Uruguay.
- Arredondo, H. 1958. Viajeros visitantes del Uruguay. *Revista de la Sociedad Amigos de la Arqueología*, tomo 15.
- Baeza J., A. Díaz, R.W. Melgar, A. Caimi, C. Etcheverry, J. Barone, S.L. Lucas, C. Gereda, A. Borchia y E. Barboza. 1974. Informe preliminar sobre los cerritos en la zona de Cañada de Las Pajas. *Actas del V Congreso Nacional de Arqueología*, Colonia.
- Baleé, W. 1986. Analise preliminar de inventario florestal e a etnobotânica Ka'apor (Maranhao). *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, Botânica*, 2(2) 29-50.

- Baleé, W. 1987. A etnobotánica quantitativa dos indioe Tembé (Rio Gurupí, Para). *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi, Botânica*, 3(1) 141-167.
- Baleé, W. 2006. The research program of Historical ecology. *Annu. Rev. Anthropol.* 35:75:98.
- Balée, W. & C. Erickson (Eds). 2006. *Time and Complexity in Historical Ecology: Studies in the Neotropical Lowlands*. Columbia Univ. Press, New York.
- Balée, W. & C. Erickson. 2006b. Time, Complexity and Historical Ecology. En: W. Balée & C. Erickson (Eds.) *Time and Complexity in Historical Ecology: Studies in the Neotropical Lowlands*. Columbia Univ. Press, New York: 1-17.
- Barreto, C. 2005. Social Complexity and Inequality in Ancient Amerindian Societies: Perspectives from the Brazilian Lowlands. *Working Paper* Number Nº63. Centre for Brazilian Studies University of Oxford, Oxford.
- Barrientos, G. 2011. Una aproximación alternativa para el estudio de la complejidad social. I Congreso Internacional de Arqueología de la Cuenca del Plata, 4to. Encuentro de Discusión Arqueológica del Nordeste Argentino y II Jornadas de Actualización en Arqueología Tupiguaraní. Buenos Aires. Abril de 2011
- Basile Becker, I. 1976. O indio kaingáng do Rio Grande do Sul. *Pesquisas. Antropologia*, n.º 29: 1-332.
- Behling, H. 2007. Late Qaternary vegetation, fire and climate dynamics of Serra do Araçatuba in the Atlantic coastal mountains of Paraná State, southern Brazil. *Veg. Hist. Archaeobot.* 16: 77-85
- Benz, B. 2006. Maize in the Americas. En: J.E. Staller, R. Tykot y B.Benz (Eds.), *Histories of Maize. Multidisciplinary Approaches to the Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication, and Evolution of Maize*. Elsevier, Londres. Pp. 3-6.
- Benz, B. y J.E. Staller. 2006. The Antiquity, Biogeography, and Culture History of Maize in the Americas. En: J.E. Staller, R. Tykot y B.Benz (Eds.), *Histories of Maize. Multidisciplinary Approaches to the Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication, and Evolution of Maize*. Elsevier, Londres. 665-672.
- Benz, B., L. Cheng, S. W. Leavitt y C. Eastoe. 2006. El Riego and Early Maize Agricultural Evolution. En: J.E. Staller, R. Tykot y B.Benz (Eds.), *Histories of Maize. Multidisciplinary Approaches to the Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication, and Evolution of Maize*. Elsevier, Londres. 73-80.
- Beovide, L., V. Mata y S. Campos. 2007. Los artefactos de molienda en la ocupación humana de la Cuenca Inferior del río Santa Lucía durante dos eventos transgresivos holocénicos. En: *Actas del XVI Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, pp. 151-156. Universidad Nacional de Jujuy, San Salvador de Jujuy.
- Beovide, L. 2008. Transformaciones productivas y dinámica costera: Más allá del concepto de cazadores-recolectores prehispánicos. En: J.P. Laporte, B. Arroyo y H. Mejía (Eds.) *XXII*

Simposio de Investigaciones Arqueológicas en Guatemala, pp.252-266. Museo Nacional de Arqueología y Etnología, Guatemala (versión digital).

- Bertoldi de Pomar H. 1971. Ensayo de una clasificación morfológica de los silicofitolitos. *Ameghiniana*, 8 (3-4): 317-328.
- Bidegain, M., C. Crisci, L. del Puerto, H. Inda, N. Mazzeo, J. Taks y R. Terra. 2012. *Clima de cambios: Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay*. FAO-MGAP. TCP URU/3302. Montevideo, 130 pp.
- Birks, H.J.B., Heiri, O., Seppa, H., Bjune, A.E., 2010. Strengths and weaknesses of quantitative climate reconstructions based on Late-Quaternary biological proxies. *Open Ecol. J.* 3, 68-110
- Blake, M. 2006. Dating the Initial Spread of *Zea mays*. En: J.E. Staller, R. Tykot y B. Benz (Eds.), *Histories of Maize. Multidisciplinary Approaches to the Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication, and Evolution of Maize*. Elsevier, Londres: 55-68.
- Blasi, A., Castiñeira, C., del Puerto, L., Inda, H., Bracco, B., García-Rodríguez, F. (2005). Sedimentación Holocena en los Bañados de Santa Teresa y el Registro Arqueológico, Planicie Costera del Departamento De Rocha, Uruguay. *Actas XVI Congreso Geológico Argentino*. La Plata Tomo IV:289-297.
- Bond, G., B. Kromer, J. Beer, R. Muscheler, M. Evans, W. Showers, S. Hoffmann, R. Lotti-Bond, I. Hajdas y G. Bonani. 2001. Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science* 294: 2130 –2136.
- Bonomo M., G. Politis y J. C. Castro. 2010. Primeros resultados de las investigaciones arqueológicas en el Delta Superior del Paraná y su contribución al atlas arqueológico de la provincia de Entre Ríos. *Folia Histórica del Nordeste* 18: 33-58.
- Bonomo, M., Politis, G. y C. Gianotti. 2011. Montículos, jerarquía social y horticultura en las sociedades indígenas del Delta del río Paraná (Argentina). *Latin American Antiquity* 22:297-333.
- Bonzani, R. y A. Oyuela-Caycedo. 2006. The Gift of the Variation and Dispersion of Maize: Social and Technological Context in Amerindian Societies. En: J.E. Staller, R. Tykot y B. Benz (Eds.), *Histories of Maize. Multidisciplinary Approaches to the Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication, and Evolution of Maize*. Elsevier, Londres: 344-356.
- Boyd, M. 2005. Phytoliths as paleoenvironmental indicators in a dune field on the northern Great Plains. *Journal of Arid Environments*, 61 (3):357-375
- Boyden, S. 2003. Human Ecology and Biohistory: Conceptual Approaches to Understanding Human Situations in the Biosphere. In: D. Steiner y M. Nauser (Eds.), *Human Ecology. Fragments of anti-fragmentary views of the world*, p. 31-45. Routledge, Londres.
- Bozarth, S. 1987. Diagnostic opal phytoliths from rinds of selected *Cucurbita* species. *American Antiquity*, 52(3): 607-615.

- Bozarth, S. 1990. Opal Phytoliths from Pods of Selected Varieties of Common Beans (*Phaseolus vulgaris*). *American Antiquity*, 55 (1): 98-104
- Bracco, D. 2004. *Charrúas, Guenoas y Guaraníes. Interacción y destrucción: Indígenas en el Río de la Plata*. Linardi y Risso, Montevideo, 398 pp.
- Bracco, R. 2006. Montículos de la Cuenca de la Laguna Merín: Tiempo, Espacio y Sociedad. *Latin American Antiquity* 17 (4), 511-540.
- Bracco, R. y C. Ures. 2001. Fósforo y áreas de actividad en el sitio PSL (Rocha, Uruguay). En *Arqueología Uruguaya Hacia el Fin del Milenio*, pp. 128-135. Gráficos del Sur, Montevideo.
- Bracco, R., C. Mañosa, V. Mata y S. Pintos. 1993. Análisis del conjunto cerámico correspondiente a elevación B del sitio CH2DO1, San Miguel, Rocha. *Actas del Encuentro Regional de Arqueología*, Melo - Cerro Largo. Ms.
- Bracco, R., D. Panario, O. Gutiérrez, O. Marozzi, L. Orsi, A. Castillo y L. Pereyra. 1999. *Suelos y "cerritos"*. Trabajo presentado en las Primeras Jornadas del Cenozoico en Uruguay. 20 y 21 diciembre 1999. Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay.
- Bracco, R., L. Cabrera y J.M. López Mazz. 2000a. La Prehistoria de las Tierras Bajas de la Cuenca de la Laguna Merín. En: A. Durán y R. Bracco (Eds.), *Arqueología de las Tierras Bajas*, pp.13-37. Ministerio de Educación y Cultura / Universidad de la República. Montevideo
- Bracco, R., M. Fregeiro, H. Panarello, R. Odino y B. Souto. 2000b. Dieta, modos de producción de alimentos y complejidad. En: A. Duran y R. Bracco Boksar (Eds.): *Arqueología de las Tierras Bajas*. Ministerio de Educación y Cultura, Montevideo, pp. 227-248.
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H. y C. Castiñeira. 2005. Middle-late Holocene Cultural and Environmental Dynamics in the East of Uruguay. *Quaternary International* 132: 37-45.
- Bracco, R., del Puerto, L. y H. Inda. 2008a Prehistoria y Arqueología de la Cuenca de la Laguna Merín. En D. Loponte y A. Acosta (Eds.), *Entre la tierra y el agua: arqueología de humedales de Sudamérica*, pp. 1-59. Asociación Amigos del Instituto de Antropología y Pensamiento Latinoamericano (AINA), Buenos Aires.
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H. y F. García-Rodríguez. 2008b. Un Aporte Crítico a partir de "Comentarios sobre Montículos de la Cuenca de la Laguna Merín: Tiempo, Espacio Y Sociedad". *Latin American Antiquity* 19 (3), 325-331.
- Bracco R.; del Puerto. L., Inda, H., Castiñeira, C., Garcia-Rodriguez, F., Panario, D. 2009. Cambios ambientales y arqueología en el actual territorio del Uruguay. *Cazadores-Recolectores del Cono Sur*. Vol.3:15-27.
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H., Panario, D., Castiñeira, C., y F. García-Rodríguez 2011a. The Relationship Between Emergence of Mound Builders in SE Uruguay and Climate Change Inferred from Opal Phytolith Records. *Quaternary International* 245: 62-73

- Bracco, R., García-Rodríguez, F., Inda, H., del Puerto, L., Castiñeira, C., Panario, D. 2011b. Niveles Relativos del Mar Durante el Pleistoceno Final – Holoceno en la Costa del Uruguay. En: F. García-Rodríguez (Comp.): *El Holoceno en la Zona Costera del Uruguay*. UCUR-UdelaR, Montevideo, p.: 65–94.
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H., Capdepon, I., Panario, D., y F. García-Rodríguez. 2012. Evolución Ambiental y Constructores de Cerritos en la Región de India Muerta. Un Replanteo. *Resúmenes Extendidos de la III Jornadas de Cenozoico* (CDR), Sociedad Uruguaya de Geología, Uruguay.
- Bracco, R., H. Inda, L. del Puerto, I. Capdepon, D. Panario, C. Castiñeira, F. García-Rodríguez. 2014a. A reply to “Relative sea level during the Holocene in Uruguay”. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Volume 401, Pages 166–170
- Bracco, R., H. Inda y L. del Puerto. 2015. Complejidad en montículos de la Cuenca de la Laguna Merín y análisis de redes sociales. *Intersecciones en Antropología* 16:271-286.
- Bremond, L., A. Alexandre, M. J. Wooller, C. Hély, D. Williamson, P.A. Schäfer, A. Majule, J. Guiot. 2008. Phytolith indices as proxies of grass subfamilies on East African tropical mountains. *Global and Planetary Change* 61: 209-224.
- Brochado, J.P. 1980. *The social ecology of the Marajoara culture*. Tesis de Maestría. Urbana, University of Illinois.
- Cabrera, L. 1992. El indígena y la conquista de la cuenca de la Laguna Merín. *Ediciones del Quinto Centenario*. Universidad de la República, 1:97-122.
- Cabrera, L., 1999. Funebria y sociedad entre los “Constructores de Cerritos” del Este uruguayo. In: López, J.M., Sanz, M. (Comps.), *Arqueología y Bioantropología de las Tierras Bajas*. Universidad de la República. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Montevideo, pp. 63-80.
- Cabrera, L., 2000. Los niveles de desarrollo sociocultural alcanzados por los grupos constructores del Este uruguayo. In: Simposio: “Arqueología de las Tierras Bajas”. Ministerio de Educación y Cultura, Montevideo, pp. 169-182.
- Cabrera, L. 2005. Patrimonio y arqueología en el sur de Brasil y este de Uruguay: cerritos de indios. *Saldvie* 5:221-254.
- Campos, S., L. del Puerto, H. Inda. 2001. Opal phytoliths analysis: its application to the archaeobotanical record in the East of Uruguay. En: J.D. Meunier & F. Colin (Org.). *Phytoliths: applications in Earth Sciences and Human History*, p. 129-142. Balkema.
- Capdepon, I. 2004. Presencia y Ausencia de restos óseos humanos en la Cuenca de la Laguna de Castillos, Región este del Uruguay. En: L. Beovide, 1. Barreto y C. Curbelo (Eds.), *La Arqueología Uruguaya ante los desafíos del Nuevo Siglo*. CD-ROM.
- Capdepon, I. 2011. *Arqueología de sociedades indígenas del litoral del río Uruguay*. Tesis Doctoral en Arqueología. Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires. 342 pp.

- Capdepon, I. y S. Pintos. 2002. Manifestaciones funerarias de los constructores de cerritos: enterramientos humanos en los túmulos de la Laguna de Castillos, Depto. de Rocha, Uruguay. En: Diana Mazzanti, Mónica Berón y Fernando Oliva (Eds.), *Del mar a los salitrales. Diez mil años de historia Pampeana en el umbral del tercer milenio*. pp. 107-120, Mar del Plata.
- Capdepon, I. y S. Pintos. 2006. Manejo y aprovechamiento del medio por parte de los grupos constructores de montículos: Cuenca de la Laguna De Castillos, Rocha - Uruguay. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXXI*: 117-132.
- Capdepon, I., L. del Puerto y H. Inda. 2002. Caracterización Tecnológica y Funcional del material cerámico arqueológico de la Cuenca de la Laguna de Castillos (Rocha-Uruguay). En: Diana Mazzanti, Mónica Beron y Fernando Oliva (Eds.), *Del mar a los salitrales. Diez mil años de historia Pampeana en el umbral del tercer milenio*. pp. 41-50. Mar del Plata.
- Capdepon, I., C. Castiñeira, L. del Puerto y H. Inda. 2004. 40X. Arqueología de lo Micro. En: L. Beovide, I. Barreto y C. Curbelo (Eds), *La Arqueología Uruguaya ante los desafíos del Nuevo Siglo*. CD-ROM.
- Capdepon, I., L. del Puerto y H. Inda. 2005. Instrumentos de molienda. Evidencias del procesamiento de recursos vegetales en la Laguna de Castillos (Rocha-Uruguay). *Intersecciones en Antropología* 6: 153-166.
- Capra, F. 1996. *La trama de la vida Una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Ed. Anagrama, Barcelona.
- Capra, F. 2002. Las conexiones ocultas: Implicaciones sociales, medioambientales, económicas y biológicas de una nueva visión del mundo. Anagrama. Barcelona, España. 389 pp.
- Carneiro, R. 1983. The Cultivation of Manioc Among the Kuikuro Indians of the Upper Xingu. En: R. B. Hames y W. T. Vickers (Eds.) *Adaptive Responses of the Native Amazonians*. Academic press, New York: 65-111.
- Carneiro, R. 1995. The History of Ecological Interpretations of Amazonia: Does Roosevelt Have It Right? En: L.E. Sponsel (Ed), *Indigenous Peoples and the Future of Amazonia: An Ecological Anthropology of an Endangered World*. University of Arizona Press, Tucson: 45-46.
- Carver, R.E. (Ed.). 1971. *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley, New York.
- Castillo, A., H. Inda, M. Llopart y B. Orrego. 2001. La dinámica de un registro arqueológico que no se detuvo con la llegada de la escritura. En: *Arqueología Uruguaya Hacia el Fin del Milenio*, Tomo II, pp. 395-404. Gráficos del Sur, Montevideo.
- Castiñeira C, Fernández G & Céspedes C. 2001. Procesos de formación del sitio Cráneo Marcado en el litoral de la Laguna de Castillos (Rocha, Uruguay). Una aproximación interdisciplinaria para su reconstrucción paleoambiental. *Arqueología Uruguaya hacia el fin del milenio* 1: 101-114. Gráficos del Sur, Montevideo

- Castiñeira, C., A. Blasi, G. Politis, M. Bonomo, L. del Puerto, R. Huarte, J. Carbonari, F. Mari y F. García-Rodríguez. 2013. The origin and construction of pre-Hispanic mounds in the Upper Delta of the Paraná River (Argentina). *Archaeological and Anthropological Science* 5: 37-57.
- Castiñeira, C., A. Blasi, M. Bonomp, G. POLITIS y E. Apolinaire. 2014. Modificación antrópica del paisaje durante el Holoceno tardío: las construcciones monticulares en el Delta Superior del Río Paraná. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 71 (1): 33 – 47.
- Cavallotto, J.L., R.A. Violante y G. Parker. 2004. Sea-level fluctuations during the last 8600 years in the de la Plata river (Argentina). *Quaternary International* 114, 155–165.
- Clayton, W.D., Harman, K.T. and Williamson, H. 2006 (onwards). GrassBase - The Online World Grass Flora. <http://www.kew.org/data/grasses-db.html>. [accessed 08 November 2012; 15:30 GMT]
- Clement, C. 1999. 1942 and the Loss of Amazonian Crop Genetic Resources. I. The Relation between Domestication and Human Population Decline. *Economic Botany* 53 (2): 188-202.
- Clement, C. 2006. Fruits trees and the transition to food production in Amazonia. En: W. Balée & C. Erickson (Eds.) *Time and Complexity in Historical Ecology: Studies in the Neotropical Lowlands*. Columbia Univ. Press, New York: 166-185.
- Cioccale, M.A. 1999. Climatic fluctuations in the Central Region of Argentina in the last 1000 years. *Quaternary International* 62: 35-47.
- Conde, D. y R. Sommaruga. 1999. A review of the state of Limnology in Uruguay. En : Wetzel & Gopal (Eds), *Limnology in Developing Countries*, Pp 1-31. International Scientific Publications/SIL, New Delhi
- Copê, S. 1991. A ocupacao pré-colonial do sul e sudeste do Rio Grande do Sul. En: A. Kern (Ed.), *Arqueología Prehistórica de Rio Grande do Sul*, pp. 191-220. Mercado Aberto, Porto Alegre.
- Cormier, L. 2006. Between the ship and the bulldozer: Historical ecology of Guajá subsistence, sociality, and symbolism after 1500. En: W. Balée y C. Erikson (Eds.), *Time and complexity in historical ecology*, p. 341-363. New York: Columbia University Press.
- Curbelo, C. y E. Martínez. 1992. Aprovechamiento de materias primas líticas para un área arqueológica relacionada con la Sierra de San Miguel, Depto. de Rocha, R.O.U. En: *Ediciones del V Centenario* 1:123-139, Universidad de la República, Montevideo.
- Curbelo, C., L. Cabrera, J.M. López Mazz, R. Bracco, N. Fusco, J. Femenias y E. Martínez. 1990. Sitio CH2D01, Área de San Miguel: estructura de sitio y áreas de actividad. *Revista do CEPA* 17 (20):333-344.
- Dabiez, J.M., L. del Puerto y C. Gianotti. 2013. Investigación y gestión de la prehistoria de la Región Este: nuevos enfoques del pasado para el presente. En: *Prehistoria de Rocha*.

Apuntes sobre poblamiento temprano de estas tierras. Intendencia Municipal de Rocha y Ministerio de Educación y Cultura. Pp:111-159.

Dansgaard, W., S. Johnsen, H. Clausen, D. Dahl-Jensen, N. Gundestrup, C. Hammer y H. Oeschger. 1984. North Atlantic climatic oscillations revealed by deep Greenland ice cores. *Climate Processes and Climate Sensitivity, Geophys. Monogr.*, Vol. 29, Amer. Geophys. Union, 288–298.

Della Coletta, L., G. Bielefeld Nardoto, S. Ribeiro Latansio-Aidar, H. Ribeiro da Rocha, M. Pereira Marinho Aidar, J. Pierre Henry Balbaud Ometto. 2009. Isotopic view of vegetation and carbon and nitrogen cycles in a cerrado ecosystem, southeastern Brazil. *Sci. Agric.* 66 (4): 467-475

de Saint-Hilaire. 2005. *Al Sur del Brasil, al Norte del Río de la Plata.* Colección del Rectorado, Universidad de la República, Montevideo. 274 pp.

del Puerto, O. 1969. Hierbas del Uruguay. *Cuadernos de Nuestra Tierra* 19. Ed. Nuestra Tierra. 68 pp.

del Puerto, L. 2011a. Ponderación de recursos vegetales silvestres del este del Uruguay: Rescatando el conocimiento indígena tradicional. *Trama. Revista de Cultura y Patrimonio*, v.: 3, p.: 22 – 41.

del Puerto, L. 2011b. *Silicofitolitos como indicadores paleoambientales. Bases comparativas y Reconstrucción paleoclimática a partir del Pleistoceno tardío en el SE del Uruguay.* Editorial Académica Española, Berlín, 168 pp.

del Puerto, L. y S. Campos. 1999. Silicofitolitos: un abordaje alternativo de la problemática arqueobotánica del Este de Uruguay. En Aschero, C. A., Korstanje, M. A. y P. M. Vuoto (Ed.), *En los Tres Reinos: Prácticas de Recolección en el Cono Sur de América*: 141-150. Ediciones Magna Publicaciones, Tucumán.

del Puerto, L. y H. Inda. 2005a. Silicofitolitos: Aplicaciones para la Reconstrucción de los Sistemas de Subsistencia Prehistóricos. *Anales de Arqueología y Etnología*, 59-60: 207-227. Facultad de Filosofía y Letras, UNC, Mendoza.

del Puerto, L. y H. Inda. 2005b. Paleoetnobotánica de los constructores de cerritos del noreste de Uruguay: análisis de silicofitolitos de la estructura monticular Yale27 y su entorno. *Traballos en Arqueoloxía do Paisaxe* 36: 109-122.

del Puerto, L. y H. Inda. 2008. Estrategias de Subsistencia y Dinámica Ambiental: Análisis de silicofitolitos en sitios arqueológicos de la cuenca de Laguna de Castillos, Rocha, República Oriental del Uruguay. En: Zucol, A.F., Osterrieth, M., y M. Brea (Eds.) *Fitolitos: estado actual de su conocimiento en América del Sur*, pp. 221-236. Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

del Puerto, L., H. Inda y A. Würschmidt. 2000. Fitolitos de cucúrbitas arqueológicas y actuales. *Actas del XI Simposio de Paleoetnobotánica y Palinología*, Tucumán

- del Puerto, L.; Inda, H.; García, F.; Castiñeira, C.; Bracco, R. 2006. Paleolimnological evidence of Holocene paleoclimatic changes in Lake Blanca, Southern Uruguay. *Journal of Paleolimnology*, v. 36, p. 151-163.
- del Puerto, L.; Inda, H.; García-Rodríguez, F. 2008a. Reconstrucción Paleoambiental para el Holoceno medio y tardío en la cuenca de la Laguna Negra: el aporte de los indicadores biosilíceos. En: Korstanje, A. y Babot, P (Org.). *Matices Interdisciplinarios en Estudios Fitolíticos y de Otros Microfósiles*. Ed. 1, BAR International Series. p. 119-129.
- del Puerto, L. , H. Inda y A. Korstanje. 2008b. Análisis fitolíticos en arqueología. En: Zucol, A.F., Osterrieth, M., y M. Brea (Eds.) *Fitolitos: estado actual de su conocimiento en América del Sur*, pp. 215-219. Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.
- del Puerto, L., García-Rodríguez, F., Bracco, R., Blasi, A., Inda, H., Mazzeo, M., Rodríguez, A. 2011: Evolución Climática Holocénica para el Sudeste del Uruguay: Análisis Multi-Proxy en Testigos de Lagunas Costeras. En: F. García-Rodríguez (Comp.): *El Holoceno en la Zona Costera del Uruguay*. UCUR-UdelaR, Montevideo, p.: 119 – 156.
- Denevan, W. 2006. Pre-European Forest Cultivation in Amazonia. En: W. Balée & C. Erickson (Eds.) *Time and Complexity in Historical Ecology: Studies in the Neotropical Lowlands*. Columbia Univ. Press, New York: 153-163.
- Deschamps, J. R., O. Otero y E. P. Tonni. 2003. Cambio climático en la pampa bonaerense: las precipitaciones desde los siglos XVIII al XX. Universidad de Belgrano, Departamento de Investigación, *Documentos de Trabajo* 109: 1-18.
- Descola, Ph. 1988. *La selva culta. Simbolismo y praxis en la ecología de los Achuar*. Ed. ABYA YALA/Instituto Francés de Estudios Andinos, Ecuador.
- Descola, Ph. 1993. *Las lanzas del crepúsculo. Relatos Jíbaros. Alta Amazonia*. Fondo de Cultura Económica, Méjico.
- Descola, Ph. 2004. Las cosmologías indígenas de la Amazonia. En: A. Surrallés y P. García Hierro (Eds.), *Tierra Adentro. Territorio indígena percepción del entorno*. Tarea Gráfica Educativa — Lima, Perú: 25-36
- Descola, Ph. 2011. Más allá de la Naturaleza y la cultura. En: L. Montenegro Martínez (ed.) *Cultura y Naturaleza*— 1ª ed. Jardín Botánico de Bogotá, Bogotá:75-97
- Descola, Ph. y G. Pálsson. 2001. Introducción. En: F. Descola y G. Pálsson (Eds), *Naturaleza y Sociedad. Perspectivas Antropológicas*. Ed. Siglo XXI, Méjico. Pp 11-33. 154.
- Doolittle, W.E. y C.D. Frederick. 1991. Phytoliths as indicators of prehistoric maize (*Zea mays* subsp. *mays*, Poaceae) cultivation. *Plant Systematic and Evolution* 177:175–184

- Edit, R. C. 1985. Theoretical and practical considerations in the analysis of anthrosols. En: Rapp, G. y Gifford, J.A. (Eds.) *Archaeological Geology*, Yale University Press: 155-190, New Haven.
- Epstein, H.E., R.A.Gill. J.M. PARuelo, W.K. Lauenroth, G.J. Jia y I.C. Burke. 2002. The relative abundance of three plant functional types in temperate grasslands and shrublands of North and South America: effects of projected climate change. *Journal of Biogeography* 29: 875-888.
- Eremites de Oliveira, J. de. 1995. *Os argonautas Guató. Aportes para o conhecimento dos assentamentos e da subsistencia dos grupos que se estabeleceram nas áreas inundáveis do Pantanal Matogrossense*. Porto Alegre, PUCRS. Dissertação de Maestrado.
- Escobar, A. 1999. ¿De quién es la naturaleza? La conservación de la biodiversidad y la ecología política de los movimientos sociales. En: Arturo Escobar, *El final del salvaje. Naturaleza, cultura y política en la antropología contemporánea*. Pp. 353-382. Bogotá: Cerec/ICANH
- Escobar, A. 2005. Más allá del tercer mundo: globalización y diferencia. Instituto Colombiano de Antropología e Historia -ICANH-, Bogotá.
- Escobar, A. 2011. Epistemologías de la naturaleza y colonialidad de la naturaleza. En: L. Montenegro Martínez (ed.) *Cultura y Naturaleza*— 1ª ed. Jardín Botánico de Bogotá, Bogotá: 49-73.
- Erickson, C. 2006. The Domesticated Landscapes of the Bolivian Amazon. En: W. Balée & C. Erickson (Eds.) *Time and Complexity in Historical Ecology: Studies in the Neotropical Lowlands*. Columbia Univ. Press, New York: 235-278.
- Erikson, C. 2010. The Transformation of Environment into Landscape: The Historical Ecology of Monumental Earthwork Construction in the Bolivian Amazon. *Diversity* 2:618-652.
- Erickson, C. y W. Balée. 2006. The Historical Ecology of a Complex Landscape in Bolivia. En: W. Balée & C. Erickson (Eds.) *Time and Complexity in Historical Ecology: Studies in the Neotropical Lowlands*. Columbia Univ. Press, New York: 187-234.
- Fagan, B.M. 2001. *The Little Ice Age: How Climate Made History, 1300–1850*. Basics Books, New York. 246 pp.
- Fairbridge, R.W. 2009. Medieval Warm Period. En: V. Gortinz, (Ed.). *Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments*, 551-554. Springer, Netherlands
- Falabella, F., M. T. Planella, E. Aspillaga, L. Sanhueza y R. Tykot. 2007. Dieta en sociedades alfareras de Chile Central: aporte de análisis de isótopos estables. *Chungara* 39 (1): 5-27.
- Falabella, F. M. T. Planella y R. Tykot. 2008. El maíz (*Zea mays*) en el mundo prehispanico de Chile Central. *Latin American Antiquity* 19(1): 25-46.
- Favier Dubois, C. M. 2002. Un suelo referible al Periodo Cálido Medieval en Patagonia Austral y Tierra del Fuego (Argentina). Aspectos cronológicos y paleoclimáticos. *Estudios Geol.*, 58: 95-102

- Fernández Honaine, M.F., A. Zucol y M. Osterrieth. 2006. Phytolith Assemblages and Systematic Associations in Grassland Species of the South-Eastern Pampean Plains, Argentina. *Annals of Botany* 98: 1155–1165.
- Fisher, R.F., Bourn, C.N. y W.F. Fisher. 1995. Opal phytolith as an indicator of floristics of prehistoric grasslands. *Geoderma* 68: 243–255
- Folk, R.L. 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Journal of Geology* 62 (4): 344–359.
- Fredlund GG, Tieszen LT. 1994. Modern phytolith assemblages from the North American Great Plains. *Journal of Biogeography* 21: 312–335.
- Fredlund, G.G. y L.L. Tieszen. 1997. Phytolith and Carbon Isotope Evidence for Late Quaternary Vegetation and Climate Change in the Southern Black Hills, South Dakota. *Quaternary Research* 47: 206–217
- Fregeiro, M.I. 2001. Un Acercamiento Epistemológico a los Estudios Analíticos de Paleodieta en Arqueología. En: *Arqueología Uruguaya hacia el Fin del Milenio*. Tomo 1: 463–478. Gráficos del Sur, Montevideo.
- Froehle, A.W., Kellner, C.M., Schoeninger, M.J. 2012. Multivariate carbon and nitrogen stable isotope model for the reconstruction of prehistoric human diet. *American Journal of Physical Anthropology* 147 (3), 352–369.
- Gallego, L. y R. Distel. 2004. Phytolith Assemblages in Grasses Native to Central Argentina. *Annals of Botany* 94: 865–874.
- Galvan, V. y C. Samec. 2012. A cada uno su verdad culinaria: Patrones paleodietarios Y variables ambientales en el NOA. En: Kuperszmit, N., T. Lagos, L. Lucciolo, M. Sacchi (Comp.), *Entre Pasados y Presentes III. Estudios Contemporáneos en Ciencias Antropológicas*. MNEMOSYNE: 487–508.
- García Rodríguez, F. 2002. *Estudio paleolimnológico de lagunas de Rocha, Castillos y Blanca, sudeste del Uruguay*. Tesis de Doctorado en Biología, opción Ecología. PEDECIBA. Facultad de Ciencias. Udelar. Mdeo. 228 pp.
- García-Rodríguez F., Sprechmann P., Metzeltin D., Scafati L., Melendi D.L., Volkheimer W., Mazzeo N., Hiller A., von Tümpling Jr. W. and Scasso F. 2004. Holocene trophic state changes in relation to sea level variation in Lake Blanca, SE Uruguay. *Journal of Paleolimnology* 31: 99–115
- García-Rodríguez, F., Piovano, E., del Puerto, L., Inda, H., Stutz, S., Bracco, R., Panario, D., Córdoba, F., Silvestre, F., Ariztegui, D. 2009: South American lake paleo-records across the Pampean Region. *PAGES Newsletter*, v. 17 (3), p. 115–117.
- García-Rodríguez, F., Stutz, S., Inda, H., del Puerto, L., Bracco, R., Panario, D. 2010: A multiproxy approach to infer Holocene paleobotanical changes linked to sea-level variation,

- paleosalinity levels and shallow lake alternative states in Negra Lagoon, SE Uruguay. *Hydrobiologia*, 646 (1): 5-20.
- Garreaud, R.D., Vuille, M., Campagnucci, R., Marengo, J., 2009. Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281: 180-195.
- Gianotti, C. 2000. Paisajes Monumentales en la Región Meridional Sudamericana. *Gallaecia*, Nº 19: 43-72.
- Gianotti, C. (ed) 2005. "Desarrollo metodológico y aplicación de nuevas tecnologías para la gestión integral del Patrimonio Cultural en Uruguay". TAPA 36. CSIC, Stgo. Compostela.
- Gianotti, C. y M. Bonomo. 2013. De montículos a paisajes: procesos de transformación y construcción de paisajes en el sur de la Cuenca del Plata. *Comechingonia* 17: 129-163.
- Gianotti, C., F. Criado Boado y J. López-Mazz. 2008. Arqueología del Paisaje: la construcción de cerritos en Uruguay. Excavaciones en el exterior 2007. *Informes y Trabajos*, Pp. 177-185. IPCE, MCU, Madrid.
- Gianotti, C., L. del Puerto, H. Inda e I. Capdepon. 2013. Construir para producir. Pequeñas elevaciones en tierra para el cultivo de maíz en el sitio Cañada de los Caponcitos, Tacuarembó (Uruguay). Revista *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano*, 1 (1): 12-25.
- Gil, A., R. Tykot, G. Neme y N. Shelnut. 2006. Maize on the Frontier: Isotopic and Macrobotanical Data from Central–Western Argentina. En: J.E. Staller, R. Tykot y B. Benz (Eds.), *Histories of Maize. Multidisciplinary Approaches to the Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication, and Evolution of Maize*. Elsevier, Londres: 199-212.
- Gil, A., G. Neme y R. Tykot. 2010. Isótopos estables y consumo de maíz en el centro occidente argentino: tendencias temporales y espaciales. *Chungara* 42:497-513.
- Gortinz, V. 2009 (Ed.). *Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments*. Springer, Netherlands. 1061 pp.
- Gosden, C. 1999. Food: where biology meets culture. En: Gosden, C. y J. Hather (Eds.), *The Prehistory of Food. Appetites for change*, p. 1-8. Routledge, New York.
- Graham, E. 2006. A Neotropical Framework for Terra Preta. En: W. Balée & C. Erickson (Eds.) *Time and Complexity in Historical Ecology: Studies in the Neotropical Lowlands*. Columbia Univ. Press, New York: 57-86.
- Gray, L. J., J. Beer, M. Geller, J.D. Haigh, M. Lockwood, K. Matthes, U. Cubasch, D. Fleitmann, G. Harrison, L. Hood, J. Luterbacher, G.A. Meehl, D. Shindell, B. van Geel y W. White. 2010. Solar Influences on Climate. *Reviews of Geophysics* 48 (4). DOI: 10.1029/2009RG000282

- Grela, I. 2004. *Geografía florística de las especies arbóreas de Uruguay: propuesta para la delimitación de dendrofloras*. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas, Opción Botánica. UdelaR, Montevideo. 103 pp
- Gudynas, E. 2004. *Ecología, Economía y Ética del Desarrollo Sostenible*. Coscoroba Ediciones, Montevideo.
- Gudynas, E. 2011. Imágenes, ideas y conceptos sobre la naturaleza en América Latina. En: L. Montenegro Martínez (ed.) *Cultura y Naturaleza*— 1ª ed. Jardín Botánico de Bogotá, Bogotá: 267-293
- Hammer, Ø., Harper, D. y P. Ryan. 2001. PAST: Palaeontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 4 (1):9pp. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Hastorf, C. 1999. Cultural implications of crop introductions in Andean prehistory. En: Gosden, C. y J. Hather (Eds.), *The Prehistory of Food. Appetites for change*, p. 33-56. Routledge, New York.
- Hastorf, C. 2006. Domesticated Food and Society in Early Coastal Peru. En: W. Balée & C. Erickson (Eds.) *Time and Complexity in Historical Ecology: Studies in the Neotropical Lowlands*. Columbia Univ. Press, New York: 87-126.
- Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G., 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: Reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology* 25: 101-110.
- Hernández Bermejo, J.E. y J. León (Eds.). 1992. Cultivos Marginados. Otra perspectiva de 1492. *Colección FAO: Producción y Protección Vegetal* Nº 26.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 1965-1978.
- IBERSIS, 2001. *Regulación Hídrica de los Bañados de Rocha*. Informe mecanografiado. EVARSA, Montevideo, Uruguay.
- Inda, H. y L. del Puerto. 2007. Antracología y Subsistencia: Paleoetnobotánica del Fuego en la Prehistoria de la Región Este del Uruguay. Puntas del San Luis, Paso Barrancas, Rocha, Uruguay. En: Marconetto, P. Babot y N. Oliszewski (Org.). *Paleoetnobotánica del Cono Sur: Estudios de casos y propuestas metodológicas*. Córdoba, Argentina, Ferreyra Editor, p. 137-152.
- Inda, H. y L. del Puerto. 2008. Posibilidades y Limitaciones en el diagnóstico de Zea mays L.: el caso de Laguna Negra, República Oriental del Uruguay. In: Alejandro Zucol, Margarita Osterrieth y Mariana Brea (Org.). *Fitolitos: estado actual de su conocimiento en América del Sur*. Mar del Plata, Universidad Nacional de Mar del Plata, p. 237-248.

- Inda, H.; García-Rodríguez, F; del Puerto, L.; Acevedo, V; Metzeltin, D; Castiñeira, C.; Bracco, R.; Adams, J.B. 2006a. Relationships between trophic state, paleosalinity and climatic changes during the first Holocene marine transgression in Rocha Lagoon, southern Uruguay. *Journal of Paleolimnology*, v. 35, p. 699-712.
- Inda, H.; del Puerto, L.; Castiñeira, C.; Capdepon, I; García, F. 2006b. Manejo prehistórico de recursos costeros en el litoral atlántico uruguayo. In: Menafrá, L. Rodríguez, F. Scarabino y D. Conde (Org.). Bases para el Manejo y Conservación de la Costa Uruguaya. Montevideo, Vida Silvestre, p. 661-667.
- Inda, H., L. del Puerto, R. Bracco, C. Castiñeira, I. Capdepon, A. Gascue, J. Baeza. 2011. Relación Hombre-Ambiente para la Costa Estuarina y Oceánica del Uruguay durante el Holoceno: Reflexiones y Perspectivas. En: F. García-Rodríguez (Comp.) *El Holoceno en la Zona Costera del Uruguay*. UCUR-UdelR, Montevideo, p.: 231 – 257.
- Ingold, T. 1996. Hunting and gathering as ways of perceiving the environment. En: Ellen, R. and K. Fukui (Eds), *Redefining Nature. Ecology, culture and domestication*. Berg, Oxford: 117–55.
- Ingold, T. 2000. *The Perception of the Environment*. Ed. Routledge, Londres.
- IPCC. 2007. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Eds.). Cambridge University Press.
- IPCC. 2013. Resumen para responsables de políticas. En: *Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Iriarte, J. 2003a. Assessing the feasibility of identifying maize through the analysis of cross-shaped size and three-dimensional morphology of phytoliths in the grasslands of southeastern South America. *Journal of Archaeological Science* 30:1,085–1,094.
- Iriarte, J. 2003b. *Mid-Holocene Emergent Complexity and Landscape Transformation: The Social Construction of Early Formative Communities in Uruguay, La Plata Basin*. Ph.D. thesis. Department of Anthropology, University of Kentucky.
- Iriarte, J. 2006a. Vegetation and climate change since 14.810 14C yr B.P. in southeastern Uruguay and implications for the rise of early Formative societies. *Quaternary Research* 65:20-32.
- Iriarte, J. 2006b. Landscape Transformation, Mounded Villages and Adopted Cultigens: The Rise of Early Formative Communities in South-Eastern Uruguay. *World Archaeology* 38:644-663.

- Iriarte, J. 2007. La Construcción Social y Transformaciones de las Comunidades del Período Formativo Temprano del Sureste de Uruguay. *Boletín de Arqueología PUCP*, 11, pp. 143-166.
- Iriarte, J. y E. Alonso. 2009. Phytoliths analysis of selected native plants and modern soils from southeastern Uruguay and its implications for paleoenvironmental and archaeological reconstruction. *Quaternary International* 193: 99:123.
- Iriarte, J., Holst, I., López Mazz, J. y L. Cabrera. 2001. Subtropical Wetland Adaptation in Southeastern Uruguay During the Mid-Holocene: An Archaeobotanical Perspective. En: B. Purdy (Ed.), *Enduring records: the environmental and cultural heritage of wetlands*, pp 62-70. Universidad de Florida.
- Iriarte, J., Holst, I., Marozzi, O., Listopad, C., Alonso, E., Rinderknecht, A. y J. Montaña. 2004. Evidence for Cultivar Adoption and Emerging Complexity During the Mid-Holocene in the La Plata Basin. *Nature* 432: 561-562.
- Iriarte, J., I. Holst, O. Marozzi, C. Listopad, E. Alonso, A. Rinderknecht y J. Montaña. 2008. Comentario Sobre "Montículos de la Cuenca de la Laguna Merín: Tiempo, Espacio, y Sociedad". *Latin American Antiquity* 19 (3):317-324
- Iriondo, M., 1999. Climatic changes in the South American plains: Records of a continent-scale oscillation. *Quaternary International* 57/58:93-112.
- Jaenicke-Després, V. y B. Smith. 2006. Ancient DNA and the Integration of Archaeological and Genetic Approaches to the Study of Maize Domestication. En: J.E. Staller, R. Tykot y B. Benz (Eds.), *Histories of Maize. Multidisciplinary Approaches to the Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication, and Evolution of Maize*. Elsevier, Londres: 83-92.
- Jackson, S.T. y Williams, J.W. 2004. Modern analogs in Quaternary Paleoecology: here today, gone yesterday and gone tomorrow? *Annual Review Earth Planet Science* 32: 495-537
- Jones, P.D., Briffa, K.R., Barnett, T.P., and Tett, S.F.B., 1998. High-resolution paleoclimatic records for the last millennium: Interpretation integration and comparison with circulation model control-run temperatures. *The Holocene*, 8: 455-471.
- Juggins, S. 2013. Quantitative reconstructions in palaeolimnology: new paradigm or sick science? *Quaternary Science Reviews* 64:20-32
- Juggins, S. y Birks, H.J.B. 2012. Quantitative environmental reconstructions from biological data. In: Birks, H.J.B., Lotter, A.F., Juggins, S., Smol, J.P. (Eds.), *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments: Data Handling and Numerical Techniques*. Springer, Dordrecht, pp. 431-494
- Karst, T.L. y J.P. Smol. 2000. Paleolimnological evidence of limnetic nutrient concentration equilibrium in a shallow, macrophyte-dominated lake. *Aquatic Sciences* 62: 20-38.

- Kellner, C.M. y M.J. Schoeninger. 2007. A simple carbon isotope model for reconstructing prehistoric human diet. *American Journal of Physical Anthropology* 133, 1112-1127.
- Koch, P., N. Tuross y M. Fogel. 1997. The effects of simple treatment and diagenesis on the isotopic integrity of carbonate in biogenic hydroxylapatite. *Journal of Archaeological Science* 24:417-429.
- Laguens, A.M. y M. Bonnin 1987. Espacio, paisaje y recursos. Estrategias indígenas alternativas y complementarias en la cuenca del río Copacabana (Dto. Ischilín, Córdoba, Argentina). Sitio El Ranchito: 1000 a.C.-1600 d.C. *Publicaciones del Instituto de Antropología* XLV:159-204.
- Lamb, A.L., Wilson, G.P., Leng, M.J., 2006. Review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using $\delta^{13}\text{C}$ and C/N ratios in organic material. *Earth-Science Reviews* 75: 29-57.
- Lathrap, D. 1977. Our Father the Cayman, Our Mother the Gourd: Spinden Revisited, or a Unitary Model for the Emergence of Agriculture in the new World. En: R. Reed (Ed), *Origins of Agriculture*. Mouton, The Hague: 713-751.
- Latour, B. 2007. Nunca fuimos modernos. Ensayo de antropología simétrica. Ed. Siglo XXI Buenos Aires.
- Lawrence, R. 2003. Human ecology and its applications. *Landscape and Urban Planning* 65: 31–40
- Lean, J., Beer, J., and Bradley, R. 1995. Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change. *Geophys. Res. Lett.*, 22: 3195–3198.
- Leff, E. 1998. *Saber Ambiental*. México: Siglo XXI.
- Leroy, S, 2006. From natural hazard to environmental catastrophe: Past and present. *Quaternary International*, 158: 4-12.
- López Mazz, J.M. 1992. Aproximación a la génesis y desarrollo de los cerritos de la zona de San Miguel (Depto. de Rocha). En López, J.M. y Sanz, M. (compiladores) *Ediciones del Quinto Centenario*, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación: 60-80, Montevideo.
- López Mazz, J. M. 2000. Trabajos en Tierra y Complejidad Cultural en las Tierras Bajas del Rincón de los Indios. En: A. Durán y R. Bracco (Ed.), *Arqueología de las Tierras Bajas*: 271-286. Ministerio de Educación y Cultura / Universidad de la República, Montevideo.
- López Mazz, J. M. 2001. Las estructuras tumulares (cerritos) del Litoral Atlántico uruguayo. *Latin American Antiquity* 12: 1-25.
- López Mazz, J.M. 2008. *El Componente Cultural en el Área de Reserva de Biosfera Bañados del Este: Gestión Integral del Patrimonio Arqueológico y Difusión Turística*. UNESCO, Montevideo, 46 pp.

- López Mazz, J. M. y R. Bracco. 1992. Relaciones hombre-medio ambiente en las poblaciones prehistóricas del este del Uruguay. En Ortiz-Troncoso, L y T. Van der Hammen (Eds.), *Archaeology and Environment in Latin America*, pp 259–282. Amsterdam, University of Amsterdam.
- López Mazz J. y R. Bracco. 1994 Cazadores-recolectores de la Cuenca de la Laguna Merín: Aproximaciones Teóricas y Modelos Arqueológicos. En: J. Lanata y L.A Borrero (Eds.), *Arqueología de Cazadores-Recolectores. Límites, Casos y Aperturas*. Arqueología Contemporánea. Edición Especial: 51-64.
- López Mazz, J. y C. Gianotti. 1998 Construcción de Espacios Ceremoniales Públicos entre los Pobladores Prehistóricos de las Tierras Bajas de Uruguay: el Estudio de la Organización Espacial en la Localidad Arqueológica Rincón de los Indios. *Revista de Arqueología*, 11:87-105.
- López Mazz, J.M. y E. Villamarzo. 2009. Explotación prehistórica de recursos marinos en el este de Uruguay. En: J.M. López Mazz y A. Gascue (Eds.) *Arqueología Prehistórica Uruguaya en el Siglo XXI*, pp. 13-26. Biblioteca Nacional/UdelaR.
- López Mazz, J.M. y D. Bracco. 2012. *Minuanos. Apuntes y notas para la historia y la arqueología del territorio Guenoa-Minuan (Indígenas de Uruguay, Argentina y Brasil)*. Linardi y Risso, Montevideo, 342 pp.
- López Mazz, J.M., A. Gascue y F. Moreno. 2004. La prehistoria del Este del Uruguay: Cambio cultural y aspectos ambientales. *Ann.Murcia* 19-20: 9-24.
- López Mazz, J.M., F. Moreno, E. Villamarzo y A. Gascue. 2009. Apuntes para una arqueología costera y del Cabo Polonio. En: J.M. López Mazz y A. Gascue (Eds.) *Arqueología Prehistórica Uruguaya en el Siglo XXI*, pp. 39-66. Biblioteca Nacional/UdelaR
- López Mazz, J.M., J.M. Dabiezies e I. Capdepon. 2014. La Gestión De Recursos Vegetales En Las Poblaciones Prehistóricas De Las Tierras Bajas Del Sureste Del Uruguay: Un Abordaje Multidisciplinar. *Latin American Antiquity* 25(3):256-277
- Loponte, D. y L. Kozameh. 2009. Nuevos datos para el conocimiento de las dietas prehispánicas del Delta Superior. *Comechingonia* 12: 115-118.
- Lu, H., N. Wu, X. Yang, H. Jiang, K. Liu, T. Liu. 2006. Phytoliths as quantitative indicators for the reconstruction of past environmental conditions in China I: phytolith-based transfer functions. *Quaternary Science Reviews* 25: 945–959
- Luckman, B.H. y R. Villalba. 2001. Assessing the synchronicity of glacier fluctuations in the western Cordillera of the Americas during the last millennium. En: Markgraf, V. (Ed.), *Interhemispheric Climate Linkages*. Academic Press, New York, NY, USA, pp. 119-140.
- Mabilde, P. 1983. *Apontamentos sobre os indígenas selvagens da nação Coroados dos Matos da provincia do Rio Grande do Sul. 1836-1866*, San Pablo: IBRASA.

- Madanes, N., Kalesnik, F. y D. Vargas. 2013. Análisis de los recursos vegetales comestibles del macromosaico de humedales del Paraná inferior del Holoceno tardío. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano* - Series Especiales Nº1 (1): 196-2010.
- Madella, M., A. Alexandre y T. Ball. 2005. International Code for Phytolith Nomenclature 1.0. *Annals of Botany*: 253-260
- Maffi, L., (Ed.). 2001. *On Biocultural Diversity: Linking Language, Knowledge, and the Environment*. Smithsonian Institution Press. Washington, D.C.
- Maffi, L. 2007. Biocultural diversity for endogenous development: Lessons from research, policy and on-the-ground experiences. En: Haverkort, B. & Rist, S. (Eds.), *Endogenous Development and Biocultural Diversity: The interplay of worldviews, globalization and locality*. Compas series on Worldviews and Sciences 6, Compas & Centre for Development and Environment: Leusden: 56-66.
- Mancini, M. V., M.M. Paez, A.R. Prieto, S. Stutz, M. Tonello e I. Vilanova. 2005. Mid-Holocene climatic variability reconstruction from pollen records (32°-52°S, Argentina). *Quaternary International* 132: 47-59
- Mann, M.E. 2002a. Medieval Climatic Optimum. En: M.C. MacCracken y J.S. Perry (Eds.). *Encyclopedia of Global Environmental Change. Volume 1: The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change*. pp 514–516
- Mann, M.E. 2002b. Little Ice Age. En: M.C. MacCracken y J.S. Perry (Eds.). *Encyclopedia of Global Environmental Change. Volume 1: The Earth system: physical and chemical dimensions of global environmental change*. pp: 504-509.
- Mann, M.E. 2009. Climate variability and change, last 1,000 years. En: V. Gornitz (Ed.) *Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments*, 178-181. Springer, Netherlands
- Maranta, A. 1987. Los recursos vegetales alimenticios de la etnia matakó del Chaco Centro Occidental. *Parodiana* 5 (1): 161-237
- Marten, G. 2001. Human Ecology. Basics Concepts for Sustainable Development. Earthscan Publication, Londres. 129 pp
- Martin, L. y K. Sugio. 1992. Variation of coastal dynamics during the last 7000 years recorded in breachridge plains associated with river mouths: example from the Central Brazilian Coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology* 99:119-140.
- Martínez-Crovetto, R. 1981. Plantas reguladoras de la fecundidad utilizadas en la medicina popular del nordeste argentino. *Parodiana* 1 (1), pp. 97-117.
- Martínez, M. R. y M. L. Pochettino. 1998. El valor del conocimiento etnobotánico local: aporte a la currícula educativa en el área de biología en las escuelas de Molinos, Valles

Calchaquies, Provincia de Salta. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano*, 18: 257-270

- Martínez, G., M. Osterrieth y N. Borelli. 2000. Registro de la Pequeña Edad de Hielo en ambientes sedimentarios del sudeste bonaerense, Argentina. *Actas del II Congreso Latinoamericano de Sedimentología*: 113-114. Mar del Plata.
- Martínez, G., M. Osterrieth y D. Mazzanti. 2004. Ambientes sedimentarios y uso del espacio en la Localidad Arqueológica Amalia, provincia de Buenos Aires. En C. Gradín y F. Oliva (eds.), *La Región Pampeana, su pasado arqueológico*: 61-72. Rosario, SAA-CEAR, Laborde Editor.
- Martínez, S. y A. Rojas. 2011. Asociaciones de moluscos marinos y estuarinos del Holoceno de Uruguay. En: García-Rodríguez F (Ed.): *El Holoceno en la zona costera del Uruguay*. Pp. 93-116. CSIC-UdelaR, Montevideo.
- Martínez, S. y A. Rojas. 2013. Relative sea level during the Holocene in Uruguay. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 374, 123–131.
- Mayewski, P.A., L.D. Meeker, M.S. Twickler, S. Whitlow, Q. Yang, W.B. Lyons y M. Prentice. 1997. Major features and forcing of high-latitude northern hemisphere atmospheric circulation using a 110,000-year-long glaciochemical series. *Journal of Geophysical Research* 102: 26.345-26.366.
- Mayewski, P. A., E. E. Rohling, J. C. Stager, W. Karlen, K. A. Maasch, L. D. Meeker, E. A. Meyerson, F. Gasse, S. van Kreveland y K. Holmgren. 2004. Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62: 243– 255.
- Mayr, C., M. Wille, T. Haberzettl, M. Fey, S. Janssen, A. Lucke, C. Ohlendorf, G. Oliva, F. Schabitz, G.H. Schleser y B. Zolitschka. 2007. Holocene variability of the Southern Hemisphere westerlies in Argentinean Patagonia (52°S). *Quaternary Science Reviews* 26: 579–584.
- Mazzanti, D. 2006. La constitución de territorios sociales durante el Holoceno tardío. El caso de las Sierras de Tandilia, Argentina. *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* XXXI: 277-300.
- Mazzanti, D. y C.A. Quintana. 2010. Estrategias de Subsistencia de las Jefaturas Indígenas del Siglo XVIII. Zooarqueología de la Localidad Arqueológica Amalia (Tandilia Oriental). *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología* XXXV: 143-170
- McKnight, T. y D. Hess. 2000. Climate Zones and Types: The Köppen System. En: *Physical Geography: A Landscape Appreciation*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, pp. 200-240.
- McShea, D. W. 1996. Complexity and Homoplasy. En: Sanderson, M. J. y L. Hufford (Ed.), *Homoplasy: The Recurrence of Similarity in Evolution*, 207-225. Academic Press. San Diego.
- Medina, E., L. Antonio Martinelli, E. Barbosa y R. Luiz Victoria. 1999. Natural abundance of ¹³C in tropical grasses from the INPA, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, herbarium. *Rev. bras. Bot.* vol.22 n.1.

- Meggers, B.J. 1954. Environmental Limitations on the Development of Culture. *American Anthropologist* 56:801-824.
- Meggers, B.J. 1971. *Amazonia: Man and Nature on a Counterfeit Paradise*. Aldine, Chicago.
- Meggers, B. y C. Evans. 1957. *Archaeological Investigations at the Mouth of the Amazon*. Smithsonian Institution. Bureau of American Ethnology, Bulletin 167, Washington D.C.
- Métraux, A. 1946. Ethnography of the Chaco. En: J. Steward (Ed.): *Handbook of South American Indians, vol. 1, The Marginal Tribes*. Smithsonian Institution Bureau of American Ethnology Bulletin 143: pp.197-380.
- Millán R, 1945. Variaciones del zapallito amargo Cucurbita andreana y el origen de Cucurbita maxima. *Revista Argentina de Agronomía* 12:86-93.
- Miller, J.R, R.M. Lerner, L.B. Schiamburg & P.M. Anderson (Eds.). 2003. Encyclopedia of Human Ecology. Volume 1: A–H. ABC-CLIO, Inc., California.
- Milton, K. 1997. Ecologías: antropología, cultura y entorno. *Revista Internacional de Ciencias Sociales*, Nº 154.
- Moreno, F. 2014. *La gestión de los recursos animales en la prehistoria del este de Uruguay (4000 años AP – siglo XVI)*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Facultad de Filosofía y Letras. Barcelona, 402 pp.
- Moreno, F., G. Figueiro y M. Sans. 2014. Huesos mezclados: restos humanos de subadultos en el conjunto arqueofaunístico de un sitio prehistórico en el este de Uruguay. *Revista Argentina de Antropología Biológica*, 16 (2): 65-78
- Moy, C.M., R.B. Dunbar, P.I. Moreno, J.P. Francois, R. Villa-Martínez, D.M. Mucciarone, T.P. Guilderson y R.D. Garreaud. 2008. Isotopic evidence for hydrologic change related to the westerlies in SW Patagonia, Chile, during the last millennium. *Quaternary Science Reviews* 27: 1335–1349.
- Mulholland, S. 1990. Arunda donax phytolith assemblages. *Phytolitharien Newsletter* 6(2), 3–9.
- Mulholland, S. y G. Rapp Jr. 1992. A morphological classification of grass silica-bodies. En: Rapp, G. Jr. y S. Mulholland (Eds.), *Phytolith Systematics. Emerging Issues. Advances in Archaeological and Museum Science* 1: 65-89.
- Mut, P. 2015. *Paleodieta de los pobladores prehistóricos del este del Uruguay: un retrato isotópico*. Tesis de Grado, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad de la República. Montevideo, 110pp.
- Naue, G. 1973 Dados sobre o Estudo dos Cerritos na Area Meridional da Lagoa dos Patos, Rio Grande, R.S. *Separata Revista Veritas*, 71/73, PUCRS, Porto Alegre.
- Neves, E. G. 1998. Twenty Years of Amazonian Archaeology in Brazil (19977-1997). *Antiquity* 277:625-632.

- Neves, E.G. 2005. Changing Perspectives in Amazonian Archaeology. En: G. Politis y B. Alberti (Eds.), *Archaeology in Latin America*: 219-250. 2a. Edición, Routledge, New York.
- Neves, E.G. y J. Petersen. 2006. Political Economy and Pre-Columbian Landscape Transformation in Central Amazonia. En: W. Balée & C. Erickson (Eds.) *Time and Complexity in Historical Ecology: Studies in the Neotropical Lowlands*. Columbia Univ. Press, New York: 279-309.
- Oldfield, F. y K. Alverson. 2003. The Societal Relevance of Paleoenvironmental Research. En: Alverson, K.D., R.S. Bradley y T.F. Pedersen (Eds.), *Paleoclimate, Global Change and the Future*. Global Change - The IGBP Series. Springer, Berlin. Pp 1-13.
- Oliver, J. 2008. The Archaeology of Agriculture in Ancient Amazonia. En: H. Silverman y W. Isbell (Eds.), *Handbook of South American Archaeology*: 186-216. Springer, New York.
- Olivero, J. y S. Campos. 2001. Análisis de partículas biosilíceas en la matriz del sitio arqueológico CH2D01, San Miguel, Rocha-Uruguay. En: *Arqueología Uruguay Hacia el Fin del Milenio*. Tomo I: 539-549. Gráficos del Sur, Montevideo
- Overpeck, J.T., Webb III, T. y Prentice, I.C. 1985. Quantitative interpretation of fossil pollen spectra: dissimilarity coefficients and the method of Modern Analogs. *Quaternary Research* 23:87-108
- Panario, D. y H. May. 1994. Estudio comparativo de la sucesión ecológica de la flora pratense en dos sitios de la región basáltica, suelo superficial y suelo profundo, en condiciones de exclusión y pastoreo. En: MGAP Boletín Técnico Nº 13 *Contribución de los Estudios Edafológicos al Conocimiento de la Vegetación en la República Oriental del Uruguay*. pp. 55-67
- Panario, D. y G. Piñeiro. 1997. Vulnerability of oceanic dune systems under wind pattern change scenarios in Uruguay. *Climate Research* 9 (1-2): 67-72.
- Panario, D. y M. Bidegain. 1997. Climate change effects on grasslands in Uruguay. *Climate Research* 9:37-40.
- Parodi, LR. 1935. Relaciones de la agricultura prehispánica con la agricultura argentina actual. Observaciones generales sobre la domesticación de las plantas. *Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires* 1:115-167.
- Paruelo, J.M., E.G. Jobbágy, O.E. Sala, W.K. Lauenroth y I.C. Burke. 1998. Functional and structural convergence of temperate grassland and shrublands ecosystems. *Ecological Applications* 8(1): 194-206
- Patterer, N.I.; Passeggi E. & Zucol, A.F. 2011. Análisis Fitolíticos de Suelos del Sudoeste de la Provincia de Entre Ríos (Argentina) como una Herramienta para Comprender sus Procesos Pedológicos. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 28(1): 132-146.
- Patterson, T. C. 1994. Toward a properly historical ecology. En: Crumley (ed.), *Historical Ecology. Cultural knowledge and changing landscapes*. SAR Press, Santa Fe: 223-237

- Patiño, V.M. 1963. *Plantas cultivadas y animales domésticos en América equinoccial. II: Plantas Alimenticias*. Editorial Cali, Imprenta Departamental, Colombia.
- Pearsall, D. M. 1978. Phytolith analyses of archaeological soils: Evidence of maize cultivation in Formative Ecuador. *Science* 199, 177–178.
- Pearsall, D. 1989. *Paleoethnobotany: A Handbook of Procedures*. Academic Press. San Diego.
- Pearsall, D. M. 1993. Contributions of phytolith analysis for reconstructing subsistence: examples from research in coastal Ecuador. En: D. M. Pearsall y D. R. Piperno (Eds.) *Current Research in Phytolith Analysis: Applications in Archaeology and Paleoecology*. MASCA, University of Pennsylvania Museum. 109–122.
- Pearsall, D. M. 1999. The impact of maize on subsistence systems in South America: An example from the Jama River Valley, coastal Ecuador. En: C. Gosden y J. Hather (Eds.), *The Prehistory of Food: Appetites for Change*. Pp. 419-437. Routledge, Londres.
- Pearsall, D. M. 2002. Maize is still ancient in prehistoric Ecuador: The view from Real Alto, with comments on Staller and Thompson. *Journal of Archaeological Science* 29:51-55.
- Pearsall, D. M. y D. R. Piperno. 1990. Antiquity of maize cultivation in Ecuador: Summary and reevaluation of the Evidence. *American Antiquity* 55: 324-337
- Pearsall, D., y C. Hastorf. 2011. Reconstructing Past Life-Ways with Plants II: Human-Environment and Human-Human Interactions. En: Anderson, E., D. Pearsall, E. Hunn y N. Turner (Eds.), *Erhnobiology*. Wiley-Blackwell, New Jersey: 173-187-
- Pérez, L. 2014. *Estudio paleoceanográfico de la plataforma continental interna uruguaya*. Tesis de Maestría en Geociencias, PEDECIBA, Facultad de Ciencias – Universidad de la República. Montevideo 177 pp.
- Pintos, S. 1999. Túmulos, caciques y otras historias. Cazadores recolectores complejos en la cuenca de la Laguna de Castillos, Uruguay. *Rev. Complutum* 10: 213-226.
- Pintos, S. 2000. Economía "Húmeda" del este del Uruguay: el manejo de recursos faunísticos. En: A. Durán y R. Bracco (Eds.), *Arqueología de las Tierras Bajas*, pp. 249-266. Montevideo. Imprenta Americana.
- Pintos, S. y R. Bracco. 1999. Modalidades de enterramiento y huellas de origen antrópico en especímenes óseos humanos. Tierras Bajas del este del Uruguay (R.O. U.). En: J.M. López Mazz y M. Sans (Comp.), *Arqueología y Bioantropología de las Tierras Bajas*, pp 81-101. Montevideo, Udelar, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación.
- Pintos, S. y C. Gianotti. 1995. Arqueofauna de los constructores de cerritos: quebra y requiebra. En: M. Consens, J.M. López Mazz y C. Curbelo (Eds.). *Arqueología en el Uruguay*, pp. 79-91. SURCOS SRL.
- Piñeiro, G. 2006. *Biogeoquímica del carbon y nitrógeno en los pastizales pastoreados del Río de la Plata: Un análisis basado en modelos de simulación, sensores remotos y experimentos a campo*. Tesis Doctoral en Ciencias Agrarias. UBA, Buenos Aires. 166 pp.

- Piovano, E., D. Ariztegui, S.M. Bernasconi y J.A. Mckenzie. 2004. Stable isotope record of hydrological changes in subtropical Laguna Mar Chiquita (Argentina) over the last 230 years. *The Holocene* 14: 525-535.
- Piovano, E.L., D. Ariztegui, F. Córdoba, M. Cioccale y F. Sylvestre. 2009. Hydrological variability in South America below the Tropic of Capricorn (Pampas and eastern Patagonia, Argentina) during the last 13.0 ka. En: Vimeux, F., Sylvestre, F., Khodri, M. (Eds.), *Past Climate Variability from the Last Glacial Maximum to the Holocene in South America and Surrounding Regions (Focus on Local and Large Scale Teleconnections)*. *Springer-Developments in Paleoenvironmental Research Series (DPER)*, pp. 323-352.
- Piperno, D. R. 1984. A comparison and differentiation of phytoliths from maize (*Zea mays* L.) and wild grasses: Use of morphological criteria. *American Antiquity* 49: 361-83
- Piperno, D. R. 1985. Phytolith analysis and tropical paleo-ecology: Production and taxonomic significance of siliceous forms in New World plant domesticates and wild species. *Review of Paleobotany and Palynology* 45, 185-228
- Piperno, D. 1988. *Phytoliths Analysis: an archaeological and geological perspective*. Academic Press, New York. 280 pp
- Piperno, D.R. 2009. Identifying crop plants with phytoliths (and starch grains) in Central and South America: a review and an update of the evidence. *Quaternary International* 193:146-159.
- Piperno, D. y D. Pearsall. 1998. *The Origins of Agriculture in the Lowland Neotropics*. Academic Press, San Diego.
- Piperno, D.M. y K. V. Flannery. 2001. The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: New accelerator mass spectrometry dates and their implications. *Proceedings of the National Academy of the Sciences of the United States of America*, 98: 2101-2103.
- Piperno, D. R. y K. Stothert. 2003. Phytolith Evidence for Early Holocene Cucurbita Domestication in Southwest Ecuador. *Science* 299 (5609):1054-1057.
- Piperno, D. R., T. Andres y K. Stothert. 2000. Phytoliths in Cucurbita and other Neotropical Cucurbitaceae and their Occurrence in Early Archaeological Sites from the Lowland American Tropics. *Journal of Archaeological Science* 27, 193-208
- Politis, G. 1984. Climatic variations during historical times in Eastern Buenos Aires Pampas, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 2: 133-161.
- Politis, G. 1999. Plant exploitation among the Nukak hunter-gatherers of Amazonia: between ecology and ideology. En: Gosden, C. y J. Hather (Eds.), *The Prehistory of Food. Appetites for change*. Routledge, New York: 97-123.
- Politis, G. y V. Pedrotta. 2006. Recursos faunísticos y estrategias de subsistencia en el este de la región pampeana durante el Holoceno tardío: El caso del guanaco (*Lama guanicoe*). *Relaciones de la Sociedad Argentina de Antropología XXXI*: 301:336

- Politis, G., M. Bonomo, C. Castiñeira y A. Blasi. 2011. Archaeology of the Upper Delta of the Paraná River (Argentina): mound construction and anthropic landscapes in the Los Tres Cerros locality. *Quaternary International* 245:74-88
- Prieto, M., del R., Jorba, R. 1991. Anomalías climáticas en la Cuenca del Plata y el NOA y sus consecuencias socioeconómicas durante los siglos XVI, XVII y XVIII. *Leguas* 1:41-103.
- Prieto, O., A. Álvarez, G. Arbenois, J.A. de los Santos A. Veside, P.I. Schmitz, I. Basile y G. Naue. 1970. Informe Preliminar sobre Investigaciones Arqueológicas en el Departamento de Treinta y Tres, R.O. Uruguay. *Instituto Anchieta de Pesquisas. Publicaciones Avulsas* Nº 1, R.S. Brasil.
- PROBIDES. 1999. Plan Director Reserva de Biosfera Bañados del Este del Uruguay. Programa de Conservación de la Biodiversidad y Desarrollo Sustentable en los Humedales del Este (PROBIDES), Uruguay
- Quattrocchio, M.E., Borromei, A.M., Deschamps, C.M., Grill, S.C., Zavala, C.A., 2008. Landscape evolution and climate changes in the Late Pleistocene-Holocene, southern Pampa (Argentina): evidence from palynology, mammals and sedimentology. *Quaternary International* 181, 123-138.
- Rabassa, J., 2008. Late Cenozoic Glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego. *Developments in Quaternary Sciences* 11, 151e205
- Ragonese, A. E. y R. Martínez-Crovetto. 1947. Plantas indígenas de la Argentina con frutos o semillas comestibles. *Revista de Investigaciones Agrícolas* 1 (3): 147-216.
- Rapoport, E., Marzocca, A. y B. Drausal. 2009. *Malezas comestibles del Cono Sur y otras partes del planeta*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina.
- Reddy, K.R. y H.F. Hodges (Ed.). 2000. Climate Change and Global Crop Productivity. *Biologia Plantarum*, Volume 43, Issue 4, p 570.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk, Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Groot, P.M., Guilderson, Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richers, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E., 2009. IntCal09 and MARINE09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years CAL BP. *Radiocarbon* 51 (4): 1111-1150.
- Rival L. 2006. Amazonian historical ecologies. *J. R. Anthropol. Inst.* 12: 79–94
- Rodríguez, C., Leoni, E., Lezama, F. & Altesor, A. 2003. Temporal trends in species composition and plant traits in natural grasslands of Uruguay. *J. Veg. Sci.* 14: 433-440.
- Roosevelt, A. C. 1980. *Parmana: Prehistoric Maize and Manioc Subsistence along the Amazon and the Orinoco*. Academic Press, New York.
- Roosevelt, A.C. 1999. The Development of Prehistoric Complex Societies: Amazonia, A Tropical Forest. En: E. Bacus y L. J. Lucero (Eds), *Complex Politics in the Ancient Tropical World*,

- Archaeological Papers of the American Anthropological Association, Number 9, Arlington: 13-34.
- Rosengurtt, B. 1944. Estudios sobre Praderas Naturales del Uruguay. 4ª Contribución: Las formaciones campestres y herbáceas del Uruguay. *Apartado de Agros*, Montevideo. 45pp.
- Rosengurtt, B. 1979. *Tablas de comportamiento de las especies de plantas de campos naturales en Uruguay*. Dirección General de Extensión Universitaria, División Publicaciones y Ediciones. Montevideo. 87pp.
- Rostain, S. 2012. *Islands in the Rainforest Landscape Management in Pre-Columbian Amazonia*. Left Coast Press, Walnut Creek.
- Rorver, I. 1971. Potential of opal phylliths for use in paleoecological reconstruction. *Quaternary Research* 1:343-359.
- Rovner, I. 1992. Darwin and design in phytolith systematics: morphometric methods for mitigating redundancy. En: Rapp G.Jr. and Mullholland H. (Eds), *Phytoliths Systematics. Emerging Issues. Advances in Archaeological and Museum Science* 1: 253–276.
- Rovner, I. 1995. Mien, mean and meaning: The limits of typology in phytolith analysis. *Annual meeting of the Society for American Archaeology*, Minneapolis, May, 1995.
- Rovner, I. 2004. On transparent blindfolds Comments on identifying maize in Neotropical sediments and soils using cob phytoliths. *Journal of Archaeological Science* 31: 815–819.
- Russ, J. C. y I. Rovner. 1989. Stereological Identification of Opal Phytolith Populations from Wild and Cultivated Zea. *American Antiquity* 54: 784–792.
- Sánchez, J., M. Colobig, A. Zucol, G. Politis, M. Bonomo y C. Castiñeira, C. 2013. Análisis del uso prehispánico de los recursos vegetales a partir del registro biosilíceo en el sitio arqueológico Los Tres Cerros 1 (Victoria, Entre Ríos). Primeros resultados. *Darwiniana* 1(2): 201-219.
- Sans, M. 1985 Arqueología de la región de Yaguarí (Dpto. de Tacuarembó). En Estado de las Investigaciones arqueológicas en el Uruguay, *CEA* Nº 3: 57-61. Montevideo.
- Sans, M. 1999. Pautas de adaptación en el este del Uruguay a partir del estudio de los restos esqueléticos humanos. En: J.M. López y M. Sans (Comp.), *Arqueología y Bioantropología de las Tierras Bajas*: 107-126. Universidad de la República, Departamento de Publicaciones, Uruguay.
- Sans, M. y J. Femenías. 2000. Subsistencia, movilidad y organización social en el sitio monticular CH2D01-A (Rocha, Uruguay). Inferencias a partir de las pautas de enterramiento y los restos esqueléticos. En: A. Durán y R. Bracco (Eds.), *Arqueología de las Tierras Bajas*, pp 385-395. Ministerio de Educación y Cultura / Universidad de la República. Montevideo.
- Scheffer, M., F. Westley, W.A. Brock y M. Holmgren. 2002. Dynamic Interaction of Societies and Ecosystems – Linking Theories from Ecology, Economy and Sociology. In: L.H.Gunderson

- and C.S. Holling (Eds.), *Panarchy. Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Island Press, Washington, pp.195-240.
- Schmitz P.I. 1976. *Sítios de Pesca Lacustre em Rio Grande, RS, Brasil*. Instituto Anchieta de Pesquisas, São Leopoldo, RGS, Brasil.
- Schmitz P.I. y V.M. Beber. 2000. Aterros no pantanal de Mato Grosso do Sul, Brasil. En: A. Durán y R. Bracco (Eds.), *Arqueología de las Tierras Bajas*. pp 65-70. Ministerio de Educación y Cultura, Montevideo.
- Schmitz, P.I., G. Naue e I. Basile. 1991. Os Aterros dos Campos do Sul: a Tradição Vieira. En: A. Kern (Ed.) *Arqueología y Pré-Historia do Rio Grande do Sul*: 221-250. Mercado Aberto, Porto Alegre, Brasil.
- Schoeninger, M.J. y M.J. DeNiro. 1984. Nitrogen and carbon isotopic composition of bone collagen from marine and terrestrial animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: 625-639
- Schoeninger, M.J., M.J. DeNiro y H. Tauber. 1983. Stable nitrogen isotope ratios of bone collagen reflect marine and terrestrial components of prehistoric human diet. *Science* 220: 1381-1383.
- Schutkowski, H. 2006. Human Ecology. Biocultural Adaptations in Human Communities. Ecological Studies, Vol. 182. Analysis and Synthesis. Springer, 311 pp.
- Scott, L. 2002. Grassland development under glacial and interglacial conditions in southern Africa: review of pollen, phytolith and isotope evidence. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 177 (1-2): 47-57.
- Sganga, J.C. 1994. Caracterización de la vegetación de la R.O.U. En: MGAP Boletín Técnico Nº 13 *Contribución de los Estudios Edafológicos al Conocimiento de la Vegetación en la República Oriental del Uruguay*. pp. 5-13
- Shapiro, A. I., W. Schmutz, E. Rozanov, M. Schoell, M. Haber-reiter, A.V. Shapiro y S. Nyeki. 2011. A new approach to the long-term reconstruction of the solar irradiance leads to large historical solar forcing. *Astronomy & Astrophysics* 529, A67, doi:10.1051/0004-6361/201016173
- Shillito, L.M. 2013. Grains of truth or transparent blindfolds? A review of current debates in archaeological phytolith analysis. *Vegetation History and Archaeobotany* 22:71–82.
- Smith, F. y K. Anderson. 2001. Characterization of Organic Compounds in Phytoliths: Improving the Resolving Power of Phytolith $\delta^{13}\text{C}$ as a Tool for Palaeoecological Reconstruction of C3 and C4 Grasses. En: J. Meunier y F. Colin (Eds.) *Phytoliths: Applications in Earth Sciences and Human History*. Balkema: 317-327.
- Smith, F.A. y J. W.C. White. 2004. Modern calibration of phytolith carbon isotope signatures for C3/C4 palegrassland reconstruction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 207: 277-304.

- Smol J.P. 1985. The ratio of diatom frustules to chrysophycean statospores: a useful paleolimnological index. *Hydrobiologia* 123: 199–208.
- Soriano, A. 1991. Río de la Plata grasslands. In: Coupland R.T. (ed.) *Natural grasslands. Introduction and western hemisphere*, pp. 367-407, Elsevier, Amsterdam, NL.
- Staller, J.E. 2003. An Examination of the Palaeobotanical and Chronological Evidence for an Early Introduction of Maize (*Zea mays* L.) into South America: A Response to Pearsall. *Journal of Archaeological Science* 30: 373–380
- Staller, J.E. 2006a. An Introduction to the Histories of Maize. En: J.E. Staller, R. Tykot y B.Benz (Eds.), *Histories of Maize. Multidisciplinary Approaches to the Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication, and Evolution of Maize*. Elsevier, Londres. XXII-XXV.
- Staller, J.E. y R. Thompson. 2002. A Multidisciplinary Approach to Understanding the Initial Introduction of Maize into Coastal Ecuador. *Journal of Archaeological Science*, 29: 33–50.
- Steinhilber, F. y J. Beer. 2011. Solar activity – the past 1200 years. *PAGES news* 19 (1): 5-6
- Steward, J. (Ed.). 1946. *Handbook of South American Tribes. Vol.1. The Marginal Tribes*. Smithsonian Institution, Washington, DC: p. 623
- Steward, J. (Ed.). 1948. *Handbook of South American Tribes. Vol.3 The Tropical Forest Tribes*. Smithsonian Institution, Washington, DC: p. 986.
- Teschauer, C. 1918. *Historia do Rio Grande do Sul dos dous primeiros seculos. V. I 1626-1687*. Livraria Selbach, Brasil.
- Tonello, MS. y A.R. Prieto. 2010. Tendencias climáticas para los pastizales pampeanos durante el Pleistoceno tardío-Holoceno: estimaciones cuantitativas basadas en secuencias polínicas fósiles. *Ameghiniana* 47 (4): 501-514.
- Tonni, E. P. y G. Politis. 1980. La distribución del guanaco (Mammalia , Camelidae camelidae) en la provincia de Buenos Aires durante el Pleistoceno Tardío y Holoceno. Los factores climáticos como causas de su retracción. *Ameghiniana* XVII(1): 53-66.
- Twiss, P. C. 1992. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. En: Rapp, G. Jr. y S. C. Mulholland (Eds.), *Phytolith Systematics. Emerging Issues, Advances in Archaeology and Museum Science* 1: 113-128.
- Tykot, R., R. Burger y N. Van Der Merwe. 2006. The Importance of Maize in the Initial Period and Early Horizon Peru. En: J.E. Staller, R. Tykot y B.Benz (Eds.), *Histories of Maize. Multidisciplinary Approaches to the Prehistory, Linguistics, Biogeography, Domestication, and Evolution of Maize*. Elsevier, Londres: 187-195.
- Ulloa, A. 2004. *La construcción del nativo ecológico. Complejidades, paradojas y dilemas de la relación entre los movimientos indígenas y el ambientalismo en Colombia*. ICANH/Colciencias. Bogotá

- Ulloa, A. 2011. Concepciones de la naturaleza en la antropología actual. En: L. Montenegro Martínez (ed.) *Cultura y Naturaleza*— 1ª ed. Jardín Botánico de Bogotá, Bogotá: 25-47
- UNESCO. 1996. *Reserva de Biosfera: La Estrategia de Sevilla y el Marco Estatutario de la Red Mundial*. Paris. 22 pp.
- Usoskin, I.G. 2008. A History of Solar Activity over Millennia. *Living Rev. Solar Phys.*, 5, (3). [Online Article]: cited 15/08/2013], <http://www.livingreviews.org/lrsp-2008-3>
- Verdesio, G. 2002. Colonialism Now and Then: Colonial Latin American Studies in the Light of the Predicament of Latin Americanism. En: A.F. Bolaños y G. Verdesio (Eds.), *Colonialism Past and Present. Reading and Writing about Colonial Latin American Texts Today*. Albany: SUNY P, 1-17.
- Viveiros de Castro, E. 1996: Images of nature and society in Amazonian ethnology. *Annual Review of Anthropology*, 25, pp.179-200."
- Viveiros de Castro, E. 2004. Perspectivismo y multinaturalismo en la América indígena. En: A. Surrallés y P. García Hierro (Eds.), *Tierra Adentro. Territorio indígena percepción del entorno*. Tarea Gráfica Educativa — Lima, Perú: 37-81
- Watson L, Dallwitz MJ. 1992. Grass genera of the world: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval; including synonyms, morphology, anatomy, physiology, phytochemistry, cytology, classification, pathogens, world and local distribution, and references. <http://delta-intkey.com/grass>. [Last accessed November 2014].
- Wei, Z., Jibin, X., Jixiu, C., Yanming, Z., Qiaohong, M., Jun, O., Ying, C., Zhiguo, Z., Wei, L., 2010. Bulk organic carbon isotopic record of lacustrine sediments in Dahu swamp, eastern Nanling mountains in South China: implication for catchment environmental and climatic changes in the last 16,000 years. *Journal of Asian Earth Sciences* 38: 162-169.
- Westley, F., S.R. Carpenter, W.A. Brock, C.S. Holling and L.H. Gunderson. 2002. Why Systems of People and Nature are not just Social and Ecological Systems. In: L.H.Gunderson and C.S. Holling (Eds.), *Panarchy. Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Island Press, Washington, pp.103-120.
- Wilson, G.P., Lamb, A.L., Leng, M.J., Gonzalez, S., Huddart, D., 2005. $\delta^{13}\text{C}$ C and C/N as potential coastal paeoenvironmental indicators in the Mersey Estuary, UK. *Quaternary Science Reviews* 24, 2015-2029
- Zhao, Z. y D. Pearsall. 1998. Experiments for improving phytolith extraction from soils. *Journal of Archaeological Science*, 25: 587-598.
- Zárate, M. 2003. Loess of southern South America. *Quaternary Science Reviews* 22: 1987-2006.
- Zucol AF. 1998. Microfitolitos de las Poaceae Argentinas: II. Microfitolitos foliares de algunas especies del género *Panicum* (Poaceae, Paniceae), en la provincia de Entre Ríos. *Darwiniana* 36:29–50.

- Zucol AF. 2000. Fitólitos de poaceae de argentinas: III. Fitólitos foliares de especies del género *Paspalum* (Paniceae), en la Provincia de Entre Ríos. *Darwiniana* 38: 11–32.
- Zucol AF. 2001. Fitólitos III. Una nueva metodología descriptiva. Asociaciones fotolíticas de *Piptochaetium montevidense* (Stipeae, Poaceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 36:69–85
- Zucol, A., M. Brea y A. Scopel. 2005. First record of fossil Wood and phytolith assemblages of the Late Pleistocene in El Palmar National Park (Argentina). *Journal of South American Earth Science* 20: 33-43.
- Zucol, A. F., Brea, M. & Bellosi, E. S. 2010. Phytolith studies in Gran Barranca (Central Patagonia, Argentina) focused in the Middle Eocene. En: Madden, R.; Carlini, A.; Vucetich G. & R. Kay. (Eds.) *The Paleontology of Gran Barranca: Evolution and Environmental Change through the Middle Cenozoic of Patagonia*: 313- 336. Cambridge University Press.

Agradecimientos

Son muchas las personas que han colaborado, apoyado e inspirado el trabajo realizado en distintos momentos y bajo distintas formas. Para todas ellas vaya el mayor de los agradecimientos. Sin desmedro de ello, quisiera agradecer con especial énfasis:

- a los amigos, compañeros y colegas que estuvieron allí desde el vamos y antes aún, que siguen estando y son fuente permanente de apoyo e intercambio: Roberto Bracco, Irina Capdepon, Carola Castiñeira, Felipe García y Hugo Inda. Este trabajo es parte de un proyecto común que nunca definió nombre, institución principal ni fuente estable de financiación, pero se nutrió siempre del esfuerzo colectivo.
- a mis directores, Peter Sprechmann y Felipe García, por el apoyo, la confianza y la conducción. También a Roberto Bracco quien, a pesar de que las formalidades no permiten que figure como tal, ha sido mentor y orientador incondicional desde hace más de 20 años.
- a los compañeros y amigos de la UNCIEP, Facultad de Ciencias, donde se desarrolló gran parte de la investigación de la tesis. En especial a Daniel Panario, por facilitar durante 10 años un espacio de trabajo y un entorno adecuado para el desarrollo académico.
- a los nuevos compañeros del CURE, por compartir la experiencia diaria de experimentar en carne propia las enormes dificultades y mayores beneficios de construir interdisciplina. En especial vaya mi agradecimiento a los compañeros del PDU Aportes a la Gestión Territorial y Producción Responsable en la Región Este: Joaquín Aldabe, Natalia Arbulo, Enrique Castiglioni, Juan Martín Dabezies, César Fagúndez, Emilio Fernández, Camila Gianotti, José López Mazz, Mercedes Rivas y Javier Vitancurt. Con ellos compartí el tramo final de

producción de esta tesis, mientras nos íbamos conociendo, integrando y trabajando juntos en pro del desarrollo académico y la consolidación institucional del CURE.

- a César Fagúndez, además, agradezco el asesoramiento en sistemática vegetal y el trabajo constante de muestreo e identificación de plantas, que ha permitido ampliar y sistematizar la colección de referencia para análisis fitolíticos.

Quiero dedicar esta tesis a mi familia, por ser el pilar fundamental para seguir en pie y encontrar el rumbo cierto.

Anexos

I. ILUSTRACIÓN Y
DESCRIPCIÓN DE LOS
PRINCIPALES
MORFOTIPOS DE
SILICOFITOLITOS

II: PÁGINAS
ILUSTRATIVAS DEL
CATÁLOGO DIGITAL DE
FITOLITOS EN
CONSTRUCCIÓN

III: TRABAJOS
PUBLICADOS



Anexo I:

Ilustración y Descripción de los Principales Morfotipos de Silicofitolitos

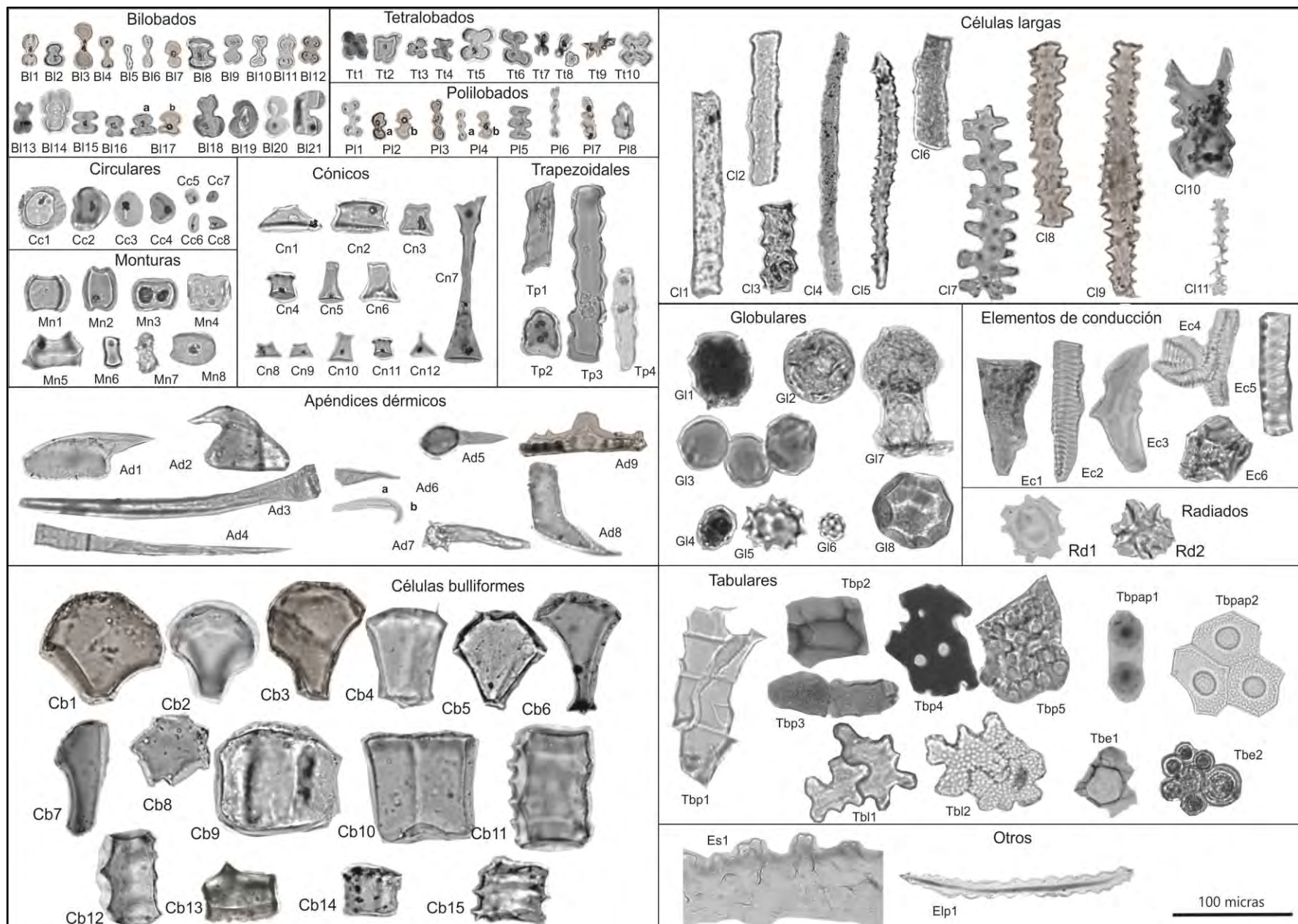


Figura AI.1 Ilustración de los principales morfotipos de silicofitolitos identificados en la colección de referencia (Anexo II) y en los materiales analizados. La descripción de los mismos se detalla en la Tabla AI.1

Tabla AI.1 Descriptores de los morfotipos de silicofitolitos. Fuente: ICPN 1.1 (Madella et al. 2005); del Puerto 2009; Zucol et al. 2010; Petterer et al. 2011

I. Bilobados (BI)	
BI1	Elemento en forma de pesa de gimnasio con dos extremos ensanchados de final convexo e inserción bien delimitada al istmo central.
BI2	Elemento en forma de pesa de gimnasia con cuerpo botuliforme e inserción del istmo poco delimitada.
BI3	Elemento en forma de pesa de gimnasia con dos cabezuelas globosas e inserción del istmo central bien delimitada.
BI4	Elemento en forma de pesa de gimnasia con dos cabezuelas globosas, istmo central paralelo e inserción de las cabezuelas bien delimitada.
BI5	Elemento en forma de pesa de gimnasia con inserción del istmo central mal delimitada.
BI6	Elemento en forma de pesa de gimnasia con dos cabezuelas de final convexo o recto con 2 apéndices en cada una e inserción del istmo central mal delimitada.
BI7	Elemento en forma de pesa de gimnasia con dos cabezuelas de final convexo, istmo central de lados simétricamente cóncavos y marcada inserción.
BI8	Elemento en forma de pesa de gimnasia con cuerpo prismático refringente y con una de sus superficies marcadamente bilobada.
BI9	Elemento en forma de pesa de gimnasia con dos cabezuelas hendidas, bilobuladas, istmo central de lados paralelos en inserción bien marcada.
BI10	Elemento en forma de pesa de gimnasia con dos cabezuelas hendidas, bilobuladas, istmo central de simétricamente cóncavos en inserción bien marcada.
BI11	Elemento en forma de pesa de gimnasia con dos cabezuelas profundamente excavadas, istmo central bien marcado de bordes paralelos rectos o con leve simetría cóncava.
BI12	Elemento en forma de pesa de gimnasia con dos cabezuelas profundamente excavadas, istmo central bien marcado de bordes con simetría marcadamente cóncava.
BI13	Elemento en forma de pesa de gimnasia con dos cabezuelas hendidas, bilobuladas, istmo central mal delimitado.
BI14	Elemento en forma de pesa de gimnasia con dos cabezuelas largas de final convexo y con la constricción del istmo central poco delimitada, dando un contorno de aspecto ovoide.
BI15	Elemento en forma de pesa de gimnasia con dos cabezuelas levemente hendidas o de final recto y con el istmo central corto y poco delimitado.
BI16	Elemento en forma de pesa de gimnasia comprimida, con una cabezuela de final convexo y otra hendida (bilobada). Istmo escasamente definido.
BI17	Elemento en forma de pesa de gimnasia comprimida, con una cabezuela de final convexo y otra hendida (bilobada). Istmo corto de lados con marcada simetría cóncava.
BI18	Elemento en forma de pesa de gimnasia con dos cabezuelas de diferente volumen (forma de guitarra) y final convexo o levemente hendido.
BI19	Elemento en forma de pesa de gimnasia heterogéneo, con la cara plana mayor bilobada y el cuerpo cilíndrico o cónico que termina en una superficie aguzada o redondeada.
BI20	Elemento heterogéneo forma de pesa de gimnasia, con una cara plana bilobada y la otra cara aquillada que termina en una superficie delgada.
BI21	Elemento en forma de pesa de gimnasia heterogénea o tubo de teléfono, con un lateral de lóbulos marcados y el otro de contorno convexo.

II. Tetralobados (Tt)	
Tt1	Elemento en forma de cruz, con 4 lóbulos tan anchos como largos y centro abultado. Simetría cuadrilateral (diferencia <a 10% entre largo y ancho) y tamaño >a 15 micras.
Tt2	Elemento en forma de cruz con cuerpo prismático refringente y con una de sus superficies marcadamente tetralobada.
Tt3	Elemento en forma de cruz, con 4 lóbulos tan anchos como largos y centro abultado. Simetría cuadrilateral (diferencia <a 10% entre largo y ancho) y tamaño <a 15 micras.
Tt4	Elemento en forma de cruz con extremidades que terminan en lóbulos poco definidos y de contorno angular.
Tt5	Elemento en forma de cruz, con 4 lóbulos tan anchos como largos y el centro delgado. Relación largo-ancho >a 10%.
Tt6	Elemento en forma de cruz, con 4 lóbulos más largos que anchos y el centro delgado. Relación largo-ancho >a 10%.
Tt7	Elemento en forma de cruz, con 4 lóbulos más largos que anchos y el centro muy delgado que termina en una de las caras aquillada de extremo delgado. Relación largo-ancho >a 10%.
Tt8	Elemento en forma de cruz, con 3 o 4 lóbulos y centro abultado. El cuerpo es un cilindro corto o cono truncado, con al menos una cara plana en forma de cruz. Tamaño <a 15 micras.
Tt9	Elemento en forma de cruz heterogéneo, de centro delgado con lóbulos finos y largos, con proyecciones laterales.
Tt10	Elemento en forma de cruz, con cuatro lóbulos de extremos redondeados y laterales rectos. Simetría bilateral.
III. Polilobados (Pl)	
Pl1	Elemento polilobado con más de dos constricciones centrales y tres lóbulos dispuestos asimétricamente. Los lóbulos de los extremos presentan una hendidura central (bilobados) o borde recto.
Pl2	Elemento polilobado con más de dos constricciones centrales y tres lóbulos dispuestos asimétricamente. Los lóbulos de los extremos son cabezuelas de borde entero convexo.
Pl3	Elemento polilobado con más de dos constricciones centrales y tres lóbulos dispuestos simétricamente. Los lóbulos de los extremos presentan una hendidura central (bilobados).
Pl4	Elemento polilobado con más de dos constricciones centrales y tres lóbulos dispuestos simétricamente. Los lóbulos de los extremos son cabezuelas de borde entero convexo.
Pl5	Elemento polilobado con más de dos constricciones centrales y tres lóbulos más anchos que largos dispuestos simétricamente. Los lóbulos de los extremos presentan borde aplanado o levemente hendido.
Pl6	Elemento polilobado con más de dos constricciones centrales y cuatro lóbulos o más dispuestos asimétricamente. Los lóbulos de los extremos presentan una hendidura central (bilobados).
Pl7	Elemento polilobado con más de dos constricciones centrales y cuatro lóbulos o más dispuestos asimétricamente. Los lóbulos de los extremos son cabezuelas de borde entero convexo.
Pl8	Elemento polilobado heterogéneo. Una cara plana con más de dos constricciones centrales y lóbulos dispuestos asimétricamente y extremos convexos. La otra cara es aquillada y termina en una superficie aguzada.

IV. Circulares (Cc)	
Cc1	Elemento cilíndrico corto o estrechamente cónico de sección transversal circular a elíptica, mayor a 10 micras
Cc2	Elemento cilíndrico corto o estrechamente cónico de sección transversal en forma de media luna, al menos en una de sus caras planas. Tamaño mayor a 10 micras.
Cc3	Elemento cilíndrico corto con una cara plana mayor de sección transversal circular a elíptica y la cara menor que finaliza en un domo o quilla. Tamaño mayor a 10 micras.
Cc4	Elemento cilíndrico corto con una cara plana mayor de sección transversal en forma de media luna y la cara menor que finaliza en un domo o quilla. Tamaño mayor a 10 micras.
Cc5	Elemento cilíndrico corto o estrechamente cónico de sección transversal circular a elíptica. Tamaño menor a 10 micras
Cc6	Elemento cilíndrico corto o estrechamente cónico de sección transversal en forma de media luna, al menos en una de sus caras planas. Tamaño menor a 10 micras
Cc7	Elemento cilíndrico corto con una cara plana mayor de sección transversal circular a elíptica y la cara menor que finaliza en un domo o quilla. Tamaño menor a 10 micras.
Cc8	Elemento cilíndrico corto con una cara plana mayor de sección transversal en forma de media luna y la cara menor que finaliza en un domo o quilla. Tamaño menor a 10 micras.
V. Cónicos (Cn)	
Cn1	Elemento en forma de cono truncado, sin cintura demarcada. Relación altura:diámetro basal 1:2-3 y relación diámetro basal mayor:diámetro superior menor 2:1.
Cn2	Elemento en forma de cono truncado, sin cintura demarcada. Relación altura:diámetro basal 1:2-3 y relación diámetro basal mayor:diámetro superior menor 1-1,5:1.
Cn3	Elemento en forma de cono truncado, con cintura levemente demarcada. Relación altura:diámetro basal 1:1 y relación diámetro basal mayor:diámetro superior menor 1,5:1.
Cn4	Elemento en forma de cono truncado, con cintura levemente demarcada. Relación altura:diámetro basal 1:1 y relación diámetro basal mayor:diámetro superior menor 1,5:1. Superficie plana o cóncava en el lado basal mayor y carinada la opuesta.
Cn5	Elemento en forma de cono truncado, con cintura levemente demarcada. Relación altura:diámetro basal 3:2-1 y relación diámetro basal mayor:diámetro superior menor 3:2-1.
Cn6	Elemento en forma de cono truncado con un de sus lados adelgazado, finalizando en una quilla.
Cn7	Elemento en forma de cono truncado con cintura demarcada. Relación altura:diámetro basal de 3:1. Lado basal mayor plano o cóncavo y el opuesto carinado.
Cn8	Elemento en forma de cono truncado, sin cintura demarcada. Relación altura:diámetro basal 1:2-3 y relación diámetro basal mayor:diámetro superior menor 2:1. Tamaño menor a 10 μm .
Cn9	Elemento en forma de cono truncado, sin cintura demarcada. Relación altura:diámetro basal 1:2-3 y relación diámetro basal mayor:diámetro superior menor 1-1,5:1. Tamaño menor a 10 μm .
Cn10	Elemento en forma de cono truncado, con cintura levemente demarcada. Relación altura:diámetro basal 1,5:1 y relación diámetro basal mayor:diámetro superior menor 1,5:1. Tamaño menor a 10 μm .

Cn11	Elemento en forma de cono truncado, con cintura levemente demarcada. Relación altura:diámetro basal 1:1 y relación diámetro basal mayor:diámetro superior menor 1,5:1. Una o ambas superficies planas carinadas. Tamaño menor a 10 μm .
Cn12	Elemento en forma de cono truncado con uno de sus lados basales puntiagudo, en forma de embudo. Tamaño menor a 10 μm .

VI. Trapezoidales (Tp)

Tp1	Elemento trapezoidal corto (relación ancho-largo $\leq 1:3$) de bordes lisos a levemente ondulados y extremos planos a levemente cóncavos.
Tp2	Elemento trapezoidal corto con la cara plana mayor de contorno sinuoso a crenado y extremos planos a levemente cóncavos o cóncavos
Tp3	Elemento trapezoidal largo (relación ancho-largo $> 1:3$) de bordes lisos a levemente ondulados y extremos planos a levemente cóncavos.
Tp4	Elemento trapezoidal largo con la cara plana mayor de contorno sinuoso a crenado y extremos planos a levemente cóncavos o convexos.

VII. En forma de silla de montar (Mn)

Mn1	Elemento en forma de silla de montar, con relación largo:ancho de 1:1
Mn2	Elemento en forma de silla de montar, con relación largo:ancho de $>1,5:1$
Mn3	Elemento en forma de silla de montar, con relación largo:ancho de 1:1,5
Mn4	Elemento en forma de silla de montar, con cuerpo piramidal y lados de una de las caras de contorno cuadrangular.
Mn5	Elemento en forma de silla de montar, con cuerpo colapsado
Mn6	Elemento en forma de silla de montar, con relación largo:ancho de $1:>2$ y tamaño menor a 8 μm .
Mn7	Elemento en forma de silla de montar con una cara cóncava y la otra convexa y relación largo:ancho de $1:>2$. Tamaño menor a 8 μm .
Mn8	Elemento en forma de silla de montar con una cara cóncava y la otra convexa y relación largo:ancho de 1:2.

VIII. Apéndices dérmicos (Ad)

Ad1	Macro pelos (>50 micras) unicelulares aciculares
Ad2	Macro pelos (>50 micras) unicelulares unciformes
Ad3	Macro pelos (>50 micras) unicelulares de cuerpo cilíndrico y extremos aguzado
Ad4	Macro pelos pluricelulares: 2-5 células
Ad5	Micro pelos (<50 micras) unicelulares aciculares
Ad6	Micro pelos (<50 micras) unicelulares de cuerpo cilíndrico y extremos aguzado
Ad7	Micro pelos (<50 micras) unicelulares de cuerpo cilíndrico con el extremo romo y base nodular o plana en forma de estrella
Ad8	Micro pelos (<50 micras) unicelulares unciformes
Ad9	Papilas

IX. Células bulliformes (Cb)

Flabeliformes:

Cb1	Elemento en forma de flabelo con relación largo:ancho de 1:1-1,5, extremo semicircular y ambos lados convexos en la zona basal del abanico.
Cb2	Flabelo de extremo semicircular y lados convexos en la zona basal. Relación largo:ancho de 1:0,75-0,5. Sector basal delgado.
Cb3	Flabelo de cuerpo asimétrico, extremo semicircular y ambos lados convexos en la zona basal.
Cb4	Flabelo de contorno cuneiforme, laterales rectos y sector basal ancho ($1/2$ de la longitud total del abanico)

- Cb5 Flabelo de contorno cuneiforme, extremo semicircular y lados laterales rectos en la base del abanico. Sector basal estrecho, 1/3 a 1/4 de la longitud total.
- Cb6 Flabelo de contorno cuneiforme con extremo semicircular corto y laterales convexos. Sector basal muy estrecho, 1/5 de la longitud del abanico.
- Cb7 Flabelo de cuerpo asimétrico, extremo semicircular con un lateral convexo y el otro resto en la base del abanico
- Cb8 Elemento en forma de flabelo con relación largo:ancho de 1:1,5, extremo semicircular y ambos lados convexos en la zona basal del abanico. Sector basal cóncavo.

Poliédricas:

- Cb9 Elemento bulliforme poliédrico de contorno globoso con alguno de sus lados cóncavo y con extremos convexos. Relación largo:ancho 1:1,5-2
- Cb10 Elemento bulliforme poliédrico de laterales cóncavos y extremos rectos. Relación largo:ancho 1,5:1
- Cb11 Elemento bulliforme poliédrico de contorno recto y superficie levemente estriada y/o fascetada. Relación largo:ancho de 2:1 y tamaño >50 µm
- Cb12 Elemento bulliforme poliédrico de contorno recto o fascetado y superficie levemente sulcada. Relación largo:ancho de 2:1 y tamaño < 50 µm
- Cb13 Elemento bulliforme poliédrico de contorno recto con una pronunciada papila en uno de sus lados. Relación largo:ancho de 2:1
- Cb14 Elemento bulliforme poliédrico de contorno recto y relación largo:ancho de 1:1. Tamaño <50 µm
- Cb15 Elemento bulliforme poliédrico de contorno recto y superficie marcadamente sulcada. Relación largo:ancho de 1:1 y tamaño <50 µm

X. Células largas (Cl)

- Cl1 Elemento elongado de contorno liso o levemente ondulado y tamaño >50µm.
- Cl2 Elemento elongado de contorno ondulado y tamaño >50µm.
- Cl3 Elemento elongado de contorno ondulado y tamaño <50µm
- Cl4 Elemento elongado de contorno liso o levemente ondulado y tamaño >50µm. Relación largo:ancho mayor a 5:1
- Cl5 Elemento elongado de contorno ondulado y tamaño >50µm. Relación largo:ancho mayor a 5:1
- Cl6 Elemento elongado de contorno liso o levemente ondulado y tamaño <50µm.
- Cl7 Elemento elongado de contorno lobulado y superficie papilada con lados paralelos. Tamaño >50µm.
- Cl8 Elemento elongado de contorno lobulado y ondulado y superficie papilada con lados paralelos. Tamaño >50µm.
- Cl9 Elemento elongado de contorno ondulado y superficie equinada con lados paralelos en los extremos y sector central ensanchado. Tamaño >50µm.
- Cl10 Elemento elongado de contorno recto o levemente ondulado y uno o ambos de sus extremos cóncavos.
- Cl11 Elemento elongado de contorno dendriforme o crenado. Tamaño <50µm y relación largo ancho $\geq$ 5:1

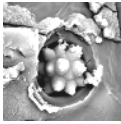
XI. Globulares (Gl)

- Gl1 Globular a subglobular de superficie lisa >12 micras.
- Gl2 Globular a subglobular de superficie suavemente rugosa de diámetro >12 micras.
- Gl3 Globular a subglobular de superficie lisa a granulada de diámetro >12 micras.
- Gl4 Globular a subglobular de superficie lisa a granulada de diámetro <10 micras.
- Gl5 Globular a subglobular de superficie equinada de diámetro >5 micras.

Gl6	Globular de superficie equinada de diámetro <5 micras.
Gl7	Subglobular con superficie rugosa y una proyección o pie de base plana (cistolito).
Gl8	Globular a subglobular facetado.
XII. Tabulares poliédricos (Tbp)	
Tbp1	Elemento laminar irregular, de menos de 6 caras con ángulos marcados.
Tbp2	Elementos laminares de más de 6-8 lados y superficie lisa.
Tbp3	Elementos laminares de más de 6-8 lados y superficie granulada o pilada.
Tbp4	Elementos tabulares opacos con perforaciones sistemáticas.
Tbp5	Elementos tabulares con perforaciones sistemáticas en forma de panal.
XIII. Tabulares esferoidales (Tbe)	
Tbe1	Elementos tabulares esféricos a esferoidales de contornos lisos o levemente ondulados y con una marca circular en el centro o protuberancia silícea en el tejido sub-epidérmico (base de pelo).
Tbe2	Elementos tabulares esferoidales con anillos concéntricos y contorno liso. Los anillos centrales ocasionalmente se encuentran completamente silicificados conformando un centro circular silíceo.
XIV. Tabulares lobulados (Tbl)	
Tbl1	Elementos laminares en forma de piezas de puzzle, de superficie lisa o suavemente rugosa.
Tbl2	Elementos laminares en forma de piezas de puzzle, de superficie equinada.
XV. Tabulares papilosos (Tbpap)	
Tbpap1	Elementos laminares rectangulares a ovoides de borde liso u ondulado, con papilas grandes centrales (1-4) y satelitales menores.
Tbpap2	Elementos laminares rectangulares o poliédricos de borde liso y superficie punteada o perforada, con una papila grande central (1-4) y satelitales menores.
XVI. Radiados (Rd)	
Rd1	Elemento radiado o estrellado formado por un cuerpo y proyecciones de sección transversal plana o circular.
Rd2	Elemento esférico con pliegues o crestas radiados.
XVII. Elementos de conducción (Ec)	
Ec1	Cilindros lisos
Ec2	Cilindros con engrosamiento anular
Ec3	Cilindros con engrosamiento helicoidal
Ec4	Cilindros ramificados con engrosamiento helicoidal
Ec5	Cilindros con punteaduras alternas
Ec6	Elementos irregulares con superficie lisa, granulada o estriada (traqueidas cortas)
XVIII. Esqueletos silíceos (Es)	
Es1	Fragmentos de tejidos fuertemente silicificados que incluyen células tabulares papilosas, apéndices dérmicos papilados, cistolitos papilados y complejos estomáticos.
Otros	
Elp1	Elongados polilobulados con acanaladura central

Anexo II:

Páginas ilustrativas del catálogo digital de fitolitos en
construcción



Catálogo de Silicofitolitos

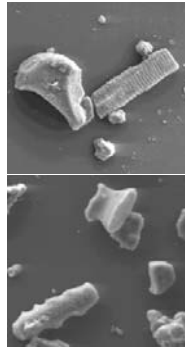
- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

El presente catálogo compendia imágenes y descripciones morfológicas y morfométricas de silicofitolitos presentes en muestras de material vegetal que integra actualmente la colección de referencia del Laboratorio de Paleobotánica. Dicha colección, en constante crecimiento, es producto de la colaboración de numerosas personas e instituciones a lo largo de más de 15 años.

Por estas razones, y con la aspiración de que sea una obra en constante reformulación, el catálogo tiene el objetivo principal de sistematizar la información generada y hacerla accesible para la investigación, divulgación y conocimiento general.

Para su confección, se observaron y fotografiaron silicofitolitos *in situ*, en tejidos epidérmicos y subepidérmicos diafanizados, así como en muestras calcinadas o atacadas químicamente.

Las observaciones se efectuaron en microscopio óptico a 400 y 1000 magnificaciones, procediéndose a la captura y digitalización de imágenes para análisis morfométricos. Dichos análisis se llevaron a cabo con el software Image Tool 3.0.

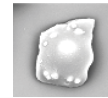


Silicofitolitos recuperados en sedimentos arqueológicos observados por microscopía electrónica de barrido.

Información de contacto:

Laboratorio de Paleobotánica
Departamento de Sistemas Agrarios y Paisajes Culturales
Centro Universitario de la Región Este, Universidad de la República
Ruta Nacional N°9 en intersección con Ruta N° 15, Rocha, Uruguay

Teléfono: 44727001 int.38
Correo electrónico: ldelpuerto@cure.edu.uy



Catálogo de silicofitolitos

- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

Listado de familias, especies y órganos analizados

Familias	Especies	Órgano
Alismataceae	<i>Sagittaria montevidensis</i> Cham. & Schtdl.	Hoja
Amarantaceae	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L.	Hoja
Anacardiaceae	<i>Schinus longifolia</i> (Lindl.) Speg.	Hoja
Apiaceae	<i>Eryngium pandanifolium</i> Cham. & Schtdl.	Hoja / Tallo / Flor
Aquifoliaceae	<i>Ilex dumosa</i> Reissek	Hoja
	<i>Ilex paraguayensis</i> A. St.-Hil.	Hoja / Fruto
	<i>Butia odorata</i> (Barb. Rodr.) Noblick	Hoja / Raquis / Endocarpo / Fruto
	<i>Butia yatay</i> (Mart.) Becc.	Hoja / Raquis
Arecaceae	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	Hoja / Raquis / Endocarpo / Mesocarpo
	<i>Trithrinax brasiliensis</i> Mart.	Hoja / Raquis
Asteraceae	<i>Chaptalia piloselloides</i> (Vahl) Baker	Hoja
	<i>Eupatorium buniifolium</i> Hook. ex Arn.	Hoja
Bromeliaceae	<i>Bromelia antiacantha</i> Bertol.	Hoja / Flor / Exocarpo / Mesocarpo
	<i>Tillandsia usneoides</i> (L.) L.	Tallos y hojas
Cactaceae	<i>Cereus uruguayanus</i> R. Kiesling	Fruto / Tallo
	<i>Opuntia arechavaletai</i> Speg.	Fruto
Cannabaceae	<i>Celtis tala</i> Gillies ex Planch.	Hoja / Endocarpo / Ramas
Cannaceae	<i>Canna glauca</i> L.	Rizoma / Hojas
	<i>C. maxima</i> x <i>C. moschata</i>	Hoja / Flor / Exocarpo
	<i>Cucurbita ficifolia</i> Bouché	Exocarpo
	<i>Cucurbita maxima</i> Duchesne	Exocarpo / Mesocarpo / Semilla
	<i>Cucurbita mixta</i> Panqalo	Exocarpo
	<i>Cucurbita moschata</i> Duchesne	Exocarpo
	<i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Standl.	Exocarpo / Mesocarpo
Cyperaceae	<i>Andropogon trigynum</i> (Spreng.) H. Pfeiff.	Tallo
	<i>Carex sellowiana</i> Schtdl.	Tallo
	<i>Cyperus giganteus</i> Vahl	Tallo / Inflorescencia
	<i>Scirpus californicus</i> (C.A. Mey.) Steud.	Tallo / Inflorescencia / Rizoma
Ephedraceae	<i>Ephedra tweediana</i> Fisch. & C.A. Mey.	Ramas
Equisetaceae	<i>Equisetum giganteum</i> L.	Tallo
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum coca</i> Lam.	Hoja
Euphorbiaceae	<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	Hoja
	<i>Acacia caven</i> Molina	Hoja
	<i>Cassia corymbosa</i> Lam.	Flor / Fruto / Semilla
	<i>Erythrina crista-galli</i> L.	Hoja / Flor
	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Vaina
	<i>Sesbania punicea</i> (Cav.) Benth.	Hoja
	<i>Vigna luteola</i> (Jacq.) Benth.	Hoja / Vaina
Juncaceae	<i>Juncus acutus</i> L.	Tallo / Flor / Raíz
Moraceae	<i>Ficus luschnathiana</i> (Miq.) Miq.	Hoja

Listado
continuación

[Página principal](#)[Lista de especies](#)[Referencias](#)Listado de familias, especies y órganos
analizados
(continuación)

Familias	Especies	Órgano
Myrtaceae	<i>Acca sellowiana</i> (O. Berg) Burret	Exocarpo
	<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O. Berg	Hoja / Ramas / Fruto
	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Hoja / Fruto / Semilla / Madera
	<i>Myrcianthes cislplatensis</i> (Cambess.) O. Berg	Hoja / Flor
	<i>Myrcianthes pungens</i> (O. Berg) D. Legrand	Hoja / Fruto
	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	Hoja / Fruto
Oxalidaceae	<i>Oxalis</i> sp.	Hoja / Tallo / Rizoma
Passifloraceae	<i>Passiflora caerulea</i> L.	Hoja / Tallo / Fruto
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus sellowianus</i> (Klotzsch) Müll. Arg.	Tallo
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca dioica</i> L.	Hoja
Poaceae	<i>Agenium villosum</i> (Nees) Pilg.	Hoja
	<i>Aira caryophyllea</i> L. / <i>A. cristata</i> L. / <i>A. elegans</i> Willd. / <i>A. elegantissima</i> Schur	Hoja
	<i>Amphibromus quadridentulus</i> (Döll) Swallen / <i>A. scabrivalvis</i> (Trin.) Swallen	Hoja
	<i>Andropogon bicornis</i> L. / <i>A. glaucophyllus</i> Roseng. B.R. Arrill. & Izag. / <i>A. lateralis</i> Nees / <i>A. selloanus</i> (Hack.) Hack. / <i>A. ternatus</i> (Spreng.) Nees	Hoja
	<i>Aristida spegazzinii</i> Arechav. / <i>A. teretifolia</i> Arechav. / <i>A. uruguayensis</i> Henrard	Hoja
	<i>Bothriochloa barbinodis</i> (Lag.) Herter / <i>B. edwardsiana</i> (Gould) Parodi / <i>B. imperatoides</i> (Hack.) Herter / <i>B. laguroides</i> (DC.) Herter	Hoja
	<i>Bouteloua curtipendula</i> (Michx.) Torr. / <i>B. megapota mica</i> (Spreng.) Kuntze	Hoja
	<i>Briza subaristata</i> Lam.	Hoja
	<i>Bromus auleticus</i> Trin. ex Nees. / <i>B. catharticus</i> Vahl	Hoja
	<i>Chloris cantherae</i> Arechav. / <i>C. cantherae</i> var. <i>grandiflora</i> (Roseng. & Izag.) D.E. Anderson	Hoja
	<i>Chusquea ramosissima</i> Lindm. / <i>Chusquea tenella</i> Nees	Hoja
	<i>Cortaderia selloana</i> (Schult. & Schult. f.) Asch. & Graebn.	Hoja
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	Hoja
	<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (L.) Willd.	Hoja
	<i>Danthonia montevidensis</i> Hack. & Arechav.	Hoja / Inflorescencia
	<i>Echinochloa crus-galli</i> (Kunth) Schult. / <i>E. helodes</i> (Hack.) Parodi	Hoja
	<i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn. / <i>E. tristachya</i> (Lam.) Lam.	Hoja
	<i>Elionurus candidus</i> (Trin.) Hack.	Hoja
	<i>Eustachys brevifolia</i> (Roseng. & Izag.) Caro & E.A. Sánchez / <i>E. caribaea</i> (Spreng.) Herter / <i>E. distichophylla</i> (Lag.) Nees / <i>E. retusa</i> (Lag.) Kunth / <i>E. uliginosa</i> (Hack.) Herter	Hoja
	<i>Guadua trinii</i> (Nees) Nees ex Rupr.	Hoja
	<i>Leersia distichophylla</i> Balansa & Poit. / <i>L. hexandra</i> Sw.	Hoja
	<i>Leptochloa chloridiformis</i> (Hack.) Parodi / <i>L. fusca</i> subsp. <i>uninervia</i> (J. Presl) N. Snow	Hoja

[Listado
Página 1](#)[Listado
continuación](#)[Página principal](#)[Lista de especies](#)[Referencias](#)Listado de familias, especies y órganos
analizados
(continuación)

Familias	Especies	Órgano
Poaceae	<i>Luziola peruviana</i> Juss. ex J.F. Gmel.	Hoja
	<i>Microbriza poomorphia</i> (J. Presl) Parodi ex Nicora & Rúgolo	Hoja / Glumas
	<i>Mnesithea selloana</i> (Hack.) de Koning & Sosef	Hoja
	<i>Nassella longiglumis</i> (Phil.) Barkworth / <i>N. neesiana</i> (Trin. & Rupr.) Barkworth / <i>N. trichotoma</i> (Nees) Hack. ex Arechav.	Hoja
	<i>Oryza latifolia</i> Desv. / <i>O. sativa</i> L.	Hoja
	<i>Panicum elephantipes</i> Nees ex Trin. / <i>P. grumosum</i> Nees / <i>P. prionitis</i> Nees	Hoja
	<i>Paspalidium paludivagum</i> (Hitchc. & Chase) Parodi	Hoja
	<i>Paspalum plicatulum</i> Michx. / <i>P. quadrifarium</i> Lam. / <i>P. rufum</i> Nees ex Steud. / <i>P. urvillei</i> Steud.	Hoja
	<i>Pennisetum latifolium</i> Spreng. / <i>P. purpureum</i> Schumacher.	Hoja
	<i>Piptochaetium montevidense</i> (Spreng.) Parodi / <i>P. panicoides</i> (Lam.) E. Desv. / <i>P. ruprechtianum</i> E. Desv. / <i>P. stipoides</i> (Trin. & Rupr.) Hack. ex Arechav.	Hoja
	<i>Poa annua</i> L.	Hoja
	<i>Poidium poaemorphum</i> (J. Presl) Matthei	Hoja
	<i>Rhynchoryza subulata</i> (Nees) Baill.	Hoja
	<i>Stenotaphrum secundatum</i> (Walter) Kuntze	Hoja
	<i>Vulpia myuros</i> (L.) C.C. Gmel.	Hoja
	<i>Zea mays</i> L.	Hoja / Chala / Flor / Marlo / Grano
	<i>Zizaniopsis bonariensis</i> (Balansa & Poir.) Speg.	Hoja
Primulaceae	<i>Myrsine laetevirens</i> (Mez) Arechav.	Hoja
Pteridaceae	<i>Vittaria graminifolia</i> Kaulf.	Planta
Rhamnaceae	<i>Colletia paradoxa</i> (Spreng.) Escal.	Hoja
	<i>Scutia buxifolia</i> Reissek	Hoja
Salicaceae	<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	Hoja / Flor
Salviniaceae	<i>Salvinia auriculata</i> Aubl.	Planta
Santalaceae	<i>Jodina rhombifolia</i> (Hook. & Arn.) Reissek	Hoja
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Hieron. ex Niederl.	Hoja / Fruto / Semilla /
Solanaceae	<i>Cestrum parqui</i> L'Hér.	Hoja
	<i>Datura ferox</i> L.	Hoja / Tallo / Fruto / Semilla
	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	Hoja
	<i>Salpichroa origanifolia</i> (Lam.) Baill.	Tallo / Hoja / Fruto
Thymelaeaceae	<i>Solanum bicolor</i> Willd. ex Roem. & Schult.	Hoja
	<i>Daphnopsis racemosa</i> Griseb.	Hoja
Typhaceae	<i>Typha domingensis</i> Pers.	Hoja / Tallo / Flor / Tubérculo
Xyridaceae	<i>Xyris jupicai</i> Rich.	Hoja / Flor

[Listado
Página 1](#)



Butia odorata (Barb. Rodr.) Noblick



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

Ficha general

Familia: Arecaceae
 Género: Butia
 Epíteto científico: *Butia odorata* (Barb. Rodr.) Noblick
 Nombre vernáculo: Butiá
 Procedencia del material analizado: Jardín Botánico de Montevideo
 Órganos Analizados:
 - [Hoja](#)
 - [Raquis](#)
 - [Fruto \(exocarpo y mesocarpo\)](#)
 - [Endocarpo \(coquito\)](#)



Palmar de butiá en Laguna Negra, Rocha.

Generalidades de la producción de fitolitos:

Abundante producción de silicofitolitos, dentro de los que predominan los morfotipos globulares a subglobulares equinados. Estos morfotipos están presentes en las distintas partes de la planta analizadas, variando su abundancia relativa, tamaño, cantidad y dimensiones de las espinas. Constituyen los morfotipos característicos de la familia Arecaceae.



Butia odorata (Barb. Rodr.) Noblick

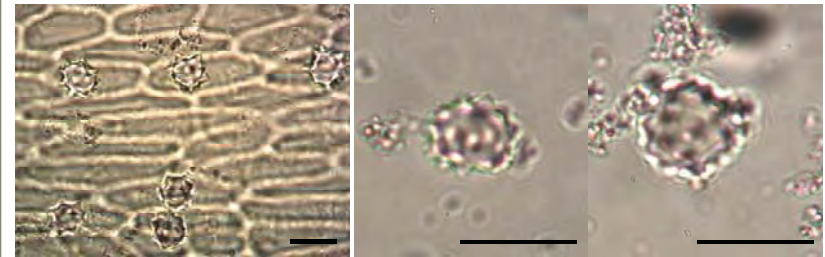


- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN HOJA



Morfotipo: Subglobular a globular equinado
Abundancia: Muy abundante
Abundancia relativa: >90%
Tamaño: largo 5-10 µm; media 8 µm; DS 1,2 µm
 ancho 4,5-9 µm; media 6,6 µm; DS 1,2 µm
Nº espinas en contorno: 10-12
Altura de las espinas: 0,9-1,9 µm; media 1,4 µm; DS 0,2 µm
Ángulo de las espinas: 62-113 µm; media 84 µm; DS 11 µm



Morfotipos subglobulares equinados *in situ* en hoja de palmera oxidada (izquierda) y desarticulados en material calcinado (centro y derecha). Escala gráfica = 10 µm

Morfotipo: Tabular poliédrico granulado
Abundancia: Escasos
Abundancia relativa: 3,5 %
Tamaño: largo 15-23 µm; ancho 9-14 µm



Morfotipos tabulares poliédricos de superficie granulada. Escala gráfica = 10 µm

Morfotipo: Elementos de conducción cilíndricos con engrosamientos helicoidales
Abundancia: Escasos
Abundancia relativa: 2 %
Tamaño: largo 55-65 µm; ancho 5-10 µm



Morfotipos cilíndricos con engrosamiento helicoidal en material calcinado. Escala gráfica = 10 µm



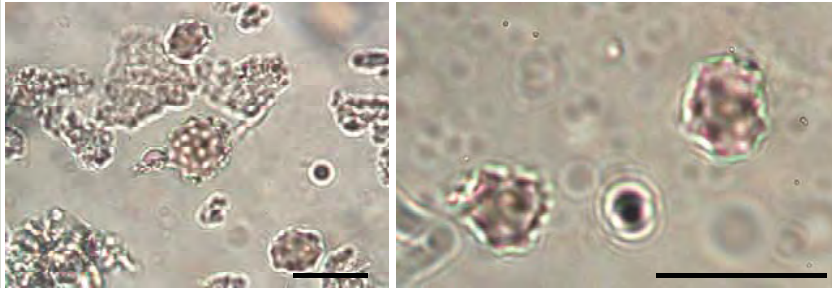
Butia odorata (Barb. Rodr.) Noblick

- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN RAQUIS

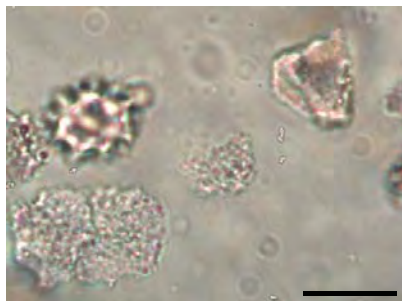


Morfotipo: Subglobular a globular equinado
Abundancia: Abundantes
Abundancia relativa: >60%
Tamaño: largo 4-10 μm ; media 7 μm ; DS 1,2 μm
 ancho 2,9-7,5 μm ; media 4,9 μm ; DS 1 μm
Nº espinas en contorno: 10-12
Altura de las espinas: 0,8-1,4 μm ; media 1,1 μm ; DS 0,2 μm
Ángulo de las espinas: 67-116 μm ; media 84 μm ; DS 11 μm



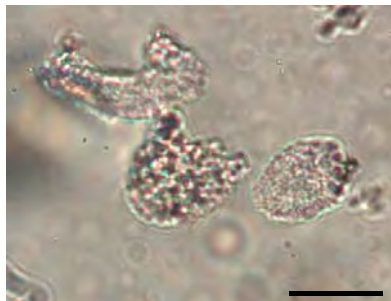
Morfotipos subglobulares equinados desarticulados en material calcinado de raquis. Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: Tabular poliédrico granulado
Abundancia: Frecuentes
Abundancia relativa: 37 %
Tamaño: largo 8-21 μm ; ancho 6-12 μm



Morfotipos tabulares poliédricos granulados en material calcinado. Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: Subglobular granulado
Abundancia: Escasos
Abundancia relativa: 2 %
Tamaño: largo 8-12 μm ; ancho 7-10 μm



Morfotipos globulares granulados en material calcinado. Escala gráfica = 10 μm



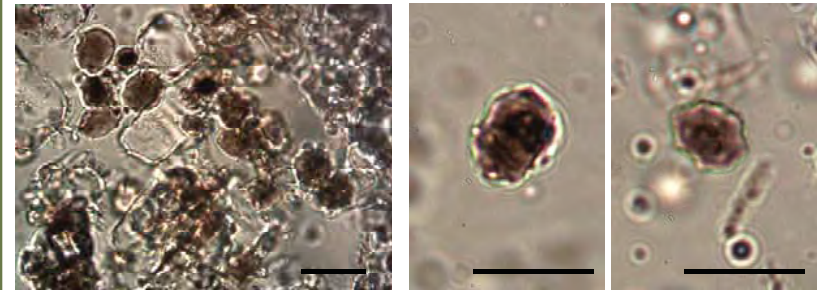
Butia odorata (Barb. Rodr.) Noblick

- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN FRUTO (EXOCARPO Y MESOCARPO)



Morfotipo: Subglobular a globular equinado
Abundancia: Muy abundantes
Abundancia relativa: 95 %
Tamaño: largo 5,5-11 μm ; media 7,8 μm ; DS 1,5 μm
 ancho 3,7-9,5 μm ; media 5,8 μm ; DS 1,2 μm
Nº espinas en contorno: 5-8
Altura de las espinas: 0,4-1,5 μm ; media 0,7 μm ; DS 0,2 μm



Morfotipos subglobulares equinados desarticulados en material calcinado de fruto. Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: Cilíndrico con engrosamiento helicoidal
Abundancia: Frecuentes
Abundancia relativa: 4,5 %
Tamaño: largo 18-85 μm ; ancho 4-9 μm



Elementos de conducción cilíndricos con engrosamiento helicoidal. Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: Elongado de contorno liso (fibras)
Abundancia: Muy escasos
Abundancia relativa: 0,5 %
Tamaño: largo 300-850 μm ; ancho 4-6 μm



Elemento elongado de contorno liso, correspondiente a fragmento de fibra. Escala gráfica = 10 μm



Butia odorata (Barb. Rodr.) Noblick



■ [Página principal](#)

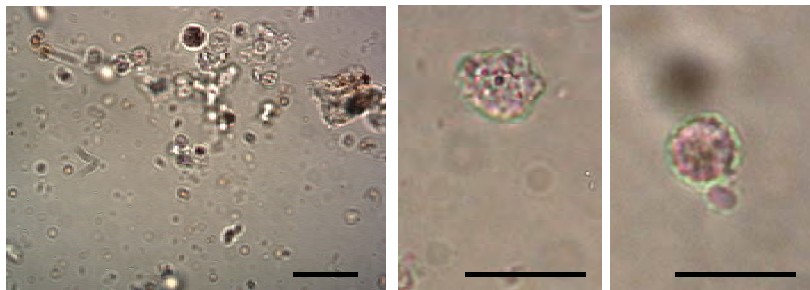
■ [Lista de especies](#)

■ [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN ENDOCARPO

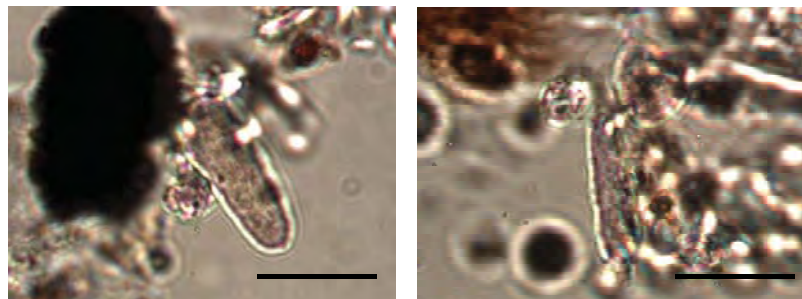
Butia odorata
Página inicio

Morfotipo: Subglobular a globular equinado
Abundancia: Muy abundantes
Abundancia relativa: 98,5 %
Tamaño: largo 3-6,7 μm ; media 4,7 μm ; DS 0,9 μm
 ancho 2,5- 5,5 μm ; media 3,7 μm ; DS 0,8 μm
Nº espinas en contorno: 8-16
Altura de las espinas: 0,1-0,7 μm ; media 0,4 μm ; DS 0,1 μm
Ángulo de las espinas: 75-140 μm ; media 107,4 μm ; DS 14 μm



Morfotipos subglobulares equinados desarticulados en material calcinado de endocarpo. Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: Micro pelo unicelular acicular
Abundancia: Muy escaso
Abundancia relativa: 1 %
Tamaño: largo 13-15 μm ; ancho 3-4,5 μm



Apéndices dérmicos correspondientes a micropelos unicelulares aciculares. Escala gráfica = 10 μm



Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glassman



■ [Página principal](#)

■ [Lista de especies](#)

■ [Referencias](#)

Ficha general

Familia: Arecaceae

Género: Syagrus

Epíteto científico: *Syagrus romanzoffiana* (Cham.)
 Glassman

Nombre vernáculo: Pindó

Procedencia del material analizado: Jardín Botánico de
 Montevideo

Órganos Analizados:

- [Hoja](#)
- [Rauis](#)
- [Fruto \(exocarpo y mesocarpo\)](#)
- [Endocarpo \(coquito\)](#)



Palmeras Pindó integrando el bosque de quebrada en Quebrada de los Cuervos, Treinta y Tres.

Generalidades de la producción de fitolitos:

Abundante producción de silicofitolitos, dentro de los que predominan los morfotipos globulares a subglobulares equinados. Estos morfotipos están presentes en las distintas partes de la planta analizadas, variando su abundancia relativa, tamaño, cantidad y dimensiones de las espinas. Constituyen los morfotipos característicos de la familia Arecaceae.



Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glassman

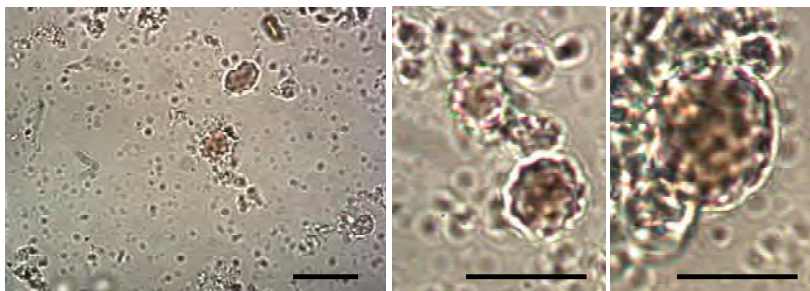


- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN HOJA



Morfotipo: Subglobular a globular equinado
Abundancia: Muy abundantes
Abundancia relativa: >80 %
Tamaño: largo 5,4-13,3 µm; media 7,68 µm; DS 1,6 µm
 ancho 3,7- 11,6 µm; media 5,8 µm; DS 1,5 µm
Nº espinas en contorno: 12-22
Altura de las espinas: 0,4-1,2 µm; media 0,8 µm, DS 0,16 µm



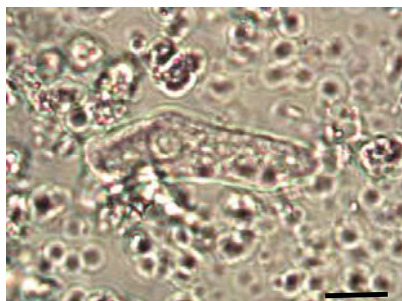
Morfotipos subglobulares equinados desarticulados en material calcinado de hoja. Escala gráfica = 10 µm

Morfotipo: Subglobular granulado
Abundancia: Abundantes
Abundancia relativa: 15 %
Tamaño: largo 5-10 µm; ancho 4-9 µm



Morfotipos subglobular a globular de superficie granulada. Escala gráfica = 10 µm

Morfotipo: Cilindro liso (vaso)
Abundancia: Muy escasos
Abundancia relativa: 0,5 %
Tamaño: largo 35- 75 µm; ancho 8-15 µm



Elemento de conducción cilíndrico de superficie lisa. Escala gráfica = 10 µm



Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glassman

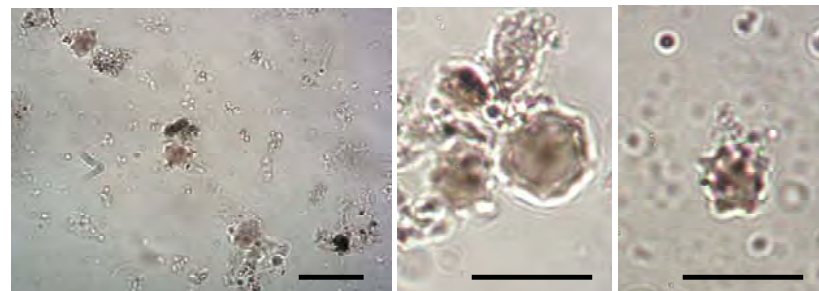


- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN RAQUIS

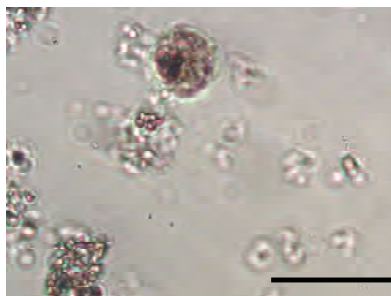


Morfotipo: Subglobular a globular equinado
Abundancia: Abundantes
Abundancia relativa: >80 %
Tamaño: largo 4,6-9,5 µm; media 6,7 µm; DS 1,24 µm
 ancho 3,6- 8 µm; media 5,3 µm; DS 1,15 µm
Nº espinas en contorno: 8-12
Altura de las espinas: 0,65-1,5 µm; media 1,12 µm, DS 0,21 µm



Morfotipos subglobulares equinados desarticulados en material calcinado de raquis. Escala gráfica = 10 µm

Morfotipo: Subglobular granulado
Abundancia: Frecuentes
Abundancia relativa: 10-12 %
Tamaño: largo 4-10 µm; ancho 3-8 µm



Morfotipos subglobular a globular de superficie granulada. Escala gráfica = 10 µm

Morfotipo: Cilindro liso (vaso)
Abundancia: Muy escasos
Abundancia relativa: 1,5 %



Elemento de conducción cilíndrico de superficie lisa. Escala gráfica = 10 µm



Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glassman



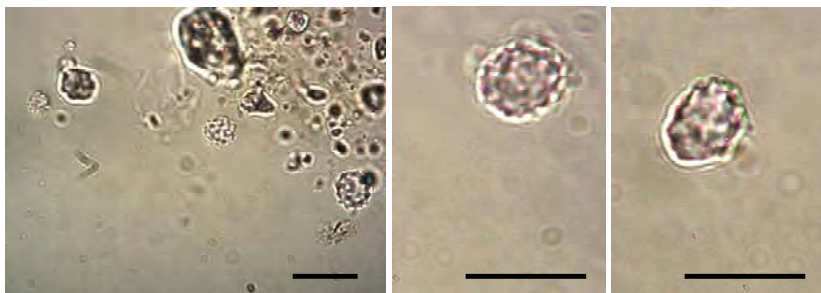
- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN FRUTO (EXOCARPO Y MESOCARPO)

← Syagrus rom.
Página inicio

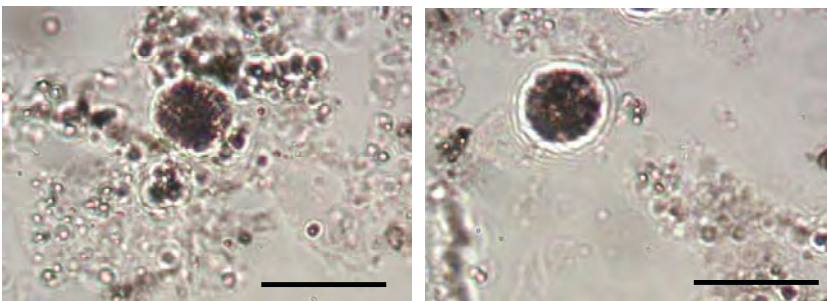
Syagrus rom.
Endocarpo →

Morfotipo: Subglobular a globular equinado
Abundancia: Abundantes
Abundancia relativa: >90 %
Tamaño: largo 4,9-11,5 µm; media 7,7 µm; DS 1,52 µm
 ancho 3,17- 8,15 µm; media 5,8 µm; DS 1,24 µm
Nº espinas en contorno: 12-18
Altura de las espinas: 0,34-1,39 µm; media 0,65 µm, DS 0,2 µm



Morfotipos subglobulares equinados desarticulados en material calcinado de fruto. Escala gráfica = 10 µm

Morfotipo: Subglobular granulado
Abundancia: Frecuentes
Abundancia relativa: 8-10 %
Tamaño: largo 5-10 µm; ancho 3-8 µm



Morfotipos subglobulares a globulares de superficie granulada. Escala gráfica = 10 µm



Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glassman

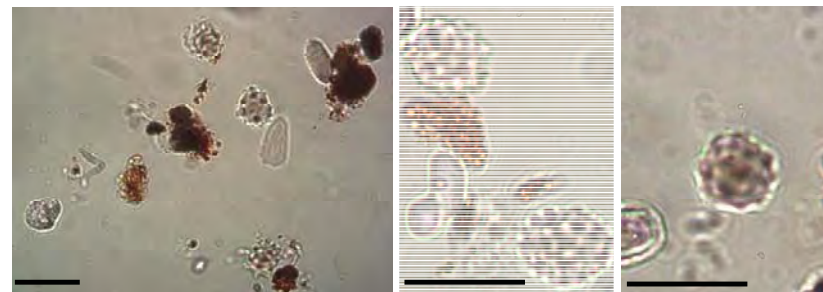


- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN ENDOCARPO

← Syagrus rom.
Página inicio

Morfotipo: Subglobular a globular equinado
Abundancia: Abundantes
Abundancia relativa: 70-75 %
Tamaño: largo 4,16-9,42 µm; media 6,68 µm; DS 1,27 µm
 ancho 2,97- 7,8 µm; media 5,06 µm; DS 1,13 µm
Nº espinas en contorno: 12-18
Altura de las espinas: 0,42-1,06 µm; media 1,120,68 µm, DS 0,16 µm



Morfotipos subglobulares equinados desarticulados en material calcinado de endocarpo. Escala gráfica = 10 µm

Morfotipo: Subglobular granulado
Abundancia: Frecuentes
Abundancia relativa: 15-20 %
Tamaño: largo 4-9 µm; ancho 3-7,5 µm



Morfotipo subglobular a globular de superficie granulada. Escala gráfica = 10 µm

Morfotipo: micropelo unicelular aguzado
Abundancia: Escasos
Abundancia relativa: 6-8 %
Tamaño: largo 8-15 µm; ancho 6-12 µm



Elemento aguzado correspondiente a un micropelo unicelular. Escala gráfica = 10 µm



Bromelia antiacantha Bertol.



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

Ficha general

Familia: Bromeliaceae

Género: Bromelia

Epíteto científico: *Bromelia antiacantha* Bertol.

Nombre vernáculo: Bananita do mato

Procedencia del material analizado: Colecta personal identificada en el Herbario de la Facultad de

Agronomía

Órganos Analizados:

- [Hoja](#)
- [Exocarpo](#)
- [Mesocarpo](#)
- [Flor](#)



Bromelia en flor en Palmar de Tiburcio, Rocha.

Generalidades de la producción de fitolitos:

Abundante producción de silicofitolitos, dentro de los que predominan los morfotipos globulares a subglobulares equinados de radio menor o igual a 5 micras. Estos morfotipos están presentes en hoja y exocarpo, donde se registra la mayor producción de biosílice.



Bromelia antiacantha Bertol.



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)



MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN HOJA

Morfotipo: Globular equinado

Abundancia: Abundantes

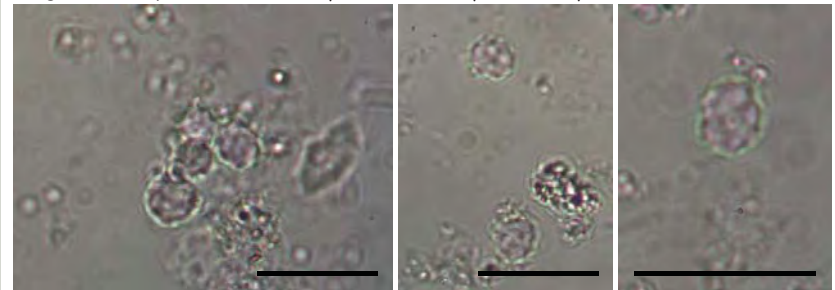
Abundancia relativa: 99-100 %

Tamaño: largo 2,25-5,73 μm ; media 3,8 μm ; DS 0,72 μm
ancho 2,02- 4,87 μm ; media 3,14 μm ; DS 0,57 μm

Nº espigas en contorno: 8-14

Altura de las espigas: 0,28-0,86 μm ; media 0,46 μm ; DS 0,12 μm

Ángulo de las espigas: 76,67-115,87 μm ; media 91,56 μm ; DS 9,63 μm



Morfotipos globulares equinados desarticulados en material calcinado. Escala gráfica = 10 μm



Bromelia antiacantha Bertol.

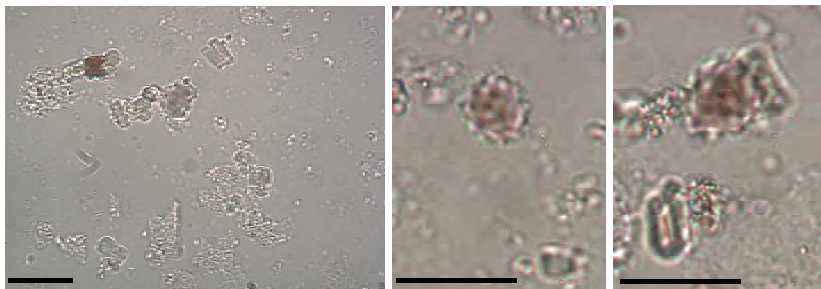


- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN EXOCARPO



Morfotipo: Subglobular a globular equinado
Abundancia: Escasos
Abundancia relativa: 17-20 %
Tamaño: largo 3,23-8,42 μm ; media 5,56 μm ; DS 1,6 μm
 ancho 2,43- 6,61 μm ; media 4,43 μm ; DS 1,3 μm
Nº espinas en contorno: 10-14
Altura de las espinas: 0,34-1,05 μm ; media 0,64 μm ; DS 0,15 μm
Ángulo de las espinas: 69,1-115,4 μm ; media 91,56 μm ; DS 10,33 μm



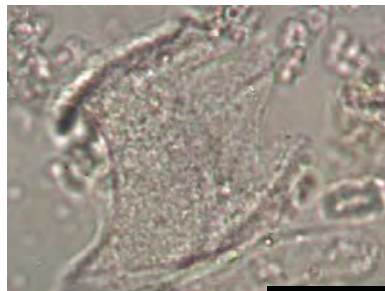
Morfotipos subglobulares equinados desarticulados en material calcinado de exocarpo. Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: Cilindro con engrosamiento helicoidal
Abundancia: Escasos
Abundancia relativa: 13-15 %
Tamaño: largo 45-50 μm ; ancho 4-6 μm



Elemento de conducción con engrosamiento helicoidal. Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: Cilindro liso
Abundancia: Escasos
Abundancia relativa: 8-10 %
Tamaño: largo 25-40 μm ; ancho 6-10 μm



Elemento de conducción liso. Escala gráfica = 10 μm



Bromelia antiacantha Bertol.



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN MESOCARPO



Morfotipo: Cilindro con engrosamiento helicoidal
Abundancia: Muy escasos
Abundancia relativa: 25-30 %
Tamaño: largo 20-40 μm ; ancho 4,5-7 μm



Elemento de conducción con engrosamiento helicoidal. Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: Cilindro irregular liso
Abundancia: Muy escasos
Abundancia relativa: 8-10 %
Tamaño: largo 8-12 μm ; ancho 6-10 μm



Traqueida corta lisa. Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: Elongado liso
Abundancia: Muy escasos
Abundancia relativa: 25-30 %
Tamaño: largo 50-60 μm ; ancho 3-10 μm



Elemento elongado liso. Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: subglobular rugoso
Abundancia: Muy escasos
Abundancia relativa: 25-30 %
Tamaño: largo 7-10 μm ; ancho 3-4 μm



Subglobular rugoso. Escala gráfica = 10 μm



Bromelia antiacantha Bertol.



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN FLOR

Bromelia ant.
Página inicio

Morfotipo: Tabular de contorno circular con anillos concéntricos en su interior

Abundancia: Abundantes

Abundancia relativa: 99-100 %

Tamaño: diámetro 4,5-12 μm ; media 6,53 μm ; DS 2,01 μm



Morfotipos tabulares circulares concéntricos en material calcinado de flor. Escala gráfica = 10 μm



Celtis tala Gillies ex Planch



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

Ficha general

Familia: Cannabaceae

Género: Celtis

Epíteto científico: *Celtis tala* Gillies ex Planch

Nombre vernáculo: Tala

Procedencia del material analizado: Colecta personal identificada en el Herbario de la Facultad de

Agronomía

Órganos Analizados:

- [Hoja](#)
- [Endocarpo](#)
- [Ramas](#)



Grupo de talas sobre manguera de piedra en Casupá, Florida.

Generalidades de la producción de fitolitos:

Producción variable en cantidad y morfología entre las distintas partes de la planta analizadas. Las hojas se caracterizan por la producción de cistolitos silíceos de gran tamaño, junto a apéndices dérmicos, células basales de pelos, elementos tabulares poliédricos lisos y estomas. También se observó una abundante producción de calcifitolitos, representados principalmente por drusas. En el endocarpo se registró una alta abundancia de morfotipos tabulares lobulados de superficie equinada, en tanto en las ramas predominaron los tabulares poliédricos de superficie lisa o rugosa y los elementos de conducción silicificados.



Celtis tala Gillies ex Planch



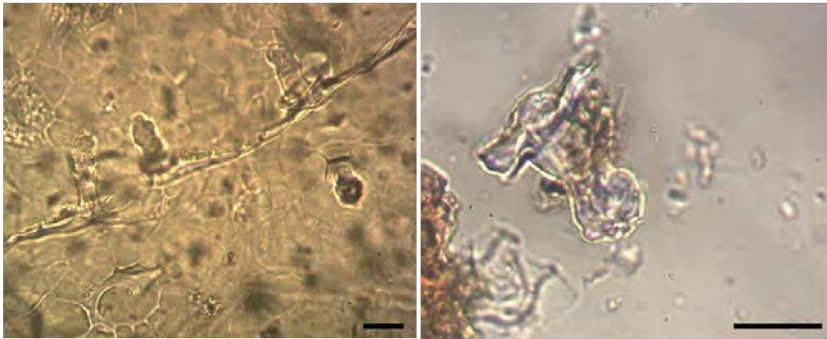
- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN HOJA

[Celtis tala](#)
[Página inicio](#)

[Celtis tala](#)
[Hoja continua](#)

Morfotipo: Subglobular rugoso con un pie y base plana
Abundancia: Abundantes
Abundancia relativa: 25-30 %
Tamaño: largo 25-40 μm ; media 28,64 μm ; DS 6,6 μm
 ancho 14-30 μm ; media 20,3 μm ; DS 6,41 μm



Cistolitos *in situ* en hoja oxidada de tala (izquierda) y desarticulados en material calcinado (derecha). Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: Tabular poliédrico liso
Abundancia: Abundantes
Abundancia relativa: 45-50 %
Tamaño: largo 15-35 μm ; ancho 11-22 μm
 Nº lados: 6-13



Elementos tabulares poliédricos lisos. Escala=10 μm

Morfotipo: Estomas
Abundancia: Frecuentes
Abundancia relativa: 8-10 %
Tamaño: largo 8-12 μm ; ancho 5-8 μm



Estomas en hoja de tala. Escala gráfica = 10 μm



Celtis tala Gillies ex Planch



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN HOJA

[Celtis tala](#)
[Página inicio](#)

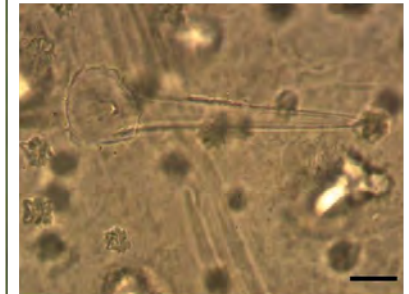
[Celtis tala](#)
[Fruto](#)

Morfotipo: Tabular esferoidal de contorno ondulado y con protuberancia central
Abundancia: Frecuentes
Abundancia relativa: 8-10 %
Tamaño: radio= 14-55 μm

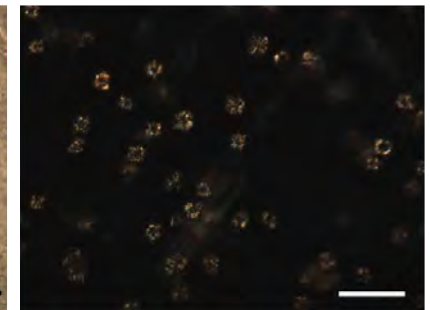


Base de pelo. Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: Macropelo unicelular de cuerpo cilíndrico y extremo aguzado
Abundancia: Frecuentes
Abundancia relativa: 4-10 %
Tamaño: largo 10-80 μm ; ancho 6-105-20 μm



Apéndice dérmico *in situ* en hoja de *Celtis tala*. Escala gráfica = 10 μm



Imágenes de tejido epidérmico y subepidérmico de hoja de *Celtis tala*. Se observa la presencia de apéndices dérmicos, cistolitos y estomas con luz (derecha), así como de drusas de oxalato de calcio bajo luz polarizada (derecha). Escala gráfica = 25 μm



Celtis tala Gillies ex Planch



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN ENDOCARPO

[Celtis tala](#)
[Página inicio](#)

[Celtis tala](#)
[Ramas](#)

Morfotipo: Tabular lobulado con superficie equinada
Abundancia: Abundantes
Abundancia relativa: 80-90 %
Tamaño: largo medio 27,95; DS 7,01 µm
Nº Lóbulos: media 5,48 µm; DS 1,33 µm



Morfotipos tabulares lobulados (piezas en forma de puzzle) con superficie equinada en endocarpo de *Celtis tala*. Escala gráfica = 10 µm

Morfotipo: Elemento de conducción irregular de superficie lisa a suavemente granulada
Abundancia: Escasas
Abundancia relativa: 5-7 %
Tamaño: largo 20-30 µm; ancho 15-25 µm



Traqueida corta. Escala=10 µm

Morfotipo: Suglobular a oval con proyecciones irregulares
Abundancia: Escasos
Abundancia relativa: 5-7 %
Tamaño: largo 15-25 µm; ancho 10-15 µm



Subglobular irregular. Escala gráfica = 10



Celtis tala Gillies ex Planch



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN RAMAS

[Celtis tala](#)
[Página inicio](#)

Morfotipo: Tabular poliédrico
Abundancia: Abundantes
Abundancia relativa: 80-85%
Tamaño: largo 8-20 µm, ancho 5-12 µm
Nº Lados: 4-8



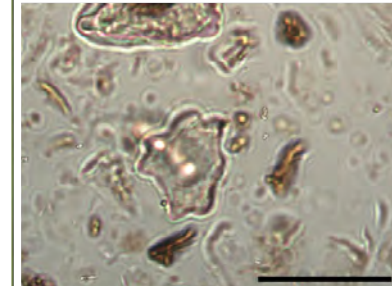
Morfotipos tabulares poliédricos. Escala gráfica = 10 µm

Morfotipo: Macropelo unicelular de cuerpo cilíndrico y extremo aguzado
Abundancia: Frecuentes
Abundancia relativa: 10-15%
Tamaño: largo 30-40 µm, ancho 3-8 µm



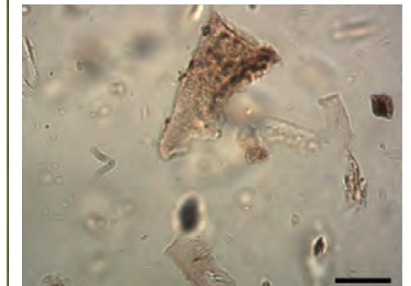
Apéndice dérmico. Escala gráfica = 10 µm

Morfotipo: Tabular lobulado
Abundancia: Escasas
Abundancia relativa: 1,5-3 %
Tamaño: largo 10-12 µm
Nº Lóbulos: 5-7



Tabular lobulado de superficie rugosa. Escala=10 µm

Morfotipo: Cilíndrico con engrosamiento helicoidal
Abundancia: Escasos
Abundancia relativa: 3-57 %
Tamaño: largo 25-35 µm



Elemento de conducción (vaso) con engrosamiento helicoidal. Escala gráfica = 10 µm



Canna glauca L.



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

Ficha general

Familia: Cannaceae

Género: Canna

Epíteto científico: *Canna glauca* L.

Nombre vernáculo: Achira

Procedencia del material analizado: Colecta personal identificada en el Herbario de la Facultad de

Agronomía

Órganos Analizados:

- [Hoja](#)
- [Rizoma](#)



Achiras en balneario La Paloma, Rocha..

Generalidades de la producción de fitolitos:

En hoja y rizoma se registra gran abundancia de fitolitos globulares, lisos y de superficie levemente granulada, así como esféricos con pliegues irregulares dispuestos en forma radial. Frecuentemente se presentan formando cadenas de distinto largo. Su tamaño varía de 8 a 30 micras de radio y presentan coloración rosada a pardo-rojiza.



Canna glauca L.



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN HOJA

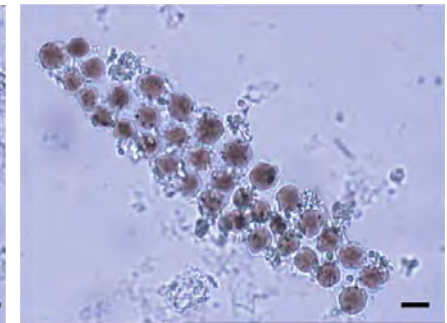
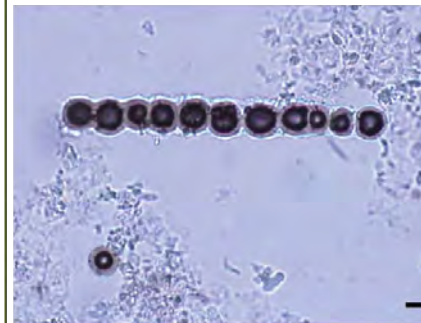


Morfotipo: Globular a subglobular de superficie lisa a granulada.

Abundancia: Abundantes

Abundancia relativa: 75 %

Tamaño: Radio = 14,3 μm , DS = 2,25



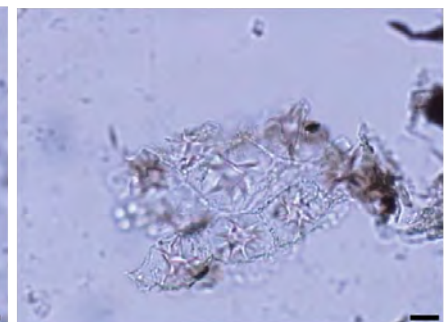
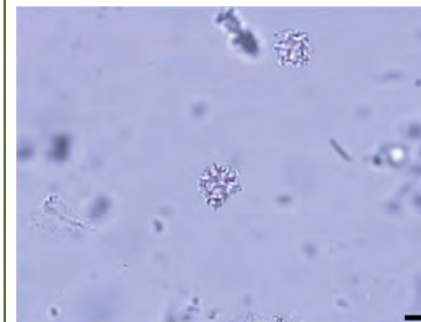
Fitolitos globulares lisos y granulados formando cadenas características en hoja calcinada de achira. Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: Elementos esféricos con pliegues o crestas irregulares dispuestos en forma radial.

Abundancia: Frecuentes

Abundancia relativa: 20 %

Tamaño: Radio = 15,22 μm ; DS = 4,22



Fitolitos esféricos con pliegues radiados en material calcinado de hoja de achira . Escala=10 μm



Canna glauca L.

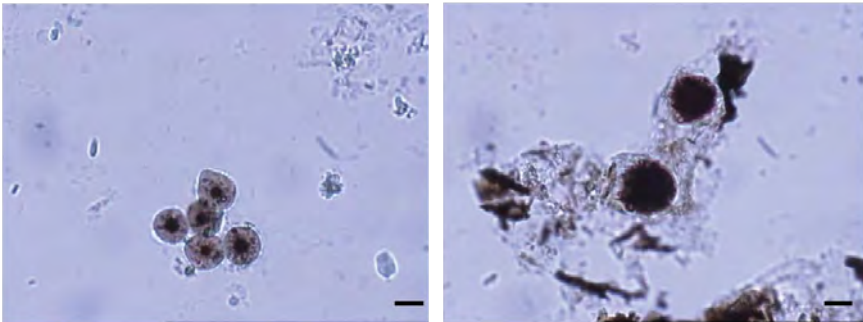


- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN RIZOMA

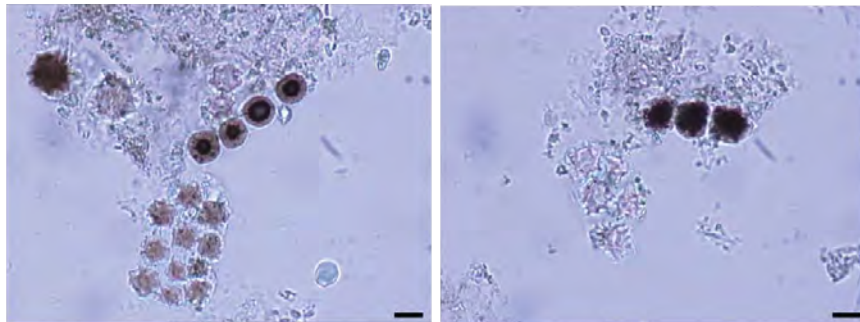
← [Canna glauca](#)
[Página inicio](#)

Morfotipo: Globular a subglobular de superficie lisa a granulada.
Abundancia: Frecuentes
Abundancia relativa: 35 %
Tamaño: Radio = 13,31 μm , DS = 4,19



Fitolitos globulares lisos y granulados en rizoma calcinado de achira. Escala gráfica = 10 μm

Morfotipo: Elementos esféricos con pliegues o crestas irregulares dispuestos en forma radial.
Abundancia: Abundantes
Abundancia relativa: 55 %
Tamaño: Radio = 15,43 μm ; DS = 3,14



Fitolitos esféricos con pliegues radiados junto a globulares lisos y rugosos en material calcinado de rizoma de achira . Escala=10 μm



Cucurbita máxima x C. moschata



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

Ficha general

Familia: Cucurbitaceae
 Género: Cucurbita
 Epíteto científico: *Cucurbita máxima* x *C. moschata*
 Nombre vernáculo: Kabutiá
 Procedencia del material analizado: Colecta personal
 Órganos Analizados:

- [Hoja](#)
- [Flor](#)
- [Exocarpo](#)



Zapallo kabutiá

Generalidades de la producción de fitolitos:

Abundante producción de cuerpos silíceos. En hoja y flor predominan los macro pelos pluricelulares y las células basales asociadas. En cáscara de fruto se destacan los morfotipos subglobulares facetados característicos de la familia Cucurbitaceae.



Cucurbita máxima x C. moschata



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN HOJA

[Kabutiá](#)
[Página inicio](#)

[Hoja](#)
[Continuación](#)

Morfotipo: Macro pelos pluricelulares

Abundancia: Abundante

Abundancia relativa: 53 %

Tamaño: largo= 194,67 µm; DS = 62,08 / ancho base = 29,25 µm; DS = 1,3

Escala: 10 µm



Cucurbita máxima x C. moschata



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN HOJA

[Kabutiá](#)
[Página inicio](#)

[Kabutiá](#)
[Flore](#)

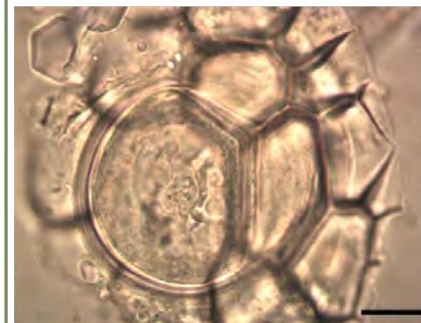
Morfotipo: Elementos tabulares esféricos a esferoidales de contornos ondulados y con una marca circular en el centro o protuberancia silícea en el tejido sub-epidérmico (base de pelo).

Abundancia: Frecuentes

Abundancia relativa: 15,6 %

Tamaño: largo= 70 µm; DS = 18,07

Escala: 10 µm



Morfotipo: Tabular poliédrico (5-8 lados) de superficie lisa.

Abundancia: Frecuentes

Abundancia relativa: 26,51 %

Tamaño: largo= 24,58 µm; DS = 8,23

Escala: 10 µm



Morfotipo: Cilíndrico con engrosamiento espiralado (traqueida).

Abundancia: Escasos

Abundancia relativa: 3,61 %

Tamaño: largo= 32,25 µm; DS = 4,12

Escala: 10 µm





Cucurbita máxima x *C. moschata*



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN FLOR

[Kabutiá](#)
[Página inicio](#)

[Kabutiá](#)
[Exocarpo](#)

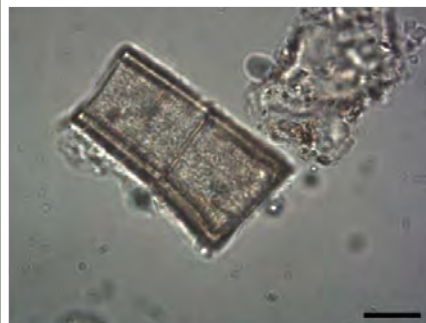
Morfotipo: Macro pelos pluricelulares

Abundancia: Abundante

Abundancia relativa: 97 %

Tamaño: largo= 125,22 μm ; DS = 27,02

Escala=10 μm



Cucurbita máxima x *C. moschata*



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS
EXOCARPO

[Kabutiá](#)
[Página inicio](#)

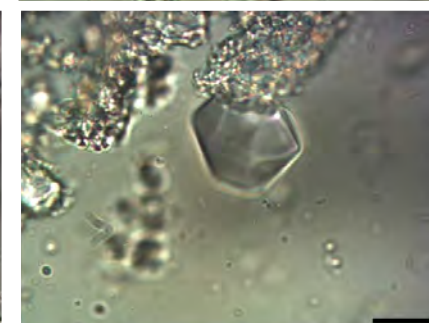
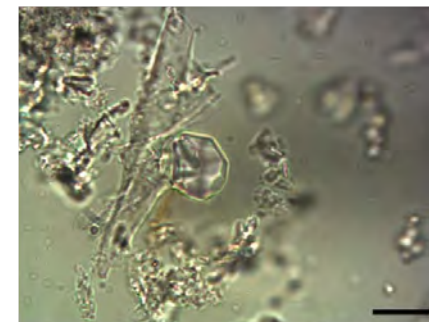
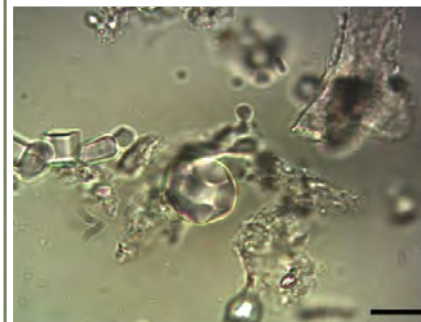
Morfotipo: Subglobular a globular facetado

Abundancia: Abundante

Abundancia relativa: 97%

Tamaño: largo= 12,14 μm ; DS = 3,27 / ancho = 9,52 μm ; DS = 2,6

Escala=10 μm





Cucurbita ficifolia Bouché



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

Ficha general

Familia: Cucurbitaceae

Género: Cucurbita

Epíteto científico: *Cucurbita ficifolia* Bouché

Procedencia del material analizado: Colección arqueobotánica, Instituto de Arqueología y Museo UNT, Argentina.

Órganos Analizados:

- [Exocarpo](#)



Cucurbita ficifolia. Foto: www.mrugalo.net

Generalidades de la producción de fitolitos:

Alta producción de sílice en cáscara de fruto. Predominan los morfotipos globulares a subglobulares facetados, característicos de la familia Cucurbitaceae.



Cucurbita ficifolia Bouché



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EXOCARPO

[C. ficifolia](#)
[Página inicio](#)

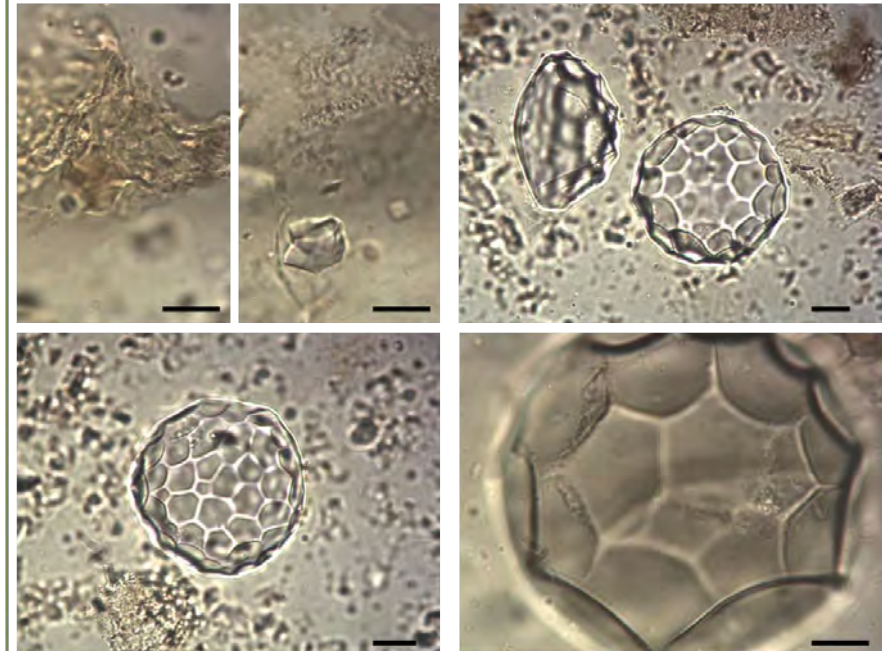
Morfotipo: Subglobular a globular facetado

Abundancia: Abundante

Abundancia relativa: 98%

Tamaño: largo= 62,49 µm; DS = 25,71 / ancho = 53,77 µm; DS = 23,20

Escala=10 µm





Cucurbita maxima Duchesne



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

Ficha general

Familia: Cucurbitaceae

Género: Cucurbita

Epíteto científico: *Cucurbita maxima* Duchesne

Procedencia del material analizado: Colección arqueobotánica, Instituto de Arqueología y Museo UNT, Argentina.

Órganos Analizados:

- [Exocarpo](#)



Cucurbita maxima. Foto: gobotany.newenglandwild.org

Generalidades de la producción de fitolitos:

Alta producción de sílice en cáscara de fruto. Predominan los morfotipos globulares a subglobulares facetados, característicos de la familia Cucurbitaceae.



Cucurbita maxima Duchesne



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS
EXOCARPO

← [C. maxima](#)
[Página inicio](#)

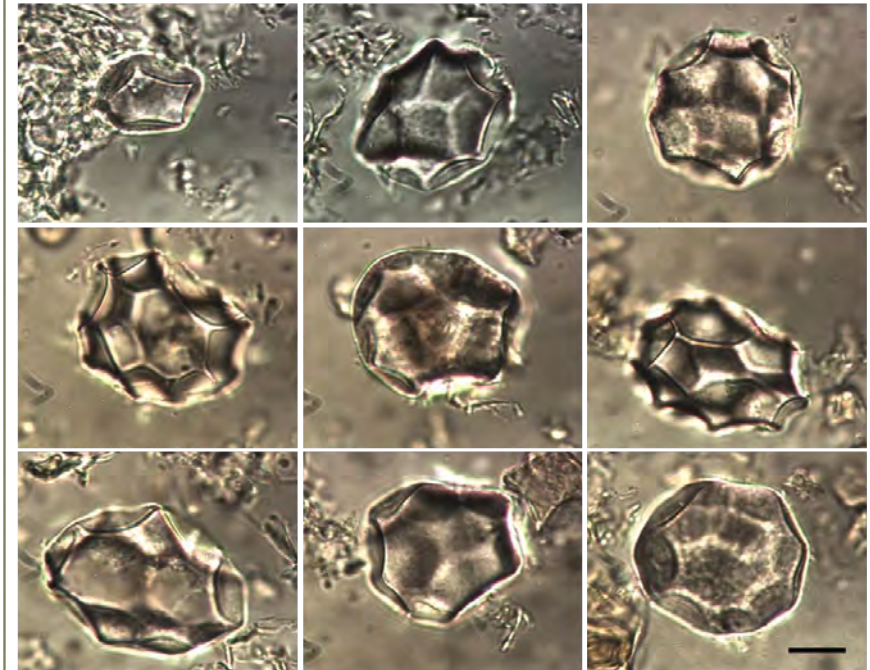
Morfotipo: Subglobular a globular facetado

Abundancia: Abundante

Abundancia relativa: 96%

Tamaño: largo= 25,26 μm ; DS = 5,56 / ancho = 19,77 μm ; DS = 4,40

Escala=10 μm





Cucurbita mixta Pangalo



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

Ficha general

Familia: Cucurbitaceae

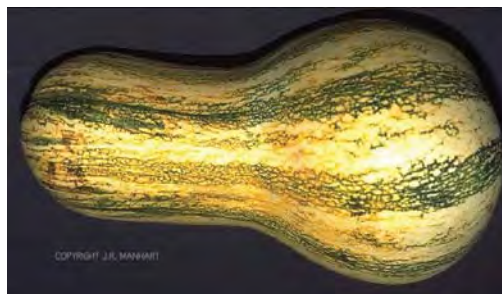
Género: Cucurbita

Epíteto científico: *Cucurbita mixta* Pangalo

Procedencia del material analizado: Colección arqueobotánica, Instituto de Arqueología y Museo UNT, Argentina.

Órganos Analizados:

- [Exocarpo](#)



Cucurbita mixta. Foto: <http://botany.csdl.tamu.edu>

Generalidades de la producción de fitolitos:

Alta producción de sílice en cáscara de fruto. Predominan los morfotipos globulares a subglobulares facetadas, característicos de la familia Cucurbitaceae.



Cucurbita mixta Pangalo



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS
EXOCARPO

← [C. mixta](#)
[Página inicio](#)

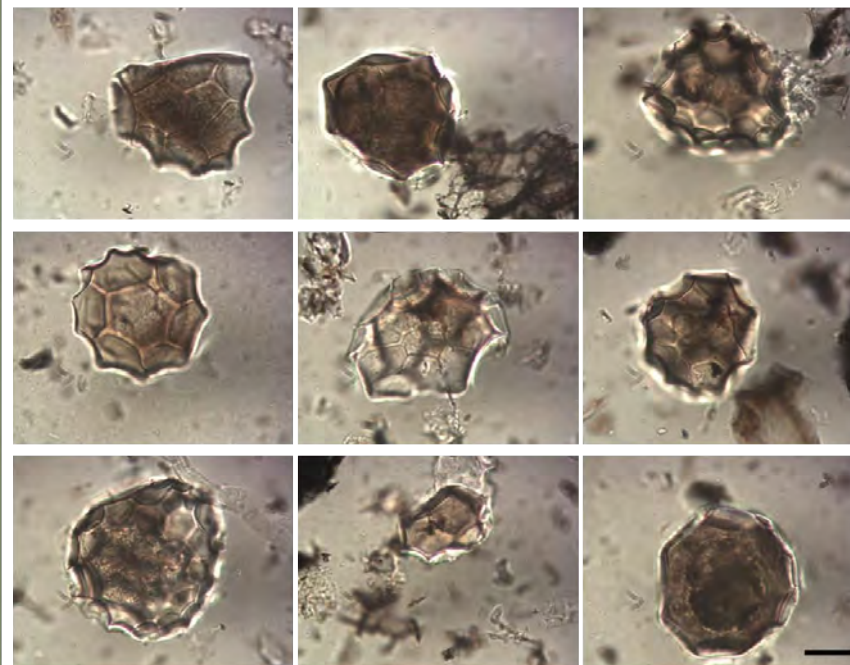
Morfotipo: Subglobular a globular facetado

Abundancia: Abundante

Abundancia relativa: 95%

Tamaño: largo= 37,96 μm ; DS = 9,33 / ancho = 28,18 μm ; DS = 8,35

Escala=10 μm





Cyperus giganteus Vahl



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

Ficha general

Familia: Cyperaceae

Género: Cyperus

Epíteto científico: *Cyperus giganteus* Vahl.

Procedencia del material analizado: Colecta personal identificada en la colección de Ecología Funcional, Facultad de Ciencias

Órganos Analizados:

- [Tallo](#)

- [Inflorescencia](#)



Cyperus giganteus. Fotografía de Luciano Rodrigues Soares. Flora digital do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. URL: <http://ufrgs.br/floradigital>.

Generalidades de la producción de fitolitos:

Alta producción de biosilíce. Predominan los fitolitos tabulares, rectangulares a ovales, con presencia de papilas centrales y satelitales menores. Se registran también células largas, estomas, apéndices dérmicos, traqueidas, fibras, así como poliedros irregulares.



Cyperus giganteus Vahl



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN TALLO

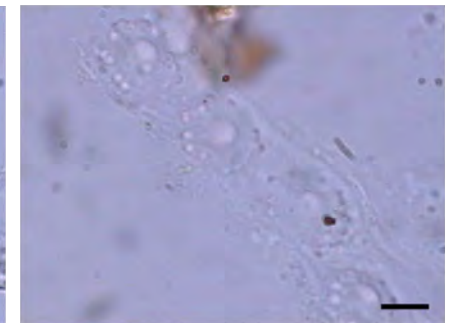
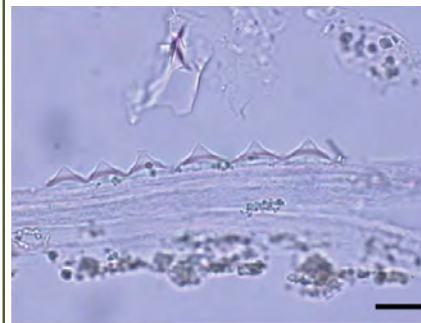


Morfotipo: Tabulares papilosos con algunos bordes sinuosos. Presencia de 2 o 3 papilas centrales, de 5 μm de diámetro x 5 de altura, en torno a las cuales se disponen conjuntos de entre 20 y 25 papilas menores (1,5 μm) en forma satelital.

Abundancia: Abundantes

Abundancia relativa: 70 %

Escala gráfica: 10 μm

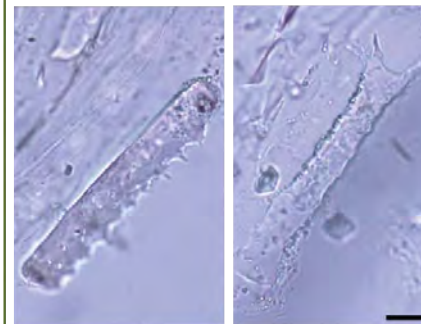


Morfotipo: Elongados de contorno liso a ondulado, con extremos rectos o cóncavos.

Abundancia: Frecuentes

Abundancia relativa: 10%

Tamaño: Largo = 68,49 μm ; DS = 36,57



Células largas en tallo calcinado. Escala=10 μm

Morfotipo: Cilíndrico con engrosamiento espiralado.

Abundancia: Escasos

Abundancia relativa: 3 %

Tamaño: Largo = 157 μm ; DS = 15,12



Traqueida en tallo calcinado. Escala=10 μm



Cyperus giganteus Vahl



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN TALLO

[Cyperus gig. Página inicio](#)

[Cyperus gig. Inflorescencia](#)



Cyperus giganteus Vahl

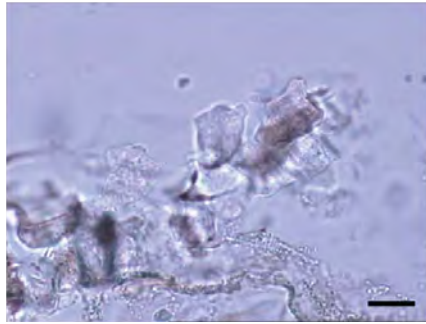
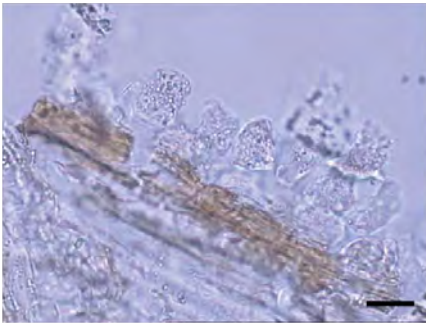


- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

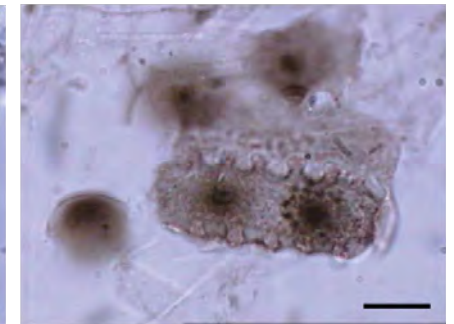
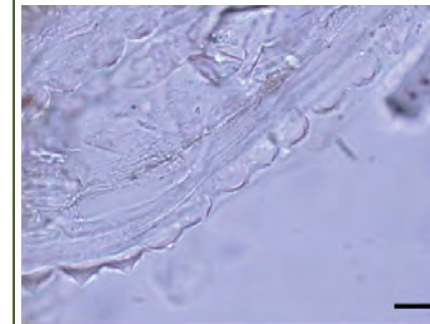
MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN INFLORESCENCIA

[Cyperus gig. Página inicio](#)

Morfotipo: Tabulares poliédricos de superficie irregular; parcialmente silicificados.
Abundancia: Frecuentes
Abundancia relativa: 7 %
Tamaño: 23,48 μm ; DS 3,02
Escala gráfica: 10 μm



Morfotipo: Tabulares papilosos con algunos bordes sinuosos. Presencia de 1 a 3 papilas centrales, de 6 μm de diámetro x 4 de altura, en torno a las cuales se disponen conjuntos de entre 10 y 15 papilas menores (1,5 μm) en forma satelital.
Abundancia: Abundantes
Abundancia relativa: 80 %
Escala gráfica: 10 μm

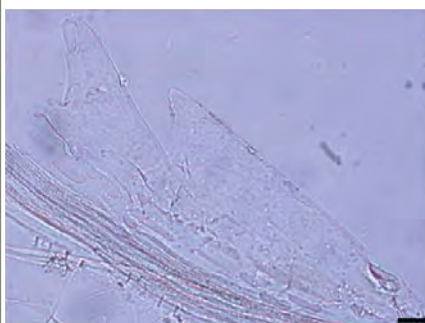


Morfotipo: Complejo estomático
Abundancia: Frecuente
Abundancia relativa: 7%
Tamaño: Largo = 39,53 μm ; DS = 2,38



Complejo estomático silicificado. Escala=10 μm

Morfotipo: Macropelos unicelulares aciculares.
Abundancia: Escasos
Abundancia relativa: 3 %
Tamaño: Largo = 203 μm ; DS = 15,04



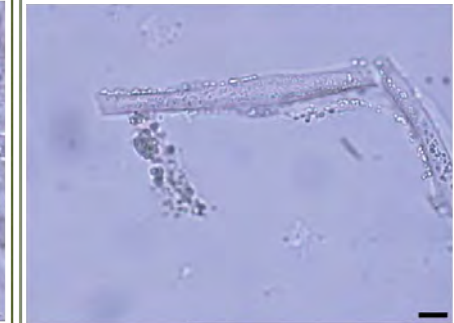
Apéndices dérmicos en tallo calcinado. Escala=10 μm

Morfotipo: Complejo estomático
Abundancia: Frecuente
Abundancia relativa: 7%
Tamaño: Largo = 38,84 μm ; DS = 3,08



Complejo estomático silicificado. Escala=10 μm

Morfotipo: Elongados de contorno liso a ondulado, con extremos rectos.
Abundancia: Frecuentes
Abundancia relativa: 10%
Tamaño: Largo = 59,4 μm ; DS = 14,82



Células largas en material calcinado. Escala=10 μm



Scirpus californicus (C.A. Mey.) Steud.



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

Ficha general

Familia: Cyperaceae

Género: Scirpus

Epíteto científico: *Scirpus californicus* (C.A.Mey.) Steud

Procedencia del material analizado: Colecta personal identificada en la colección de Ecología Funcional, Facultad de Ciencias

Órganos Analizados:

- [Tallo](#)
- [Inflorescencia](#)
- [Rizoma](#)



Scirpus californicus. Foto: Catálogo de Plantas Vasculares, Instituto de Botánica Darwinion (www2.darwin.edu.ar)

Generalidades de la producción de fitolitos:

Alta producción de biosilíce. Predominan los fitolitos tabulares, rectangulares a ovales, con presencia de papilas centrales y satelitales menores. En rizoma se presentan también como muy abundantes y característicos fitolitos subglobulares a cilíndricos con proyecciones piladas. Se registran también células largas, estomas, apéndices dérmicos, traqueidas, fibras, así como poliedros irregulares.



Scirpus californicus (C.A. Mey.) Steud.



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN TALLO



Morfotipo: Tabulares rectangulares a ovales papilosos con algunos bordes sinuosos. Presencia de 1 a 3 papilas centrales, de 5,5 μm de diámetro x 5 de altura, en torno a las cuales se disponen conjuntos de entre 20 y 25 papilas menores (1,5 μm) en forma satelital.

Abundancia: Muy abundantes

Abundancia relativa: 80 %

Escala gráfica: 10 μm



Morfotipo: Complejo estomático

Abundancia: Frecuente

Abundancia relativa: 7%

Tamaño: Largo = 45,95 μm ; DS = 1,45

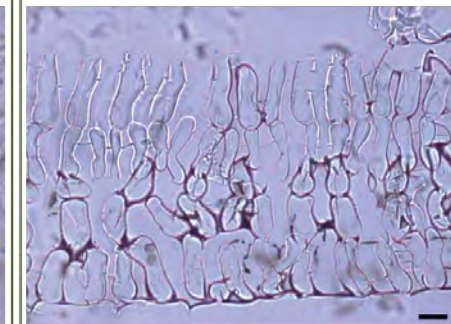


Complejo estomático silicificado. Escala=10 μm

Morfotipo: Tabular poliédrico irregular (espacio intercelular).

Abundancia: Frecuentes

Abundancia relativa: 10%



Espacios intercelulares con leve silicificación. Escala=10 μm



Scirpus californicus (C.A. Mey.) Steud.



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN INFLORESCENCIA

← [Scirpus cal. Página inicio](#)

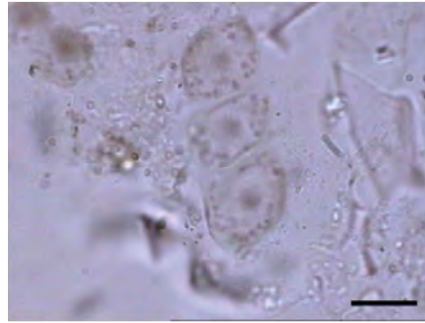
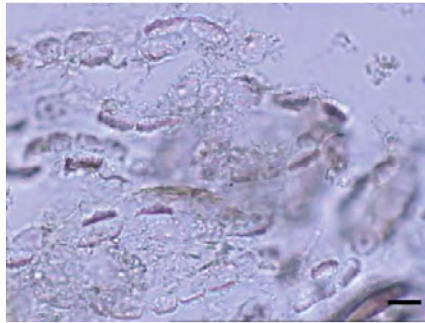
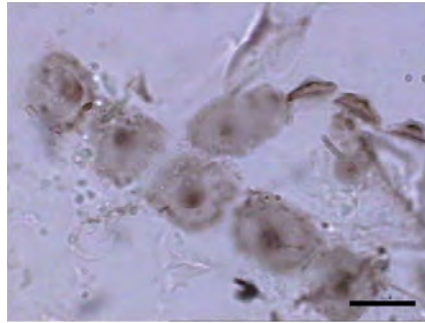
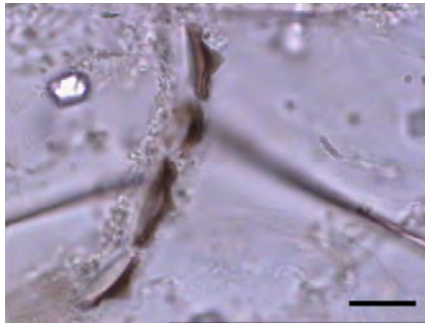
[Scirpus cal. Rizoma](#) →

Morfotipo: Tabulares rectangulares a ovals papilosos con algunos bordes sinuosos. Presencia de 2 a 5 papilas centrales, de 3,5 μm ; de diámetro x 3,5 de altura, en torno a las cuales se disponen conjuntos de entre 10 y 15 papilas menores (1 μm ;) en forma satelital.

Abundancia: Muy abundantes

Abundancia relativa: 80 %

Escala gráfica: 10 μm



Scirpus californicus (C.A. Mey.) Steud.



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN RIZOMA

← [Scirpus cal. Página inicio](#)

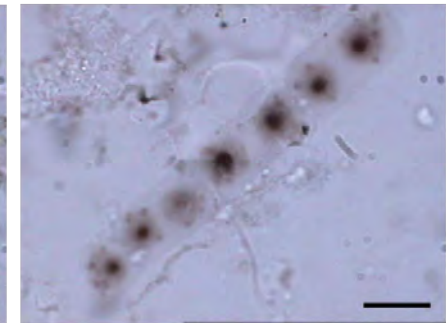
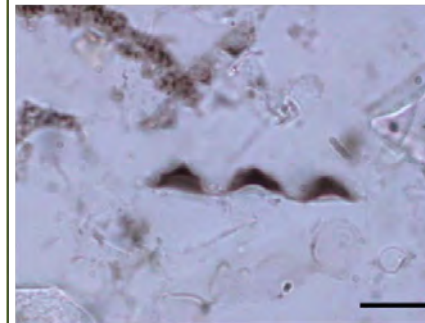
[Rizoma Continuación](#) →

Morfotipo: Tabulares rectangulares a ovals papilosos con algunos bordes sinuosos. Presencia de 2 a 5 papilas centrales, de 7 μm de diámetro x 5,5 de altura, en torno a las cuales se disponen conjuntos de entre 5 y 10 papilas menores (1,5 μm) en forma satelital.

Abundancia: Abundantes

Abundancia relativa: 50 %

Escala gráfica: 10 μm



Morfotipo: elementos cilíndricos de bordes irregulares

Abundancia: Escasos

Abundancia relativa: 3%

Tamaño: Largo = 77,99 μm ; DS = 11,55



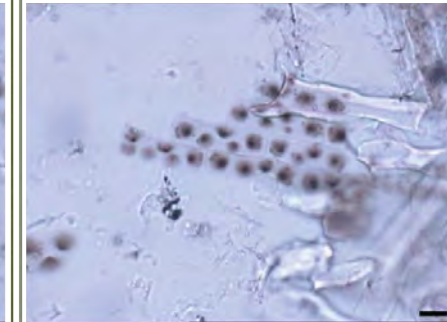
Fibras silicificadas. Escala=10 μm

Morfotipo: cilíndrico liso con numerosas caras planas.

Abundancia: Frecuentes

Abundancia relativa: 7 %

Tamaño: Largo = 64,11 μm ; DS = 33,1



Elemento de conducción. Escala=10 μm



Scirpus californicus (C.A. Mey.) Steud.



- ☒ Página principal
- ☒ Lista de especies
- ☒ Referencias

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN
RIZOMA
(CONTINUACIÓN)

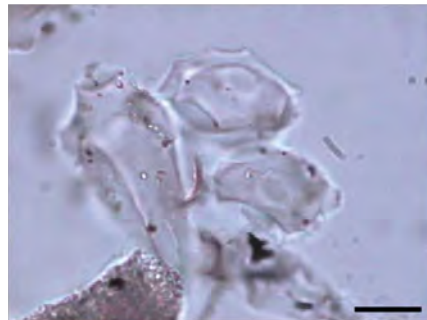
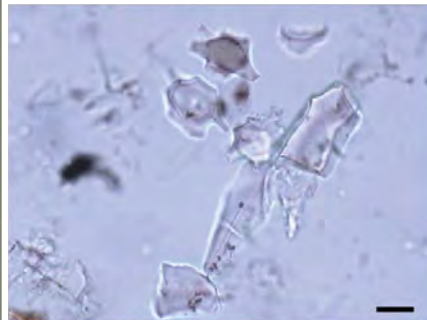
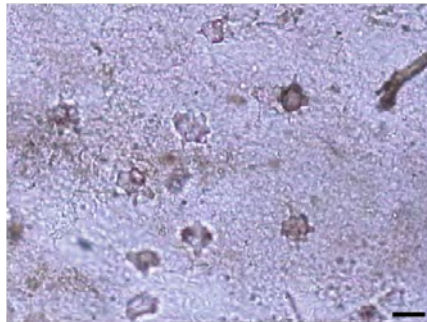
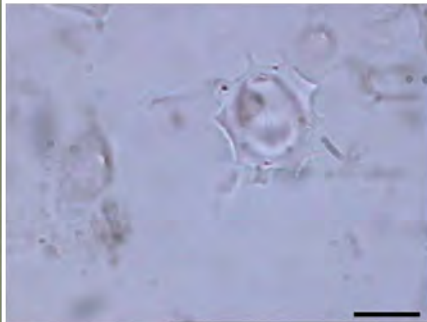
← Scirpus cal.
Página inicio

Morfotipo: Elemento radiado o estrellado formado por un cuerpo y entre 7 y 12 proyecciones de sección transversal plana o circular. Se registran también elementos cilíndricos con las mismas proyecciones piladas.

Abundancia: Abundante

Abundancia relativa: 40%

Tamaño: diámetro del cuerpo = 19,5 µm; DS = 4,23 / largo de las proyecciones = 6,82 µm; DS = 1,92



Elementos pilados, radiados y cilíndricos en material calcinado y en tejido diafanizado. Escala=10 µm



Agenium villosum (Nees) Pilg.



- ☒ Página principal
- ☒ Lista de especies
- ☒ Referencias

Ficha general

Familia: Poaceae

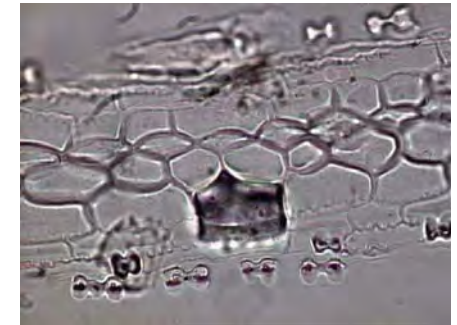
Género: Agenium

Epíteto científico: *Agenium villosum* (Nees) Pilg.

Procedencia del material analizado: Herbario de la Facultad de Agronomía.

Órganos Analizados:

- Hoja



Silicofitolitos en tejido epidérmico de *Agenium villosum*.

Generalidades de la producción de fitolitos:

Cuantiosa producción biosilíceica, con predominio de células cortas silicificadas entre las que destacan los morfotipos bilobados, tetralobados y polilobados. Células largas, células bulliformes, apéndices dérmicos y complejos estomáticos silicificados completan la asociación.



Agenium villosum (Nees) Pilg



- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

MORFOTIPOS IDENTIFICADOS EN HOJA



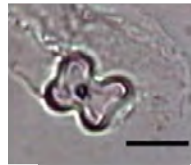
Morfotipo: célula corta bilobada con dos extremos ensanchados de final convexo e inserción bien delimitada al istmo central.
Abundancia relativa: 23%
Tamaño medio (μm): largo 18,1 ; ancho 8,58; cintura 3,39
Escala gráfica = 10 μm



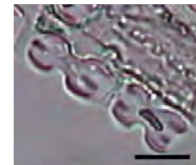
Morfotipo: célula corta bilobada con dos cabezuelas de final convexo o recto con 2 apéndices en cada una e inserción del istmo central mal delimitada.
Abundancia relativa: 18 %
Tamaño medio (μm): largo 19,37; ancho 7,01; cintura 2,33
Escala gráfica = 10 μm



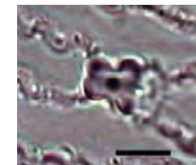
Morfotipo: célula corta bilobada con dos cabezuelas hendidas, bilobuladas, istmo central de lados paralelos en inserción bien marcada.
Abundancia relativa: 17 %
Tamaño medio (μm): largo 10; ancho 8,2; cintura 4,41
Escala gráfica = 10 μm



Morfotipo: célula corta bilobada con dos cabezuelas hendidas, bilobuladas, istmo central de bordes simétricamente cóncavos en inserción bien marcada.
Abundancia relativa: 11 %
Tamaño medio (μm): largo 18,9; ancho 9,54; cintura 3,75
Escala gráfica = 10 μm



Morfotipo: célula corta en forma de cruz, con 4 lóbulos tan anchos como largos y centro abultado.
Abundancia relativa: 3 %
Tamaño medio (μm): largo 10,1; ancho 8,3
Escala gráfica = 10 μm



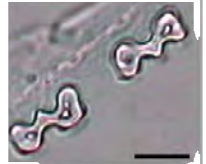
- [Página principal](#)
- [Lista de especies](#)
- [Referencias](#)

Agenium villosum (Nees) Pilg

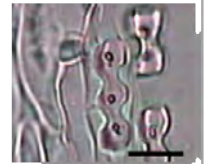


Continuación

Morfotipo: célula polilobada con más de dos constricciones centrales y tres lóbulos dispuestos asimétricamente. Los lóbulos de los extremos presentan una hendidura central o borde recto
Abundancia relativa: 5%
Tamaño medio (μm): largo 16,91; ancho 6,61
Escala gráfica = 10 μm



Morfotipo: célula corta polilobada con más de dos constricciones centrales y tres lóbulos dispuestos simétricamente. Los lóbulos de los extremos son cabezuelas de borde entero convexo.
Abundancia relativa: 4 %
Tamaño medio (μm): largo 18,79; ancho 7,76
Escala gráfica = 10 μm



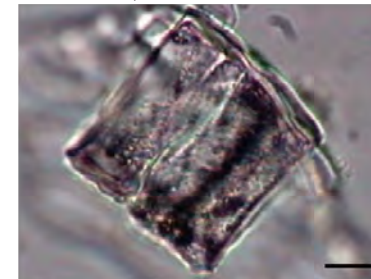
Morfotipo: Macropelo unicelular
Abundancia relativa: 2 %
Escala gráfica = 10 μm



Morfotipo: Complejo estomático
Abundancia relativa: 0,84%
Escala gráfica = 10 μm



Morfotipo: Célula bulliforme de contorno cuneiforme, laterales rectos y sector basal ancho
Abundancia relativa: 2,10 %
Escala gráfica = 10 μm



Morfotipo: Elemento elongado de contorno ondulado
Abundancia relativa: 9 %
Escala gráfica = 10 μm



Anexo III:

Trabajos publicados:

del Puerto, L., R. Bracco, H. Inda, O. Gutiérrez, D. Panario, F. García-Rodríguez. 2013. Assessing links between late Holocene climate change and paleolimnological development of Peña Lagoon using opal phytoliths, physical and geochemical proxies. *Quaternary International* 287:89-100.

del Puerto, L.; García-Rodríguez, F; Bracco, R.; Inda, H.; Capdepon, I; Castiñeira, C.; Blasi, A; Fort, H; Mazzeo, N. 2013. Historia ambiental y dinámica cultural para el Holoceno medio y tardío en el este del Uruguay. En Clave Inter. Procesos, contexto y resultados del trabajo interdisciplinario: 99-110. El-UdelaR.

del Puerto, L., H. Inda, R. Bracco, F. García e I. Capdepon. 2014. Silicofitolitos como indicadores paleoambientales: potenciales, limitaciones y ejemplos de aplicación en ecosistemas de pastizales del SE del Uruguay. *Botânica na América Latina: Conhecimento, Interação e Difusão. Anais XI Congresso Latinoamericano de Botânica*: 347-356.



This article appeared in a journal published by Elsevier. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues.

Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

In most cases authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository. Authors requiring further information regarding Elsevier's archiving and manuscript policies are encouraged to visit:

<http://www.elsevier.com/copyright>



Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com)

Quaternary International

journal homepage: www.elsevier.com/locate/quaint



Assessing links between late Holocene climate change and paleolimnological development of Peña Lagoon using opal phytoliths, physical, and geochemical proxies

Laura del Puerto^{a,*}, Roberto Bracco^b, Hugo Inda^c, Ofelia Gutiérrez^d, Daniel Panario^d, Felipe García-Rodríguez^e

^a Ministerio de Educación y Cultura, Uruguay/Centro Universitario Regional Este (CURE), Sede Rocha, Universidad de la República, Iguá 4225, Piso 11 Ala Sur, Montevideo, Uruguay

^b Laboratorio Datación ¹⁴C, Cátedra de Radioquímica, Facultad de Química (UdelaR) – Museo Nacional de Antropología (M.E.C.), Uruguay/Instituto de Antropología, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad de la República, Uruguay

^c Grupo de Investigación: Ecología y Rehabilitación de Sistemas Acuáticos, CURE-Maldonado, Universidad de la República, Uruguay

^d UNCIEP-IECA, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay

^e Oceanografía y Ecología Marina, IECA, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay

ARTICLE INFO

Article history:

Available online 26 November 2011

ABSTRACT

Opal phytolith, geochemical and sedimentological data from two cores taken in Peña Lagoon, a small water body on the Atlantic shore of Uruguay, are presented in this paper. The choice of this specific sampling location aimed to obtain high resolution records to infer late Holocene environmental and climatic changes in southeastern Uruguay, in order to improve previous models for early and middle Holocene. The combined record of two cores extends to 2500 ¹⁴C BP, with a sedimentation rate ranging between 0.6 and 2 mm y⁻¹. A multiproxy approach allowed the identification of changes in dynamics, particularly organic matter and sediment input variability from the watershed. With this information, differences in the amount and extent of environmental signals were evaluated and a comprehensive climate change model was generated, especially for the last 1500 years. Three main climatic events were distinguished. The oldest, which lasted until 700 AD, was characterized by temperate and humid conditions. The second extended until 1200 AD and warmer and wetter conditions were inferred, but also a colder and drier pulse was observed in between. This second event was assigned to the Warm Medieval Period (WMP). During the third event, assigned to the Little Ice Age (LIA), which extended until the present, a high variability in climate was observed, but also three dry/cold phases reaching their maxima by 1300, 1600 and 1900 AD were inferred.

© 2011 Elsevier Ltd and INQUA. All rights reserved.

1. Introduction

The middle latitude eastern coast of South America experienced considerable Holocene climatic changes (Prieto, 1996; Mancini et al., 2005; Iriarte, 2006; Behling, 2007; Piovano et al., 2009). Most of the models postulate a hypsithermal or optimum climaticum prior to 5200 BP, the onset of a temperate-cold and subhumid dry or strongly seasonal climate for 5200–3000 BP (Zárate, 2003; Mancini et al., 2005; Quattrocchio et al., 2008) and after 2000 BP,

most authors inferred a temperate humid climate with the occurrence of a Warm Medieval Period (WMP) and a Little Ice Age (LIA) (Iriarte, 1999; Tonni et al., 1999; Quattrocchio et al., 2008; Piovano et al., 2009). In the case of Uruguay, the climatic events have been partially assessed by del Puerto et al. (2006, 2008, 2011), Bracco et al. (2005a, 2005b, 2011a), Inda et al. (2006), and Iriarte (2006). However, the sedimentary records from which the climatic data were inferred come mainly from coastal lagoons (which exhibited direct or indirect connection to the Atlantic Ocean) or from abandoned river meanders. Therefore, because of resuspension and erosion processes, some of the records may become disturbed, thus leading to a reduced temporal resolution. For this reason, the Uruguayan paleoclimatic reconstructions need records of better resolution, especially after 2000 BP (del Puerto et al., 2011). In this sense, fully enclosed freshwater lakes, where sedimentation processes are seldom interrupted by erosion processes, contain

* Corresponding author.

E-mail addresses: lau2phy@yahoo.com (L. del Puerto), rbracco@montevideo.com.uy (R. Bracco), hif@adinet.com.uy (H. Inda), gutierrez.ofelia@gmail.com (O. Gutiérrez), daniel.panario@gmail.com (D. Panario), felipe.garcia-rodriguez@gmail.com (F. García-Rodríguez).

sedimentary records with very good chronological resolution. This paper introduces high resolution paleoclimatic and paleoenvironmental data obtained from Peña Lagoon, a shallow freshwater lake without an ocean connection, with a sedimentary record extending to 2360 ^{14}C BP, where the net sediment deposition rate was calculated to range between 0.6 and 2 mm y^{-1} . Therefore, the sediment core represents an excellent Late Holocene record. Paleoenvironmental trends were inferred from the combination of biosiliceous particles, physical and geochemical data. Because lakes act as natural depocenters of paleoenvironmental information, from both the water body and the catchment area, opal phytolith assemblages from sediment cores are excellent sources of information to reconstruct past changes in grassland ecosystems at local and regional scale (Piperno, 1988).

Because more than 87% of Uruguayan territory is occupied by natural grasslands (Altesor et al., 2005) and their structure and composition are highly sensitive to environmental and climatic disturbances (Paruelo et al., 1998; Epstein et al., 2002), opal phytoliths analysis is a suitable and promising approach to paleoclimatic and paleoenvironmental reconstruction. Although diagnostic capabilities of phytoliths are highly variable, within the Poaceae many studies relate phytolith morphotypes with subfamilies and genera (Fredlund and Tieszen, 1994; Zucol, 1998, 2000, 2001) and with the photosynthetic pathways (C_3 and C_4) of their parent grass (Twiss, 1992). Furthermore, although phytoliths cannot be assigned to individual grass taxa, different ratios of grass short cells morphotypes may serve as climatic indices of a given region (Twiss, 1992; Fredlund and Tieszen, 1994). In this way, the correlation of phytolith assemblages with grassland composition allows reconstruction of changes in plant communities through time and their climatic correlation.

Therefore, by means of biosiliceous particle analyses, it is possible to identify autochthonous and allochthonous elements, making it possible to infer changes in the internal/external energy balance, which may explain the paleolimnological development of lakes. In addition, the internal/external energy balance can be also inferred from isotopic signals. These signals are precise paleoenvironmental indicators and provide relevant information about of the organic matter source. The value of $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ depends on the isotopic relation of the CO_2 dissolved in the water (i.e., the source of the inorganic carbon) and the composition and productivity levels of the primary producers. Each source of carbon origin is characterized by different isotopic values (Table 1, Wei et al., 2010). The source of organic terrestrial matter is dominated by three groups of plants which use the C_3 , C_4 and CAM pathways. Each pathway produces several levels of fractionation that lead to different $\delta^{13}\text{C}$ values for different groups. The $\delta^{13}\text{C}$ data are particularly useful when used in combination with TOC/TN ratios, as they allow the best discrimination of organic matter sources for different $\delta^{13}\text{C}$ and C/N range of values. Therefore, such information has been proposed as a tool to discriminate dominance of autochthonous versus allochthonous organic matter in sedimentary profiles (Piovan et al., 2004; Wilson et al., 2005; Lamb et al., 2006).

Stable nitrogen isotopes have often been used to study nitrogen sources and processes (Voss et al., 2006). Three processes of importance for the $\delta^{15}\text{N}$ -signal in organic-rich sediments are

nitrogen fixation, assimilation and diagenesis. Nitrogen fixation is direct biological uptake of nitrogen from air ($\delta^{15}\text{N} = 0\text{‰}$) and will result in $\delta^{15}\text{N}$ of ca. -2 to 0‰ in the biomass (Struck et al., 2001). Assimilation is incorporation of dissolved inorganic matter (DIN) into organic matter (OM) (Kendall, 1998). The average $\delta^{15}\text{N}$ -value is higher in anoxic water masses where denitrification can occur, resulting in nitrate enriched in ^{15}N (Liu and Kaplan, 1989). This is a process that can give the biomass an isotopic signal of ca. $+5\text{‰}$ if N is in abundance, as biological uptake favors the lighter isotope. Extensive diagenesis during oxygenated conditions has been suggested to result in relatively high ($+5$ to $+7\text{‰}$) sedimentary $\delta^{15}\text{N}$ -values (Kendall, 1998).

According to Wilson et al. (2005) and Lamb et al. (2006), even though the use of isotopic data is a powerful paleoenvironmental approach, the use of such data in combination with biological proxies may yield the best possible reconstructions. Hence, paleoclimatic and paleoenvironmental conditions were reconstructed using geochemical data (i.e., organic matter, nitrogen, carbon, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in combination with biosiliceous remains (i.e., opal phytoliths and diatoms) and textural data. The aim was to test if changes in paleoclimate led to changes in the energy balance of the water body, and therefore, in the source and composition of organic matter. For this reason, paleoenvironmental conditions of the lake and the watershed were tracked using a multiproxy approach.

1.1. Study area

Peña Lagoon is a small freshwater lake ($34^{\circ}00'13.63''$ S – $53^{\circ}33'10.38''$ W), located in a narrow sedimentary fringe called “La Angostura”, which is part of the coastal plain physiography and lies between the Atlantic Ocean and Negra lagoon, in the south of the southernmost tip of Laguna Merin basin (Fig. 1). The geologic and geomorphologic features of this coastal plain during the Holocene were controlled by the inherited topography and lithology linked to the Pleistocene sea level fluctuations that formed the Merin lagoon (Tomazelli et al., 2000). According to Villwock et al. (1986) and Tomazelli and Villwock (2000), the coastal plain was developed because of the lateral juxtaposition of four depositional lagoon-barrier-systems, formed during the Quaternary transgression-regression events (lagoon-barrier-system I, II, III and IV). From the Holocene paleogeographic point of view, there are two depositional units. The first corresponds to the lagoon-barrier-system (lagoon barrier II, according to altimetry), which was developed from the local outcrops of the crystalline basement (Paleozoic metamorphic granite). The second is part of the Holocene sand dunes located to the east to the present oceanic beach (Fig. 1).

Peña Lagoon is part of a group of small lakes which lay on the 10–20 m asl contour lines of the Uruguayan coast (Kruk et al., 2006). Their topographic position indicate that, in contrast to the major coastal lagoons, the formation is not directly related to the positive Holocene sea level, which in this latitude was never higher than 6 m asl (Isla, 1989; Martin and Suguio, 1992; Cavallotto et al., 2004; Bracco et al., 2011b). Possibly this group of lakes originated because of the damming of the water courses to the Atlantic ocean by movement of the sand dunes.

Peña Lagoon is 5 ha, is contained in a 50 ha watershed, and its maximum depth is 1.8 m. The surroundings of the lake were drastically modified after the creation of the Santa Teresa National Park, where it is now located. This park is 300 ha and was established in the first half of the 20th century. The National Park consists of 250 vegetal species (64 autochthonous species, 186 exotic species), with extensive *Pinus* and *Eucalyptus* forests (Arredondo, 1958).

Prior to cultural modification, the dominant vegetation consisted of associations typically observed in the Atlantic coastal

Table 1
 $\delta^{13}\text{C}$ reference values. Based on Wei et al. (2010).

Microalgae and macrophytes	-27.0 a -17.0‰
Lake sediments	$>-25\text{‰}$ (hasta -36‰)
C_3 plants	-34.0 a -22.0‰ (media: 27.0‰)
C_4 plants	-17.0 a -9.0‰
CAM plants	-20.0 a -10.0‰

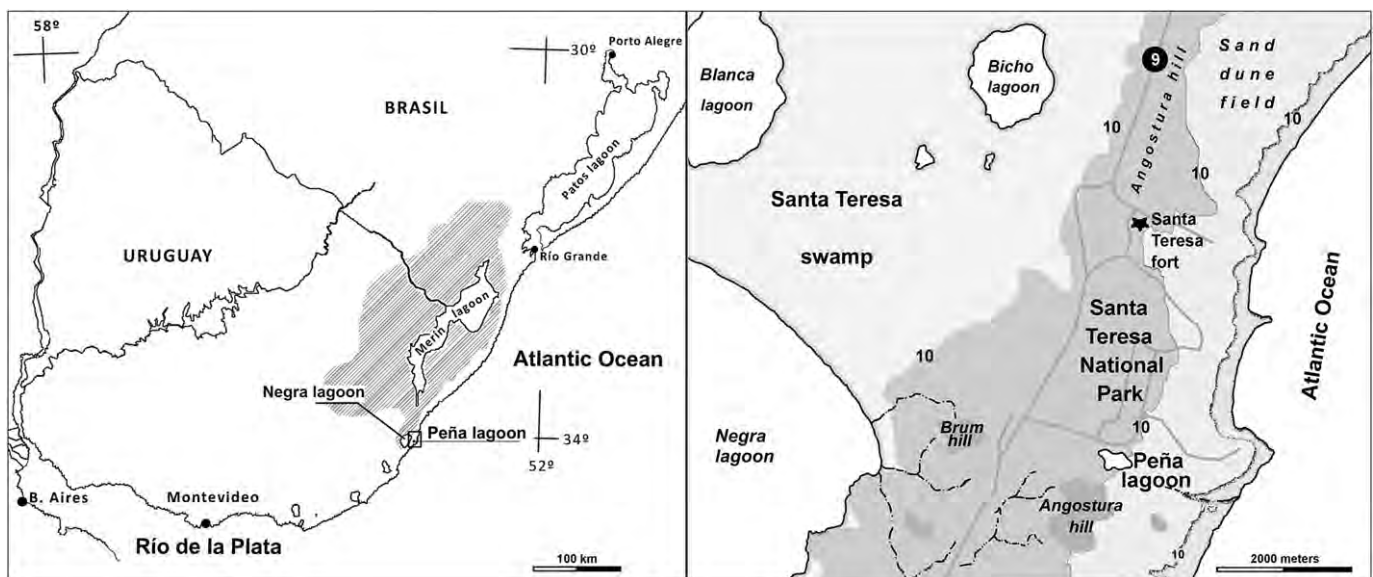


Fig. 1. Geographical location of Peña Lagoon and geomorphologic features of the study area. Shaded area indicates Merin Lagoon basin.

plain, where sand dunes and alluvial deposits are the most common geoforms (Alonso and Bassagoda, 2002). The natural vegetation of the coastal fringe comprises 848 species, corresponding to 110 families and 411 genera. There are 324 species that are related to wetlands, lagoons and sand dunes, which account for 75% of the documented species in the country (Alonso, 1997; Alonso and Bassagoda, 2002). The most characteristic species of the study area are shown in Table 2.

The vegetation of the coastal zone consists of a mosaic which is determined by the hydrological characteristics of the soils, but there are also zonation patterns, which depend on the winds and air salinity (marine spray) gradients (Alonso and Bassagoda, 2002). Sand dune vegetation includes very diverse halo-psamphytic plants in these dunes located close the beach, but behind the first dune field, pioneer psamphytic species are observed. Within the semi-fixed and stabilized dunes, there are woody and shrub vegetation and shrub-sized trees, which constitute psamphytic and thorny bushes and psamphytic forests (Table 2).

In the valleys between sand dunes there is hydrophytic and swamp vegetation, strongly related to the water saturation and inundation degree. By the beginning of the 20th century, after

intensive forestry activities were undertaken to stabilize the sand dunes, some of the ecosystems were lost (Alonso and Bassagoda, 2002). In the coastal lagoons and in the lower reaches of the systems that debouch into the ocean there is a central part which is permanently inundated with aquatic vegetation (both floating and rooted), and soil concentric zones that are seasonally inundated and saturated with emergent plants (Alonso, 1997; PROBIDES, 1999; Alonso and Bassagoda, 2002).

1.2. Climate

According to Norby et al. (1986), the region lies along the boundary between subtropical and temperate regions. General climate is defined by continental north-to-south variations, east–west asymmetries (presence of the Andes), continental width (narrow at midlatitudes) and the boundary conditions imposed by a cold southeastern Pacific and a warm south-western Atlantic (Garreaud et al., 2009). The wind and water mass regime is determined by the interaction between the tropical anticyclone of the South Atlantic and the migratory polar anticyclone (Fonzar, 1994; Zárate, 2003). The Atlantic influence causes moderate daily and

Table 2
Main vegetation forms of the coastal zone.

	Community	Habitat	Typical species
Herbaceous	Psamphyllus prairies	Sandy soils in coastal zones	<i>Andropogon arenarius</i> , <i>Aristida pallens</i> , <i>Schyzachirium microstachyum</i>
	Wetlands	Low floodplains, which remain covered with shallow water most of the year.	<i>Canna glauca</i> , <i>Erythrina cristagalli</i> , <i>Juncus acutus</i> , <i>Phyllanthus sellowianus</i> , <i>Scirpus californicus</i> , <i>Spirobranchus giganteus</i> , <i>Sebastiania schottiana</i> , <i>Spartina densiflora</i> , <i>Thalia geniculata</i> , <i>Thypha domingensis</i> , <i>Zizaniopsis bonariensis</i>
	Hydrophytic	Permanently flooded areas (swamps and lacustrine littoral)	Floating: <i>Eichornia azurea</i> , <i>Pistia stratiotes</i> , <i>Pontederia cordata</i> , <i>Prostanthera rotundifolia</i> , <i>Salvinia auriculata</i> . Submerged: <i>Myriophyllum brasiliensis</i> . Emergent: <i>Scirpus giganteus</i> , <i>Typha domingensis</i>
Woody	Psamphyllus pioneers	Mobile dunes	<i>Panicum racemosum</i> , <i>Hydrocotyle bonariensis</i> , <i>Senecio crassiflorus</i> , <i>Androtrichum trigynum</i> , <i>Ischaemum urvilleanum</i> , <i>Calystegia soldanella</i>
	Psamphyllus shrublands	Coastal hills, in sandy incipient soils	<i>Cereus uruguayanus</i> , <i>Colletia paradoxa</i> , <i>Opuntia arechavaletae</i> , <i>Schinus engleri</i>
	Riparian forest	Margin of rivers and water streams	<i>Allophyllus edulis</i> , <i>Erythrina cristagalli</i> , <i>Pouteria salicifolia</i> , <i>Salix humboldtiana</i> , <i>Sapium montevidensis</i> , <i>Syagrus romanzoffiana</i>
	Psamphyllus forest	Oceanic and lacustrine coast	<i>Cereus uruguayanus</i> , <i>Colletia paradoxa</i> , <i>Daphnopsis racemosa</i> , <i>Lithraea brasiliensis</i> , <i>Opuntia arechavaletae</i> , <i>Rapanea laetevirens</i> , <i>Schinus engleri</i> , <i>Scutia buxifolia</i> .

Source: Alonso, 1997; Probides, 1999; Alonso and Bassagoda, 2002.

annual thermal amplitude and high levels of relative humidity. Mean temperature is 17 °C and total annual precipitation is 1200 mm (PROBIDES, 1999: 16–18; IBERIS, 2001: 14–19). The rainy conditions over the central part of the continent are maximized during summer, and part of the water vapour recycled over Amazonia is transported southward by a low-level jet, as far south as La Plata basin (35°S) (Garreaud et al., 2009), resulting in the absence of any dry warm season.

ENSO plays a major role in interannual climate variability, with El Niño episodes typically associated with anomalously wet conditions and opposite rainfall anomalies observed during La Niña events. Nevertheless, ENSO impacts on rainfall in South America exhibit considerable variation at a regional scale and significant seasonal fluctuations, showing considerable variability during the 20th century. Decadal and interdecadal variability, with smaller amplitude, is possibly forced by the Pacific Decadal Oscillation (PDO) and the Antarctic Oscillation (AAO) over South America (Garreaud et al., 2009).

2. Materials and methods

Two sediment cores (95 and 135 cm long) were taken in April 2010 with the aid of a 60 mm internal diameter core. The cores were very close to each other (4–6 m), and were opened in the laboratory and the lithological units identified. Samples from every 7 cm were selected for radiocarbon dating. After chronological and lithological correlation between both cores, samples for organic matter, carbon and nitrogen isotopes, total carbon and nitrogen and opal phytoliths were taken every 2 cm in the LP1 core (0–95 cm) and in the basal lithological units from LP2 core (95–135 cm) that were not recorded in the LP1 core.

2.1. Lithology

Lithological units were identified according to changes in sediment color (using Munsell color scale) texture and presence of plant remains. For the textural classification, the fine fraction was analyzed using the pipette method and the coarse fraction was separated by dry sieving using a sieve stack. Both fractions were separated in phi intervals (Carver, 1971) and the size frequencies were statistically assessed. Textural classification followed Folk (1954).

2.2. ¹⁴C Dating

Sediment age was determined in six intervals on bulk sedimentary organic matter and macrobotanical remains. The samples were treated with HCl 8%/24 h to remove carbonates and humic acid. The dated fraction was selected after sieving the sediment through a 0.5 mm sieve in those samples where either black or brown plant remains had been observed. Organic matter was converted to benzene and its ¹⁴C activity was measured with a Packard 1600 TR liquid scintillation counter spectrometer. Age was

expressed in conventional ¹⁴C BP, corrected for isotopic fractionation by normalizing $\delta^{13}\text{C}$ values to -25‰ . Quoted error ($\pm 1\sigma$) included uncertainties in counting statistics. Radiocarbon dates were calibrated using the computer program CALIB REV 6.0.0. Ages are expressed in uncalibrated conventional ¹⁴C BP, corrected for isotopic fractionation, and calibrated y AD ($\pm 2\sigma$) (Table 3).

2.3. Opal phytoliths and other biosiliceous particles

Samples were treated with 35% HCl for 24 h to remove carbonates, and then rinsed four times with distilled water. Next, 10 ml of 30 vol. H₂O₂ were added to eliminate organic matter, and then the samples were boiled for 4 h and rinsed five times with distilled water. Permanent slides were mounted in Entellan for counting and identification. A minimum of 1000 biosiliceous particles was counted at 800× magnification in each sample. Phytoliths were identified according to Bozarth (1992), Twiss (1992), Fredlund and Tieszen (1994), Zucol (1998, 2000, 2001), Gallego and Distel (2004), Fernández Honaine et al. (2006), del Puerto et al. (2006) and del Puerto (2009). Fig. 2 shows the most representative morphotypes of opal phytoliths used in this investigation and their taxonomic reference.

Opal Phytolith Association Zones (OPAZ) were determined by stratigraphically constrained cluster analysis using the Morisita method as advised by Hammer et al. (2001). This analysis was performed with the computer program PAST 1.81.

Humidity and temperature indices were calculated according to Twiss (1992), based on the ratio of grass short cells morphotypes. The ratio of woody dicotyledons versus poaceae phytoliths (D:P) was also computed, following Alexandre et al. (1997). The D:P Index, was adjusted by del Puerto (2009) for eastern Uruguay. Finally, the ratio of opal phytolith abundance to the cumulative percentage of other biosiliceous particles (i.e., diatom valves + crysophyte cysts + sponge spicules) was expressed as OP:OBP index, and was utilized to establish differences in organic matter source (catchments versus water body).

Diatoms were identified according to Frenguelli (1941, 1945), Witkowski et al. (2000), and Metzeltin et al. (2005). Chrysophycean cysts identified according to Duff et al. (1995) and sponge spicules were recognized according to Ezcurra de Drago (1993).

2.4. Geochemistry and sedimentary organic matter isotopes

Organic matter was determined by weight loss on ignition (LOI) at 550 °C for 2 h (Heiri et al., 2001). Subsequently the CO₂ mass evolved from carbonate was determined by LOI at 880 °C for 2 h, and the carbonate content was calculated by multiplying the weight loss by 1.36 (Heiri et al., 2001).

Samples for carbon and nitrogen isotope analyses of sedimentary organic matter were decalcified with 1N HCl and then rinsed with deionized water. The isotopic ratios ¹³C/¹²C and ¹⁵N/¹⁴N were determined by mass spectrometry in the Centro de Aplicaciones de Tecnología Nuclear en Agricultura Sostenible (CATNAS), Faculty of

Table 3
Sediment age at dated intervals and corresponding lab numbers.

Lab number	Core/Interval	Age	Depth (cm)	Cal. Age ranges (2σ)
URU 0545	LP1/0–7	F ¹⁴ C: 1.134 ± 0.008	3.5	1962 ± 2 AD
URU 0547	LP1/70–77	322 ± 45	73.5	1462–1650 (p = 1) AD
URU 544	LP1/93–100	568 ± 45	95	1298–1371 (p = 0.587), 1378–1431 (p = 0.413) AD
URU 0549	LP2/120–127	775 ± 45	97.5	1173–1289 AD (p = 1)
URU 0550	LP2/140–147	1515 ± 70	117.5	413–651 AD (p = 1)
URU 0546	LP2/150–157	2400 ± 55	127.5	753–685 (p = 0.174), 668–610 (p = 0.092), 598–391 (p = 0.734) AC

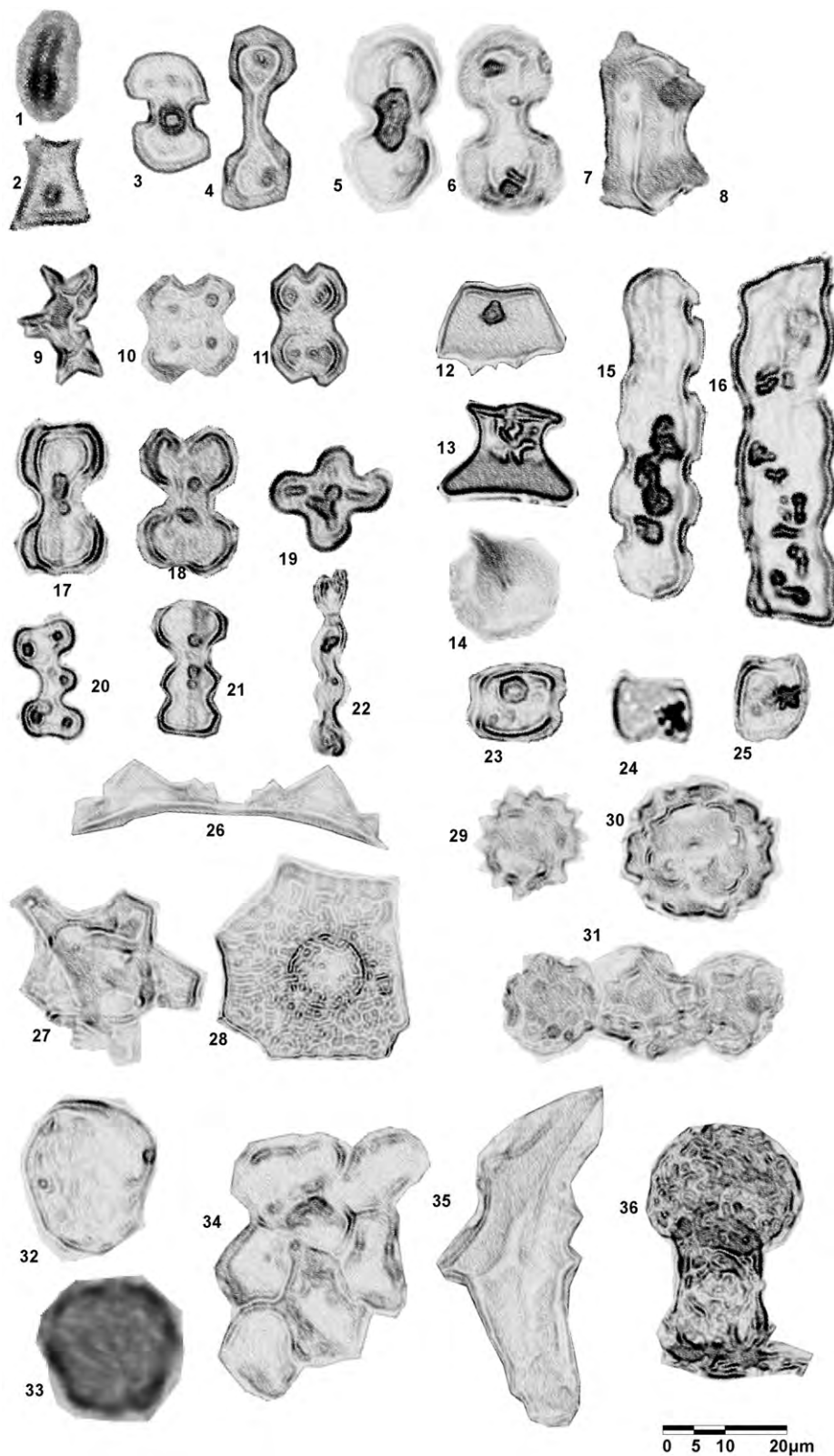


Fig. 2. Main morphotypes of opal phytoliths identified in Peña Lagoon cores and taxonomic assignments. 1–25 grass short cells; 3–4 aristoid forms; 5–6 stipoid shapes; 7–8 bambusoid types; 9–11 oryzoid types; 12–16 pooid types; 17–22 panicoid types; 23–25 chloridoid types. 26–36 non grass phytoliths: cyperaceae (26–28), arecaceae (29–30), cannanaceae (31) and woody dycotiledons morphotypes (32–36).

Agricultural Science, Montevideo, Uruguay. Aliquots of 1–20 mg of sediment (depending on the nitrogen content) were weighted into tin capsules and then the samples were analyzed with Flash EA 112 elemental analyzer (Milan, Italia), coupled to a Finnigan MAT DELTAplus XL mass spectrometer, to determine TN and TC and the isotopic ratios $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$. The precision (standard deviation) of the measurements based in the laboratory standard value (leucine) was 0.1%, 0.2%, 0.1‰ and 0.3‰, respectively.

The natural abundance ^{13}C and ^{15}N was expressed in ‰ represented by isotopic relation between the samples the international standard:

$$\delta^{13}\text{C} = \left(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} \right) - 1 \times 1000$$

where $\delta^{13}\text{C}$ is the isotopic composition of the sample and R is the molar relationship of the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ for the sample and the standard.

The carbon international standard is Pee Dee Belemnite (PDB) (Craig, 1957), which material has a mean ^{13}C concentration of 13 0.112372%. The N standard internationally accepted in the atmospheric N, which is the major reservoir of the planet (Högberg, 1997). The concentration of ^{15}N in the air is very stable with a mean value of $0.3663 \pm 0.0004\%$ (Létole, 1980; Axmann and Zapata, 1990). This concentration is known as natural abundance, and expressed as δ is equal to zero, because R_{sample} is equal to R_{standard} .

3. Results

3.1. Chronology and lithology

Table 3 shows the sediment age at dated intervals and corresponding lab numbers. The basal section of the core LP2

(126–133 cm) was dated at 2400 ± 55 ^{14}C BP. The section 3–10 cm of the core 1 showed a $F^{14}\text{C} = 1.134 \pm 0.008$. $F^{14}\text{C}$ is used to calibrate ^{14}C measurements of post/bomb samples (Reimer et al., 2004, 2009). According to the Wellington calibration data set (Calib 6.0), it corresponds to the year 1960 ± 2 AD, thus indicating that the record reaches present time. From the radiocarbon dates, an age-depth model was derived (Fig. 3).

Seven lithological units were identified in Peña Lagoon record (Fig. 4). Unit I corresponds to the top of LP1 (0–15 cm depth). Plant remains were observed within a very dark gray (10YR 3/1) clayey matrix. This unit was discarded in core LP2, because it was disturbed while opening the corer. Unit II corresponds to the top of core LP2 (20–40 cm) which correlates with se section 15–40 cm of core LP1, and showed the same textural characteristics to those observed for unit I (clay with plant remains), but it was black (10YR 2/1). Unit III was the longest unit of both cores, i.e., 40–89 cm in core LP1 and 40–99 cm in core LP2. This unit consisted of very dark brown to very dark grayish brown mud to sandy mud. Unit IV was also observed in both cores, corresponding to de bottom of LP1 (89–93 cm) and the section 99–105 cm depth in LP2. Texture was the same as unit II: black (10YR 2/1) clayey sediments with plant remains. Unit V extended between 105 and 110 cm in LP2, and was a very dark brown (10YR 2/2) sandy mud with plant remains. Unit VI was also identified in core LP2 between 110 and 121 cm depth. It consisted of muddy sand, dark grayish brown (10YR 3/2). Layers of fine sand were observed in the muddy matrix. Finally, unit VII extended between 121 and 135 cm depth and was characterized by very dark grayish brown (10YR 3/2) clayey sand. Thin layers of very coarse sand and gravel intercalated in the muddy matrix were observed.

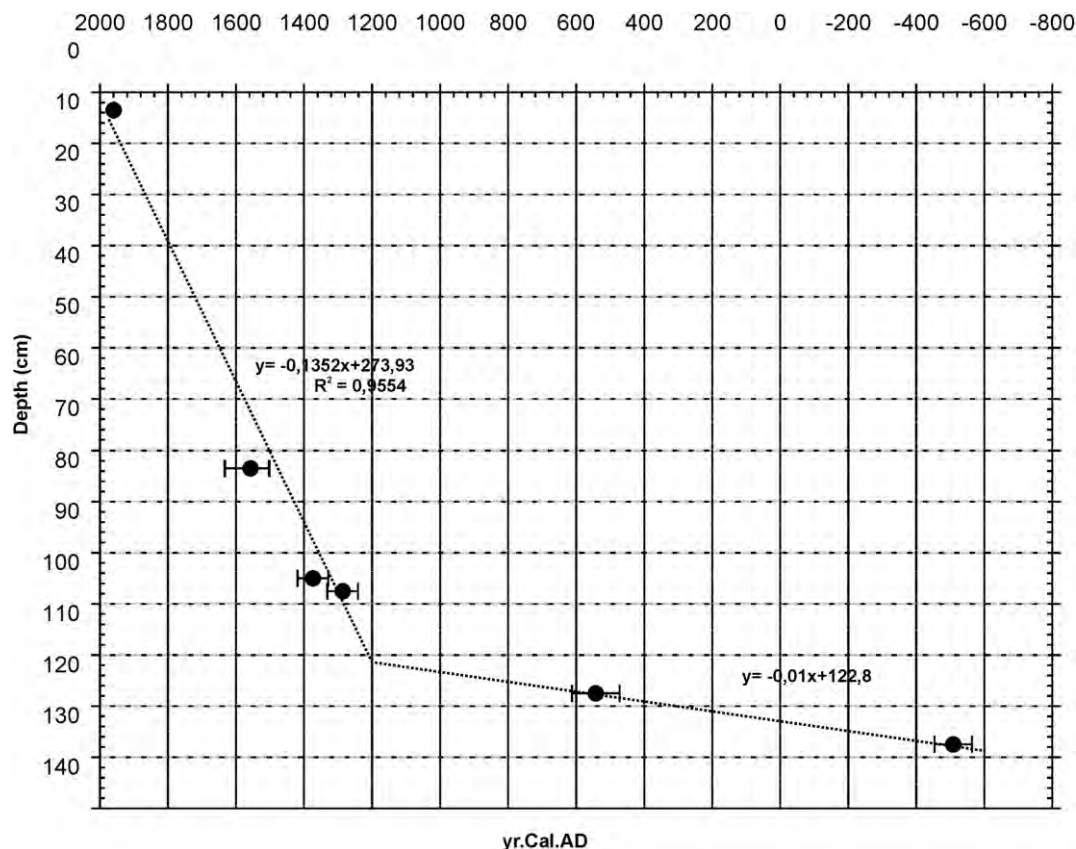


Fig. 3. Age-depth model derived from calibrated radiocarbon dates.

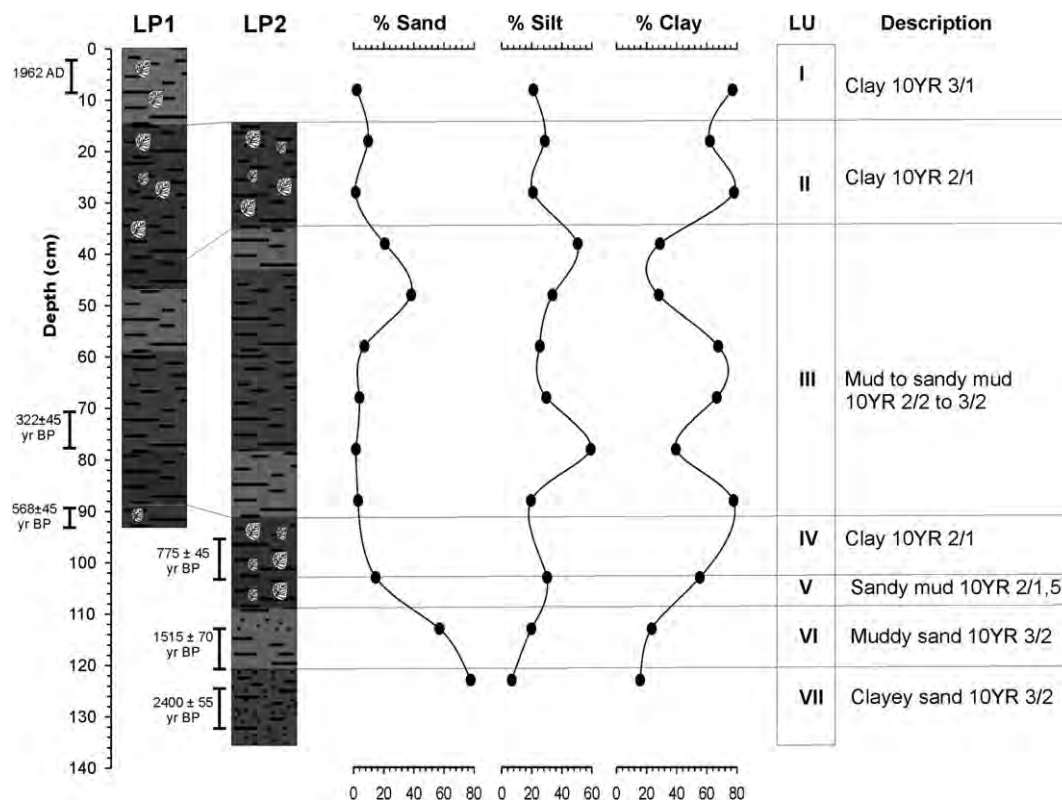


Fig. 4. Chronological and stratigraphic correlation between LP1 and LP2 cores and textural description of lithological units identified.

3.2. Opal phytoliths

Fig. 5 shows the vertical distribution of the main taxonomic phytolith groups, temperature and humidity indexes, and the Opal Phytolith Association Zones (OPAZ) derived from the stratigraphically constrained cluster analysis. A total five OPAZ were identified.

OPAZ I is represented by the basal section of core LP2 (130–106 cm). At the bottom of the OPAZ showed co-dominance of phytoliths and other biosiliceous particles. Opal phytoliths dominated at the top with the highest values for OP:OBP index. In opal phytolith assemblages, grass short cell were dominant, where pooid and panicoid morphotypes were the most abundant. Temperature and humidity indexes displayed mean values similar to those of the present records (50 and 20, respectively), showing an initial decrease in both indices, an intermediate decrease around 120 cm and a final increase at the top of the OPAZ. The D:P index suggests the dominance of grasses, but also the presence of tree/shrub vegetation.

OPAZ II extended between 105 and 95 cm. Phytoliths preserved their relative abundance, accounting for more than 50% of the total biosiliceous particles. There was an increase in the pooid and chloridoid morphotypes, together with a decrease in panicoid phytoliths. A high increase in temperature and humidity indices was also recorded, indicating the lowest values of mean annual temperature and more arid or highly seasonal conditions.

OPAZ III extended between 94 and 70 cm. A remarkable decrease in phytolith content with regard to other siliceous particles (i.e., less than 10%) was observed. There was an increase in panicoid phytoliths, and temperature and humidity indices showed a further decrease.

OPAZ IV (69–52 cm) was characterized by the dominance of diatoms over other biosiliceous particles. An increasing trend in

pooid and chloridoid, but also dicotyledon phytoliths was detected. D:P index indicates a expansion in woody elements, while TI and HI showed highest values than the previous OPAZ. Humidity index showed a positive pulse near 55 cm depth, indicating more arid or highly seasonal conditions.

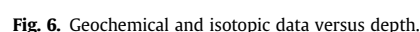
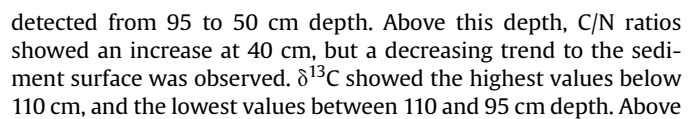
OPAZ V extended between 51 and 5 cm. There was an increase in phytolith content in relation to other biosiliceous particles. Both winter and spring grass morphotypes, with a strong presence of oryzae and woody dicot phytoliths were found. Temperature and humidity indices decreased between the bottom and the middle of the zone and then increased.

In the top of core LP1 (5–0 cm), phytoliths showed the same increasing trend as for OPAZ V. High abundances of chloridoid and oryzoid phytoliths, with a concomitant decrease in cyperaceae morphotypes was observed. An increase in humidity together with a decrease in temperature indices was detected.

3.3. Geochemistry and SOM isotopes

Fig. 6 shows the vertical distribution of OM, C, N, C/N, $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$. Carbonate content of samples was not plotted because values obtained through LOI method were extremely low (between 0 and 0.3%).

At the basal section of the record (i.e., from 135 to 115 cm), the lowest organic matter values of the core were observed. Above 115 cm depth, there was a sharp increase in organic matter content to reach values ranging from 30 to 40%. Lower OM values (~20%) were only observed in the sediment layer comprised between 40 and 50 cm depth (core LP1). Carbon and nitrogen content showed a similar trend to that observed for OM. The lowest values were observed within the basal section of the record (i.e., below 100 cm depth, Fig. 6), but a sharp increase was detected above 100 cm depth. The highest values of both C and N were observed at 50 cm



95 cm, $\delta^{13}\text{C}$ ratios were fairly constant, except for the three top samples, where a decrease was observed. $\delta^{15}\text{N}$ values ranged between 1 and 3 below 90 cm depth. From this depth to the sediment surface, there was an increasing trend in $\delta^{15}\text{N}$ ratios.

4. Discussion

Differences in sedimentation rates determine different levels of resolution. In this sense, shifts in the intensity of environmental signals and in the degree of resolution imply that the record is not homogeneous. The measured physical, geochemical and biological variables indicated three well defined sections within the profile:

- I. The first section, deposited between circa 2500–800 ^{14}C BP, comprised lithostratigraphic units (LU hereafter) VII and VI and OPAZ I. The depositional environment indicated a lentic system (muds and clays) with intercalation of stronger allochthonous energy pulses (middle and coarse sand inputs). Those watershed inputs were also evident in the OP/OBP index, which reached its highest value in this section. Lower OM, C and N values coupled with the dominance of chrysophytes over diatoms (Fig. 5) indicate oligotrophic conditions (García-Rodríguez et al., 2004; Inda et al., 2006). Lower negative $\delta^{13}\text{C}$ values were also recorded in this section (Fig. 6), which is in accordance with dominance of C_4 phytoliths as well as with temperate-warm humid conditions inferred from the climatic indices (Fig. 5). Nevertheless, inside this warm/wet phase, an oscillation was detected around 1200 ^{14}C BP, as inferred from the regression function of calibrated dates (Fig. 3). Such an oscillation is corroborated by the phytolith record of Negra lagoon, where a warm/wet period was also identified between 1980 ± 40 BP and 930 ± 45 BP, with an intermediate drier/colder episode (Bracco et al.,

2005a, 2005b, 2011a; del Puerto, 2009). In central Argentina, Piovan et al. (2009) inferred, for the same chronology, which is coincident with PCM (Fairbridge, 2009: 551–4; Gornitz, 2009), warmer/wetter conditions.

- II. The second section is transitional and is represented by LU V and OPAZ II. It corresponds to the intersection of two sedimentation rates inferred from ^{14}C ages (Fig. 3) and it is also indicated by the intermediate texture where muds and clays were more abundant than in the previous section (Fig. 4). According to the chronology, the shift occurred ca. 1200 AD (750 BP). Such a shift indicates a change in prevailing conditions (or dynamics) of the water body. Beyond this shift, the watershed input remain important along this section, as indicated by OP/OBP index (Fig. 5) and also by higher C/N ratios (Fig. 6). Because of the lack of significant amounts of carbonates in the analyzed samples, C/N ratio was equivalent to TOC/TN. Higher values reported in this section thus suggest an increased terrestrial input of OM. Phytoliths indicate a greater input of C_3 grasses (Fig. 5). This winter grass increase, which explains the higher IT values, would indicate lower mean annual temperatures. The $\delta^{13}\text{C}$ record, as a whole, is extremely consistent with the inferred climatic conditions from the phytolith record, with the four highest values of the entire record being closely related to colder/drier conditions.
- III. The Third section consisted of LU IV to I and OPAZ III to V. Even though there is some degree of variability in the measured parameters, it was characterized by a finer texture dominated by muds and clays, as well as by higher OM, C and N values. The source of OM was mainly autochthonous, and an increased trophic state, under a lentic sedimentary environment with intercalated aeolian sediment inputs (silt and fine sands). Regardless this characterization, two main sub-sectors could be distinguished. The first was represented by LU IV and III, to ~50 cm, comprising OPAZ III and IV. The

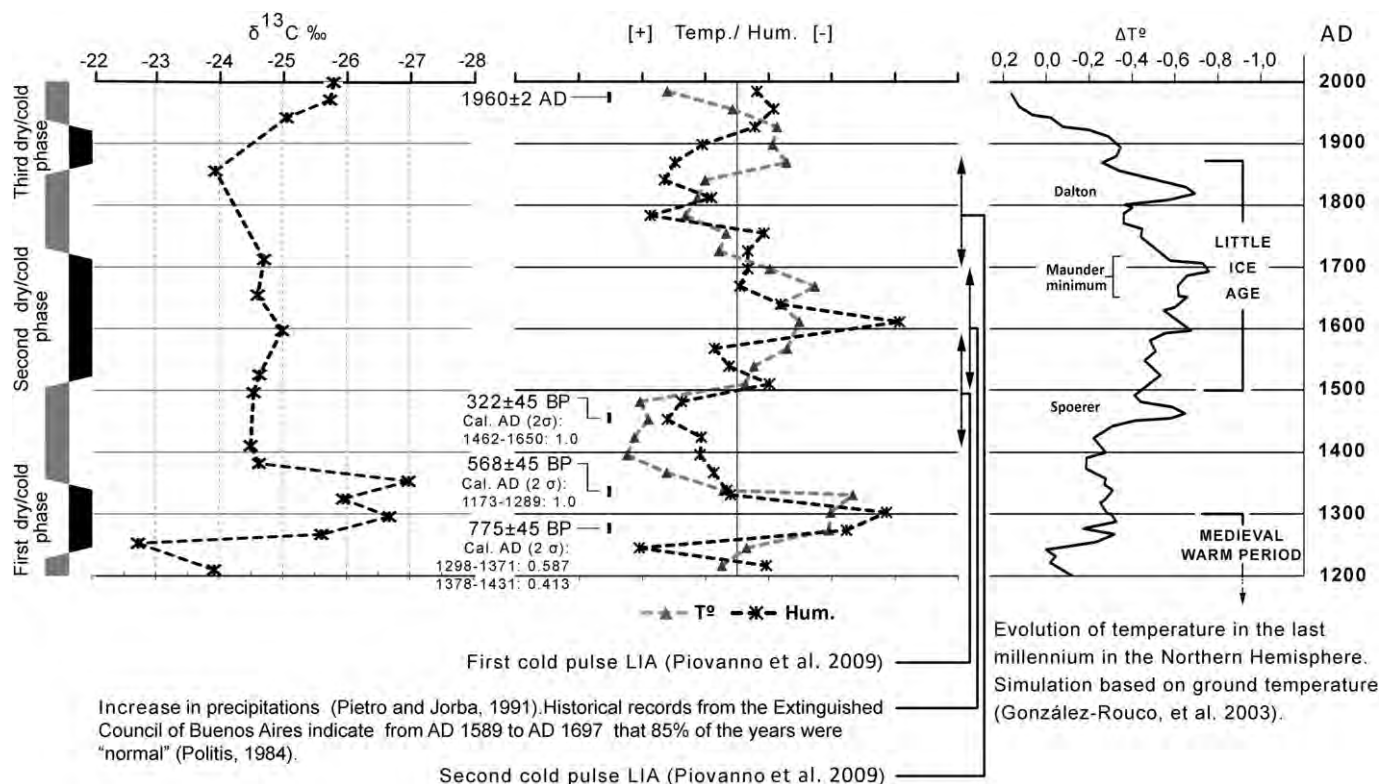


Fig. 7. The relationship between Peña Lagoon carbon isotopic record, climatic indices, the major regional climatic events and global climatic model for the last 2200 y.

highest C and N values for the whole profile were recorded in this sector, together with the lowest values of OP/OBP index. Grass short cells record indicated an increase in summer species in OPAZ III, which is consistent with inferred warmer and wetter conditions (Figs. 5 and 7). Such conditions would have been reinstalled after ca. 600 BP and would have prevailed until ca. 450 BP. According to the OPAZ IV record, the younger age suggests the onset of a further colder and drier period that attained its maximum around 300 BP (Fig. 5). This maximum pulse inferred from the phytolith record is in correspondence with an aeolian sand input in the water body (Fig. 4), thus confirming arid conditions. The end of this period and the beginning of the OPAZ V indicate the start of the upper sector of the record. LU II and I were characterized by clay, depicting an extremely lentic environment of the water body. Nevertheless, the OM, C and N decrease, as well as the increase in the OP/OBP index, suggest either an increased input from the watershed, or the proliferation of littoral vegetation. In this sense, the increase of the oryzoid morphotype could indicate progressive hydrophilic vegetation colonization on the shoreline. Such processes would have been developed under temperate and humid conditions (Figs. 5 and 7). Finally, a decrease in temperature and humidity was recorded between mid 18th and the beginning of 19th century.

The Negra Lagoon record also shows two periods. The first, drier and colder, which prevailed until the 13th century, but then, the onset of warmer and wetter conditions for at least four centuries (i.e., from the 8th to 13th century) was observed. Shortly after, drier and colder conditions were inferred again, with a maximum pulse at the beginning of the 14th century (del Puerto, 2009; Bracco et al., 2011a). In this sense, Piovano et al. (2009) inferred that the first cold pulse of the LIA for central Argentina would have started between the 16th and 15th century, followed by less deteriorated conditions. In Peña Lagoon, extreme conditions were also followed by a warmer and wetter phase that lasted until the beginning of the 16th century, when a new colder/drier pulse started and ended in the 18th century. Nevertheless, the isotopic signal for the two recent drier/colder pulses is not so clearly related. The separation between isotopic signals and other proxies matched the onset of drier/colder conditions. Following this argument and considering that de Peña Lagoon was originated by damming a small creek because of sand dune mobilization, such inferred climatic conditions could promote this process.

5. Final remarks

Peña Lagoon analyzed proxies behaved differently according to environmental and/or water body evolution conditions. However, the multiproxy approach was able to discriminate which sections and single proxies generated the most accurate information about each kind of changes: water body evolution, watershed variation and/or environmental conditions. With respect to this later unit of analysis, the phytolith record from the upper section of the core generated high resolution climatic data. When this information is combined with the partially contemporaneous Negra lagoon record, three climatic periods were identified for the late Holocene. The older, which lasted until 700 AD, was characterized by temperate and humid conditions, with high variability near the end. The second reached 1200 AD and it was characterized by warmer and wetter conditions, showing a colder and drier pulse. This second period is coincident with proposed Medieval Warm Period. The third and last period,

which extends until the present, is mainly characterized by high variability, with three dry/cold phases reaching their maximums at 1300, 1600 and 1900 AD. The first two were more severe, and the second lasted longer. The third phase characteristics and chronology are coincident with Little Ice Age, and some colder pulses were identified inside this period (Politis, 1984; Prieto et al. 1991; González-Rouco et al., 2003; Rabassa, 2008; Piovano et al., 2009).

Acknowledgements

PEDECIBA, SNI-ANII and Facultad de Ciencias are thanked for their support. The Park Service of the Army and the personnel of Santa Teresa National Park, especially Coronel Ruben Rodríguez, are thanked for logistical support.

References

- Alexandre, A., Meunier, J.D., Lézine, A.M., Vicens, A., Schwartz, D., 1997. Phytoliths: indicators of grassland dynamics during the late Holocene in intertropical Africa. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 136, 213–229.
- Alonso, E., 1997. Plantas Acuáticas de los Humedales del Este. PROBIDES, Rocha-Uruguay.
- Alonso, E., Bassagoda, M., 2002. La Vegetación Costera del SE Uruguayo: Ambientes y Biodiversidad. Documentos de Divulgación. Museo Nacional de Historia Natural y Antropología. N° 5.
- Altesor, A., Oesterheld, M., Leoni, E., Lezama, F., Rodríguez, C., 2005. Effect of grazing on community structure and productivity of Uruguayan grassland. *Plant Ecology* 179, 83–91.
- Arredondo, H., 1958. Santa Teresa y San Miguel. El Siglo Ilustrado, Montevideo-Uruguay.
- Axmann, H., Zapata, H., 1990. Stable and radioactive isotopes. In: Hardarson, G. (Ed.), Use of Nuclear Techniques in Studies of Soil-Plant Relationships. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, pp. 9–25. Training course series N° 2.
- Behling, H., 2007. Late Quaternary vegetation, fire and climate dynamics of Serra do Aracatuba in the Atlantic coastal mountains of Paraná State, southern Brazil. *Vegetation History and Archaeobotany* 16, 77–85.
- Bozarth, S.R., 1992. Classification of opal phytoliths formed in selected dicotyledons native to the Great Plains. In: Rapp Jr., G., Mulholland, S.C. (Eds.), *Phytolith Systematics. Emerging Issues, Advances in Archaeology and Museum Science*, vol. 1, pp. 193–214.
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H., Castiñeira, C., 2005a. Middle-late Holocene cultural and environmental dynamics in the east of Uruguay. *Quaternary International* 132, 37–45.
- Bracco, R., Inda, H., del Puerto, L., Castiñeira, C., Sprechman, P., García-Rodríguez, F., 2005b. Relationship between Holocene sea-level variations, trophic development and climatic change in Negra Lagoon Southern Uruguay. *Journal of Paleolimnology* 33, 253–263.
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H., Panario, D., Castiñeira, C., García-Rodríguez, F., 2011a. The relationship between emergence of moundbuilders in SE Uruguay and climate change inferred from opal phytolith records. *Quaternary International* 245, 62–73.
- Bracco, R., García-Rodríguez, F., Inda, H., del Puerto, L., Castiñeira, C., Panario, D., 2011b. Niveles relativos del mar durante el pleistoceno final-Holoceno en la costa de Uruguay. In: García-Rodríguez, F. (Ed.), *EL Holoceno en la zona costera del Uruguay*. CSIC-UdelaR, Facultad de Ciencias, Montevideo, pp. 65–94.
- Carver, R.E. (Ed.), 1971. *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley, New York.
- Cavallotto, J.L., Violante, R.A., Parker, G., 2004. Sea-level fluctuations during the last 8600 years in the de la Plata River (Argentina). *Quaternary International* 114, 155–165.
- Craig, H., 1957. Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 12, 133–149.
- Duff, K.E., Zebbi, B.A., Smol, J.P., 1995. Atlas of Chrysophycean cysts. In: Dumont, H.J. (Ed.), *Development in Hydrobiology* 99. Kluwer Academic, The Netherlands, 200 pp.
- Epstein, H.E., Gill, R.A., Paruelo, J.M., Lauenroth, W.K., Jia, G.J., Burke, I.C., 2002. The relative abundance of three plant functional types in temperate grasslands and shrublands of North and South America: effects of projected climate change. *Journal of Biogeography* 29, 875–888.
- Ezcurra de Drago, I., 1993. Distribución geográfica de las esponjas argentinas (Porifera: Spongillidae, Potamolepidae y Metaniidae). Relaciones zoológicas y vías de poblamiento. In: Boltovskoy, A., López, H.L. (Eds.), *Conferencias de Limnología*. Instituto de Limnología “Dr. Raúl A. Ringuelet”, La Plata, Buenos Aires, Argentina, pp. 115–125.

- Fairbridge, R., 2009. History of Paleoclimatology. In: Gornitz, V. (Ed.), *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, pp. 414–428.
- Fernández Honaine, M.F., Zucol, A., Osterrieth, M., 2006. Phytolith assemblages and Systematic associations in grassland species of the south-eastern Pampean plains, Argentina. *Annals of Botany* 98, 1155–1165.
- Folk, R.L., 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Journal of Geology* 62 (4), 344–359.
- Fonzar, B.C., 1994. A circulação atmosférica da América do Sul – Os grandes sistemas planetários e os subsistemas regionais que atingem o continente: localização e trajetórias. *Caderno de Geociências, IBGE, Rio de Janeiro* 11, 11–33.
- Fredlund, G.G., Tieszen, L.T., 1994. Modern phytolith assemblages from the North American Great plains. *Journal of Biogeography* 21, 312–335.
- Frenguelli, J., 1941. Diatomeas del Río de la Plata. *Revista del Museo de La Plata. Sección Botánica. (Nueva serie.)* 3, 213–334.
- Frenguelli, J., 1945. Las diatomeas del Platense. *Revista del Museo de La Plata, Sección Paleontología* 3, 77–221.
- Gallego, L., Distel, R., 2004. Phytolith assemblages in grasses native to central Argentina. *Annals of Botany* 94, 865–874.
- García-Rodríguez, F., Metzeltin, D., Sprechmann, P., Trettin, R., Stams, G., Beltrán-Morales, L.F., 2004. Upper Pleistocene and Holocene paleosalinity and trophic state changes in relation to sea level variation in Rocha Lagoon, southern Uruguay. *Journal of Paleolimnology* 32, 117–135.
- Garreaud, R.D., Vuille, M., Campagnucci, R., Marengo, J., 2009. Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 281, 180–195.
- González-Rouco, F., von Storch, H., Zorita, E., 2003. Deep soil temperature as proxy for surface air-temperature in a coupled model simulation of the last thousand years. *Geophysical Research Letters* 30, 2116.
- Gornitz, V. (Ed.), 2009. *Encyclopedia of Paleoclimatology and Ancient Environments*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer.
- Högborg, D., 1997. *Tansley Review N° 95*. 15N natural abundance in soil-plant systems. *New Phytologist* 137, 179–203.
- Hammer, Ø, Harper, D., Ryan, P., 2001. PAST: Palaeontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4 (1), 0–9.
- Heiri, O., Lotter, A.F., Lemcke, G., 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: Reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology* 25, 101–110.
- IBERSIS, 2001. Regulación Hídrica de los Bañados de Rocha. Informe mecanografiado. EVARSA, Montevideo, Uruguay.
- Inda, H., García-Rodríguez, F., del Puerto, L., Acevedo, V., Metzeltin, D., Castiñeira, C., Bracco, R., Adams, J., 2006. Relationships between trophic state, paleosalinity and climatic changes during the first Holocene marine transgression in Rocha Lagoon, southern Uruguay. *Journal of Paleolimnology* 35, 699–713.
- Iriarte, J., 2006. Vegetation and climate change since 14,810 ¹⁴C B.P. in southeastern Uruguay and implications for the rise of early Formative societies. *Quaternary Research* 65, 20–32.
- Iriondo, M., 1999. Climatic changes in the South American plains: record of a continent-scale oscillation. *Quaternary International* 57/58, 93–112.
- Isla, F.H., 1989. Holocene sea-level fluctuations in the southern hemisphere. *Quaternary Science Review* 8, 359–368.
- Kendall, C., 1998. Tracing nitrogen sources and cycling in catchments. In: Kendall, C., McDonnell, J.J. (Eds.), *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*. Elsevier, Amsterdam, pp. 519–576.
- Kruk, C., Rodríguez-Gallego, L., Quintanas, A.F., Lacerot, G., Scasso, F., Mazzeo, N., Meerhoff, M., Paggi, J.C., 2006. Biodiversidad y calidad de agua de 18 pequeñas lagunas en la costa sureste de Uruguay. In: Menafrá, R., Rodríguez-Gallego, L., Scarabino, F., Conde, D. (Eds.), *Bases para la conservación y el manejo de la costa uruguaya. VIDA SILVESTRE, URUGUAY*, Montevideo, pp. 599–610.
- Létolle, R., 1980. Nitrogen-15 in the natural environment. In: Fritz, P., Fontes, J. (Eds.), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. The Terrestrial Environment*, vol. 1. Elsevier, Amsterdam, pp. 407–433.
- Lamb, A.L., Wilson, G.P., Leng, M.J., 2006. Review of coastal palaeoclimate and relative sea-level reconstructions using δ13C and C/N ratios in organic material. *Earth-Science Reviews* 75, 29–57.
- Liu, K.-K., Kaplan, I.R., 1989. Eastern tropical Pacific as a source of N-enriched nitrate in seawater off southern California. *Limnology and Oceanography* 34, 820–830.
- Mancini, M.V., Paez, M.M., Prieto, A.R., Stutz, S., Tonello, M., Vilanova, I., 2005. Mid-Holocene climatic variability reconstruction from pollen records (32°–52°S, Argentina). *Quaternary International* 132, 47–59.
- Martin, L., Suguio, K., 1992. Variation of coastal dynamics during the last 7000 years recorded in beachridge plains associated with river mouths: example from the central Brazilian coast. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 99, 119–140.
- Metzeltin, D., Langebertalot, H., García-Rodríguez, F., 2005. Diatoms of Uruguay: taxonomy, biogeography, diversity. In: Lange-Bertalot, H. (Ed.), *Iconographia Diatomologica*, vol. 15. A.R.G. Gantner Verlag, Koenigstein, 737 pp.
- PROBIDES, 1999. Plan Director: Reserva de la Biosfera Bañados del Este. PROBIDES (Programa de Conservación de la Biodiversidad y Desarrollo Sustentable de los Humedales del Este), Montevideo, Uruguay, 304 pp.
- Paruelo, J.M., Jobbágy, E.G., Sala, O.E., Lauenroth, W.K., Burke, I.C., 1998. Functional and structural convergence of temperate grassland and shrublands ecosystems. *Ecological Applications* 8 (1), 194–206.
- Piovan, E., Ariztegui, D., Bernasconi, S.M., Mckenzie, J.A., 2004. Stable isotope record of hydrological changes in subtropical Laguna Mar Chiquita (Argentina) over the last 230 years. *The Holocene* 14, 525–535.
- Piovan, E.L., Ariztegui, D., Córdoba, F., Cioccale, M., Sylvestre, F., 2009. Hydrological variability in South America below the Tropic of Capricorn (Pampas and eastern Patagonia, Argentina) during the last 13.0 ka. In: Vimeux, F., Sylvestre, F., Khodri, M. (Eds.), *Past Climate Variability from the Last Glacial Maximum to the Holocene in South America and Surrounding Regions (Focus on Local and Large Scale Teleconnections)*. Springer- Developments in Paleoenvironmental Research Series (DPER), pp. 323–352.
- Piperno, D., 1988. *Phytolith Analysis: an Archaeological and Geological Perspective*. Academic Press, New York, 280 pp.
- Politis, G.G., 1984. Climatic variations during historical times in eastern Buenos Aires Pampas, Argentina. *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula* 3, 133–161.
- Prieto, A.R., 1996. Late Quaternary vegetational and climatic change in the Pampa Grassland of Argentina. *Quaternary Research* 45, 73–88.
- Prieto, M., del, R., Jorba, R., 1991. Anomalías climáticas en la Cuenca del Plata y el NOA y sus consecuencias socioeconómicas durante los siglos XVI, XVII y XVIII. *Leguas* 1, 41–103.
- del Puerto, L., 2009. Reconstrucción Paleoclimática y Paleoambiental para el Pleistoceno Tardío/Holoceno en el Sudeste del Uruguay: aporte del análisis de silicofitolitos. Tesis de Maestría, PEDECIBA-Biología-Ecología, Facultad de Ciencias. Universidad de la República, Uruguay.
- del Puerto, L., García-Rodríguez, F., Inda, H., Bracco, R., Castiñeira, C., Adams, J.B., 2006. Paleolimnological evidence of Holocene climatic changes in Lake Blanca, southern Uruguay. *Journal of Paleolimnology* 36, 151–163.
- del Puerto, L., Inda, H., García-Rodríguez, F., 2008. Reconstrucción Paleoambiental para el Holoceno medio y tardío en la cuenca de la Laguna Negra: el aporte de los indicadores biosilíceos. In: Korstanje, A., Babot, P. (Eds.), *Matices Interdisciplinarios en Estudios Fitolíticos y de Otros Microfósiles*, first ed. British Archaeological Research International Series, pp. 119–129.
- del Puerto, L., García-Rodríguez, F., Bracco, R., Castiñeira, C., Blasi, A., Inda, H., Mazzeo, N., Rodríguez, A., 2011. Evolución Climática Holocénica Para el Sudeste del Uruguay: análisis multi-proxy en testigos de lagunas costeras. In: García-Rodríguez, F. (Ed.), *EL Holoceno en la zona costera del Uruguay*. CSIC-UdelaR, Facultad de Ciencias, Montevideo, pp. 117–147.
- Quattrocchio, M.E., Borromei, A.M., Deschamps, C.M., Grill, S.C., Zavala, C.A., 2008. Landscape evolution and climate changes in the Late Pleistocene-Holocene, southern Pampa (Argentina): evidence from palynology, mammals and sedimentology. *Quaternary International* 181, 123–138.
- Rabassa, J., 2008. Late Cenozoic Glaciations in Patagonia and Tierra del Fuego. *Developments in Quaternary Sciences* 11, 151–205.
- Reimer, P.J., Brown, T.A., Reimer, R.W., 2004. Reporting and calibration of Post/Bomb ¹⁴C data. *Radiocarbon* 46 (3), 1299–1304.
- Reimer, P.J., Baillie, M.G.L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J.W., Blackwell, P.G., Bronk Ramsey, C., Buck, C.E., Burr, G.S., Edwards, R.L., Friedrich, M., Groot, P.M., Guilderson, H., Hajdas, I., Heaton, T.J., Hogg, A.G., Hughen, K.A., Kaiser, K.F., Kromer, B., McCormac, F.G., Manning, S.W., Reimer, R.W., Richers, D.A., Southon, J.R., Talamo, S., Turney, C.S.M., van der Plicht, J., Weyhenmeyer, C.E., 2009. IntCal09 and MARINE09 radiocarbon age calibration curves, 0–50,000 years CAL BP. *Radiocarbon* 51 (4), 1111–1150.
- Struck, U., Emeis, K.-C., Voss, M., Krom, M.D., Rau, G.H., 2001. Biological productivity during sapropel S5 formation in the Eastern Mediterranean Sea: evidence from stable isotopes of nitrogen and carbon. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 65, 3249–3266.
- Tomazelli, L.J., Willcock, J.A., 2000. O Cenozóico do Rio grande do Sul: Geologia da Planície Costeira. In: Holz, M., DeRos, L.F. (Eds.), *Geologia Do Rio Grande Do Sul*. Edição CIGO/UPRGS, pp. 0–444.
- Tomazelli, L.J., Dillenburger, S.R., Willcock, J.A., 2000. Late Quaternary geological history of Rio Grande do Sul coastal plain, southern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências* 30, 470–472.
- Tonni, E.P., Cione, A.L., Figini, A.J., 1999. Predominance of arid climates indicated by mammals in the pampas of Argentina during the Late Pleistocene and Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 147, 257–281.
- Twiss, P.C., 1992. Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. In: Rapp Jr., G., Mulholland, S.C. (Eds.), *Phytolith Systematics: Emerging Issues*, Advances in Archaeology and Museum Science, vol. 1, pp. 113–128.
- Villwock, J.A., Tomazelli, L.J., Loss, E.L., Dehnhard, E.A., Horn, N.O., Bachi, F.A., Dehnhardt, B.A., 1986. Geology of the Rio grande do Sul coastal Province. *Quaternary of the South America and Antarctic Peninsula* 4, 79–97.
- Voss, M., Deutsch, B., Elmgren, R., Humborg, C., Kuuppo, P., Pastuszak, M., Rolff, C., Schulte, U., 2006. Source identification of nitrate by means of isotopic tracers in the Baltic Sea catchments. *Biogeosciences* 3, 663–676.
- Wei, Z., Jibin, X., Jixiu, C., Yanming, Z., Qiaohong, M., Jun, O., Ying, C., Zhiguo, Z., Wei, L., 2010. Bulk organic carbon isotopic record of lacustrine sediments in Dahu swamp, eastern Nanling mountains in South China: implication for catchment environmental and climatic changes in the last 16,000 years. *Journal of Asian Earth Sciences* 38, 162–169.
- Wilson, G.P., Lamb, A.L., Leng, M.J., Gonzalez, S., Huddart, D., 2005. δ¹³C and C/N as potential coastal paleoenvironmental indicators in the Mersey Estuary, UK. *Quaternary Science Reviews* 24, 2015–2029.
- Witkowski, A., Lange-Bertalot, H., Metzeltin, D., 2000. Diatom flora of marine coasts I. In: Lange-Bertalot, H. (Ed.), *Iconographia Diatomologica*, vol. 7, 925 pp.

- Zárate, M., 2003. Loess of southern South America. *Quaternary Science Reviews* 22, 1987–2006.
- Zucol, A.F., 1998. Microfitolitos de las Poaceae Argentinas: II. Microfitolitos foliares de algunas especies del género *Panicum* (Poaceae, Paniceae), en la provincia de Entre Ríos. *Darwiniana* 36, 29–50.

- Zucol, A.F., 2000. Fitólitos de poaceae de argentinas: III. Fitólitos foliares de especies del género *Paspalum* (Paniceae), en la Provincia de Entre Ríos. *Darwiniana* 38, 11–32.
- Zucol, A.F., 2001. Fitólitos III. Una nueva metodología descriptiva. Asociaciones fitolíticas de *Piptochaetium montevidense* (Stipeae, Poaceae). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 36, 69–85.



Espacio Interdisciplinario
Universidad de la República
Uruguay

en_clave inter

Procesos, contextos y resultados
del trabajo interdisciplinario

seminario en_clave inter
octubre 2012

En clave Inter 2012. Procesos, contextos y resultados
del trabajo interdisciplinario
Actas del ciclo En clave inter del Espacio
Interdisciplinario realizado en el mes de octubre del
2012.

Publicación coordinada y compilada por la Unidad
Académica del Espacio Interdisciplinario: Ximena Aguiar,
Paula Cruz, Verónica Fernández, Andrea Lorigo, Lorena
Repetto, Bianca Vienni, Clara von Sanden

Edición: Verónica Fernández, Lorena Repetto, Bianca
Vienni, Clara von Sanden
Diseño: Paula Cruz, Andrea Lorigo

Primera edición, setiembre 2013, 1500 ejemplares
ISBN 978-9974-0-0981-3

© Espacio Interdisciplinario de la Universidad de la
República

Espacio Interdisciplinario de la Universidad de la
República
José Enrique Rodó 1843
11200 Montevideo Uruguay
ei@ei.udelar.edu.uy

Impreso y encuadernado en Mastergraf srl
Depósito Legal 362.815- Comisión del Papel
Edición Amparada al Decreto 218/96

Distribución general:
Espacio Interdisciplinario

Las opiniones vertidas corren por cuenta de los autores

Laura del Puerto, Felipe García Rodríguez, Roberto Bracco, Hugo Inda, Irina Capdepon, Carola Castiñeira, Adriana Blasi, Hugo Fort, Néstor Mazzeo

Grupo Interdisciplinario Paleoceanografía, Paleoclimatología:
estudio de las interacciones costa océano

4

HISTORIA AMBIENTAL Y DINÁMICA CULTURAL PARA EL HOLOCENO MEDIO Y TARDÍO EN EL ESTE DEL URUGUAY

Resumen

Se presenta una síntesis de los principales resultados generados sobre la dinámica ambiental y cultural durante el Holoceno en la región este, desde una perspectiva integradora. El componente natural será abordado mediante los resultados de análisis en testigos sedimentarios de sistemas acuáticos, relevamientos plani-altimétricos y estratigráfico-sedimentológicos de

geoformas y paleosuperficies. El componente social se abordará mediante los sistemas de subsistencia, analizando los cambios en patrones de ocupación espacial y en las estrategias de obtención/uso de recursos naturales. La discusión integrada de la información generada constituye la base para proponer un modelo de periodización socio-ambiental para el Holoceno en la región, con énfasis en el Holoceno medio y tardío.

Introducción: Dinámica socio-ambiental en profundidad temporal

Comprender la dinámica ambiental y sus interacciones e impactos sobre la cultura humana es uno de los mayores desafíos científicos del siglo XXI y uno de los temas principales de la agenda política y económica global. Los ecosistemas cambian naturalmente y como consecuencia de la presión de uso humana, al tiempo que las sociedades humanas ajustan su comportamiento afectando los ecosistemas. Entender cabalmente este feedback es uno de los designios principales de la ciencia, a los efectos de diseñar estrategias que contribuyan a una interacción sustentable entre sociedad y naturaleza (Scheffer *et al.* 2002).

Los componentes sociales y ecológicos de esta interacción cuentan con una larga historia de investigaciones disciplinares. Pero para comprender cómo interactúan es preciso contemplar causas, procesos e interrelaciones entre variables ambientales y culturales, vinculando estos componentes en un marco común y abordando su estudio como complejos sistemas naturaleza-cultura: sistemas socio-ambientales (Westley *et al.* 2002).

Es preciso, asimismo, contar con una perspectiva diacrónica que permita dimensionar la magnitud de los cambios en curso y de sus posibles consecuencias, la variabilidad natural de los sistemas socio-ambientales involucrados y su capacidad de respuesta (Anderson *et al.* 2007). Sólo estudios que cubran largos períodos y otras culturas pueden ampliar el panorama de los escenarios posibles. La información de mediano y largo plazo incrementa la capacidad de diseñar respuestas futuras y de modificar en consecuencia el accionar presente.

En este contexto, varias décadas de investigación sobre la dinámica ambiental y cultural holocena en las tierras bajas del este de Uruguay aportan un encuadre sólido para un abordaje integrado que, desde su diseño y planificación, aborda la interrelación medio ambiente-cultura desde una perspectiva integrada. Este encuadre permite el análisis de las poblaciones humanas como

parte integral de los ecosistemas sin perder de vista su carácter biocultural (Lawrence 2003). Los humanos no solo reaccionan con respuestas culturales a cambios en sus hábitats, sino que a su vez transforman el ambiente a través de estrategias organizadas socio-culturalmente (Schutkowski 2006). El marco conceptual propuesto toma en cuenta las dimensiones clave en torno a las cuales se abordan las estructuras y procesos que actúan en el sistema: espacio, tiempo y, para el componente social, construcción simbólica (Westley *et al.* 2002).

Este enfoque integrador constituye, a su vez, una herramienta fundamental para el desarrollo de una gestión integrada del paisaje en las tierras bajas del este del Uruguay, entendiendo que la historia ambiental es indisociable de la social y que la diversidad biológica y cultural son parte de un todo. Las tierras bajas de América del Sur han sido escenario de experiencias singulares de manejo ambiental desde la prehistoria, constituyendo ricos testimonios sobre la biodiversidad del territorio, así como de la diversidad cultural constitutiva de este continente (Bracco *et al.* 2008, López Mazz 2008).

Bajo este enfoque, el objetivo del presente trabajo es sistematizar el conocimiento generado por el equipo de trabajo respecto a la dinámica ambiental y cultural para el Holoceno medio y tardío de la región, conjugando desarrollos teórico-metodológicos de la Paleoecología, Ecología Humana, Arqueología y Geociencias. La articulación y discusión conjunta de la información producida, permitirá proponer un modelo de periodización socioambiental para el Holoceno del este del Uruguay.

Fuentes de información

El registro ambiental

Más de 10 años de investigaciones interdisciplinarias han hecho foco en las lagunas costeras del sureste del Uruguay como potenciales fuentes de registros de alta resolución para reconstruir los cambios climáticos y ambientales holocenos (Figuras 1 y 2). Los ambientes lagunares constituyen rasgos de paisaje de corta vida

que presentan, en fondos y costas, registros geomorfológicos, geológicos, geoquímicos y bióticos que dan cuenta de las condiciones a las cuales estuvieron sujetos a lo largo de su evolución (García-Rodríguez et al. 2009).

Estudios detallados de los depósitos sedimentarios y las geoformas generadas durante eventos transgresivos en la costa de la laguna de Castillos, han permitido

reconstruir las variaciones relativas del nivel de la laguna y proponer un modelo de evolución holocena de los niveles marinos para la costa oceánica de nuestro país (Bracco et al. 2011b, Figura 2). Adicionalmente, el análisis de 13 testigos de fondo obtenidos de siete lagunas costeras (Figura 1), con 39 fechados radiométricos y múltiples indicadores analizados (Tabla 1), ha permitido generar un modelo de evolución ambiental que abarca cambios en los niveles marinos,

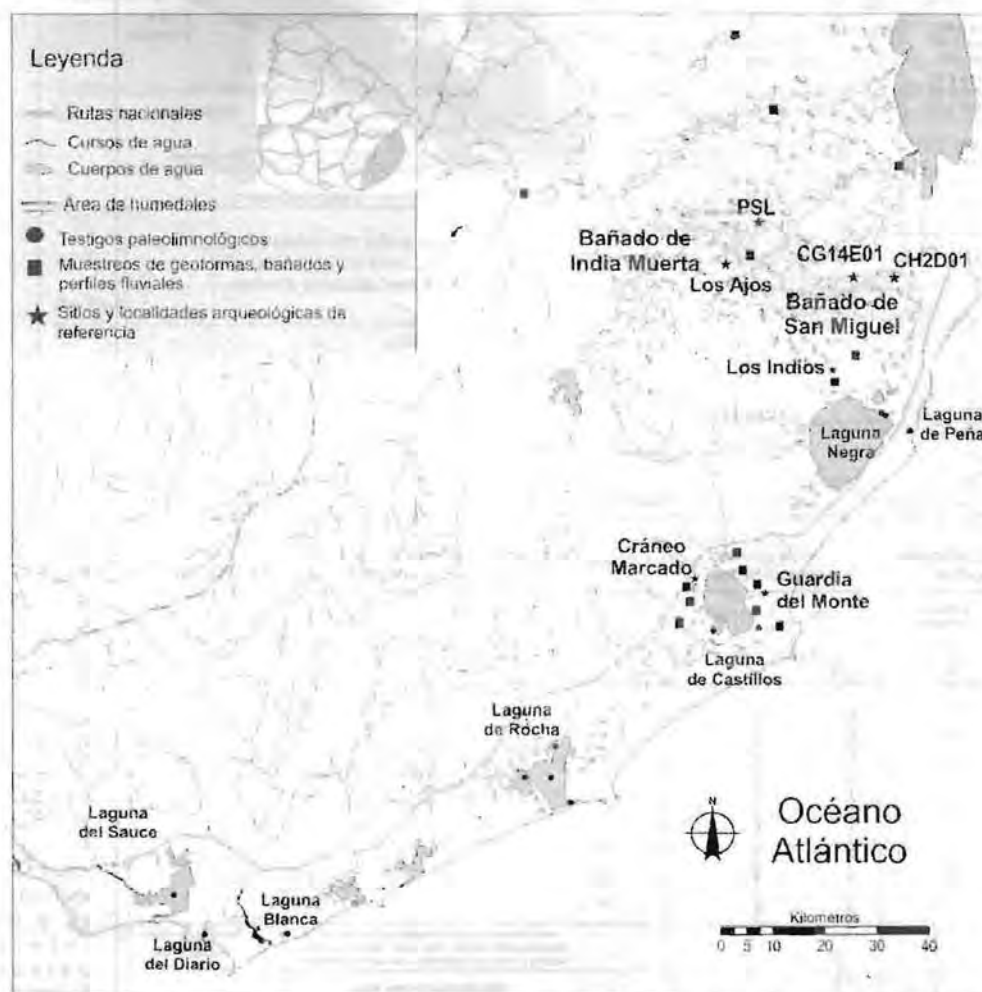


Figura 1 Ubicación geográfica de los principales puntos de muestreo, localidades y sitios arqueológicos de referencia.

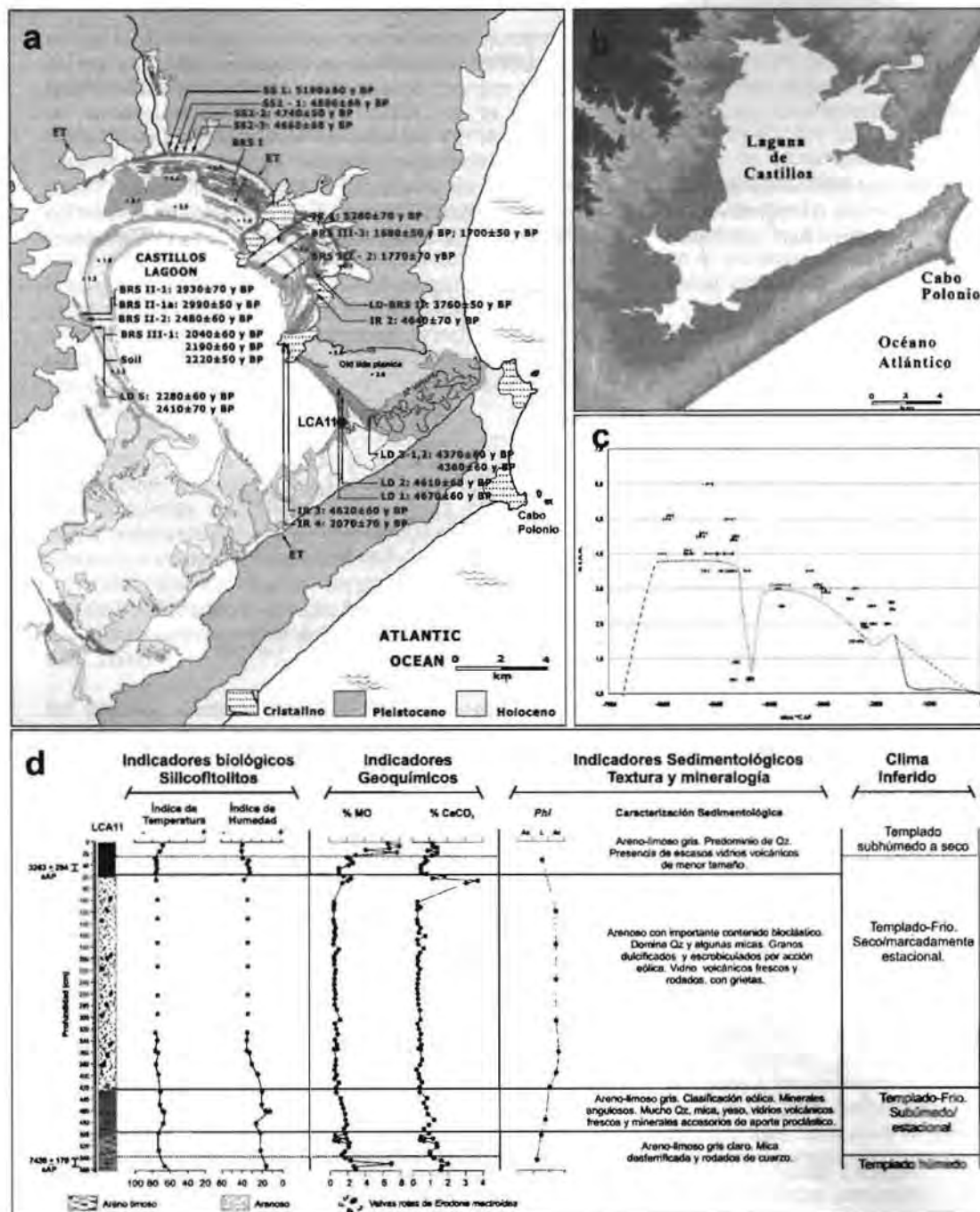


Figura 2 Síntesis paleoambiental para la Laguna de Castillos: a- ubicación y cronología de geoformas; b- reconstrucción morfológica de la laguna hacia el 5.000 AP; c- curva de variación de niveles marinos construida a partir de los registros geocronológicos; d- indicadores analizados en el testigo LCA11 e interpretación paleoclimática. Fuentes: Bracco *et al.* 2011b, del Puerto *et al.* 2011a.

Registro	Indicadores	
Paleoambiental	Testigos lacustres	- Espaciales: georeferenciación, planialtimetría.
	Testigos de bañados	- Temporales: 14C, 210Pb, 137Cs - Biológicos: silicofitolitos, diatomeas, moluscos, polen.
	Geoformas	- Sedimentológicos: litoestratigráficos, texturales, composición mineral de arenas y arcillas (DRX).
	Perfiles fluviales	- Geoquímicos: isótopos estables (13C y 15N), C, N, P, materia orgánica, carbonatos.
	Paleosuperficies	
Cultural	Cerritos, sitios costeros	- Espacial: georeferenciación, planialtimetría, arreglo interno
		- Temporal: 14C - Arqueobotánicos: silicofitolitos, maderas, carbones, semillas - Paleodietas: isótopos en restos óseos humanos - Tecnológico-funcionales: cerámica, instrumentos de mollienda

Tabla 1 Listado de los registros e indicadores analizados.

balance continente-oceano, variaciones en los estados tróficos y evolución climática regional (Blasi *et al.* 2005, Bracco *et al.* 2011b, del Puerto *et al.* 2011a y b, García Rodríguez *et al.* 2009, 2010).

Recientemente se ha puesto el foco sobre otros registros continentales, principalmente geoformas y secuencias estratigráficas vinculadas a los procesos erosión-transporte-sedimentación del sistema hídrico regional (Bracco *et al.* 2012). Se han realizado relevamientos estratigráficos, muestreos y análisis de múltiples indicadores en perfiles fluviales, depósitos de fondo de bañado y paleosuperficies (Figura 1). El objetivo central es la reconstrucción de la dinámica fluvial del sector sur de la cuenca de la Laguna Merín durante el Holoceno medio y tardío, con hincapié en el origen y evolución de los humedales de cotas altas, que no habían sido vinculados a las transgresiones marinas holocenas. Estos sistemas se presentan como el centro de origen de una de las manifestaciones culturales más significativas de nuestra prehistoria: la construcción de cerritos de indios.

El registro cultural

Las evidencias de ocupaciones tempranas para el este del Uruguay son muy escasas (López Mazz 2012). En contraste, a partir del Holoceno medio se encuentran evidencias notorias de una ocupación humana creciente, que dejó una impronta particular y notoria en los paisajes de las tierras bajas. Hace circa 5.500 años ¹⁴C AP se inicia la práctica de construcción de túmulos, conocidos localmente como cerritos de indios (Figura 3). Se trata de construcciones en tierra de planta aproximadamente circular a oval, con diámetros en el rango de los 35 metros y alturas que van desde los 50 centímetros a los 7 metros. La población total al sur del río Cebollatí, se ha estimado en más de 1500 cerritos (Bracco *et al.* 2008).

La relación actual entre distribución de túmulos y humedales fue base para interpretaciones que primero concibieron el ambiente como factor condicionante y luego como facilitador (Bracco *et al.* 2008), con lo que el surgimiento y desarrollo de los humedales pasó a tener una particular relevancia en la explicación de los fenómenos culturales. El conocimiento paleoambiental generado permitió visualizar escenarios muy diferentes a

los actuales, evolucionando en forma dinámica durante el Holoceno medio y tardío (Bracco *et al.* 2011b, del Puerto *et al.* 2011a, Inda *et al.* 2011). Esta variabilidad

ambiental no solo afectó las áreas de humedales, sino que fue extensiva a todas las planicies medias y bajas y a sus habitantes, particularmente en las lagunas costeras y el litoral atlántico (Inda 2011).

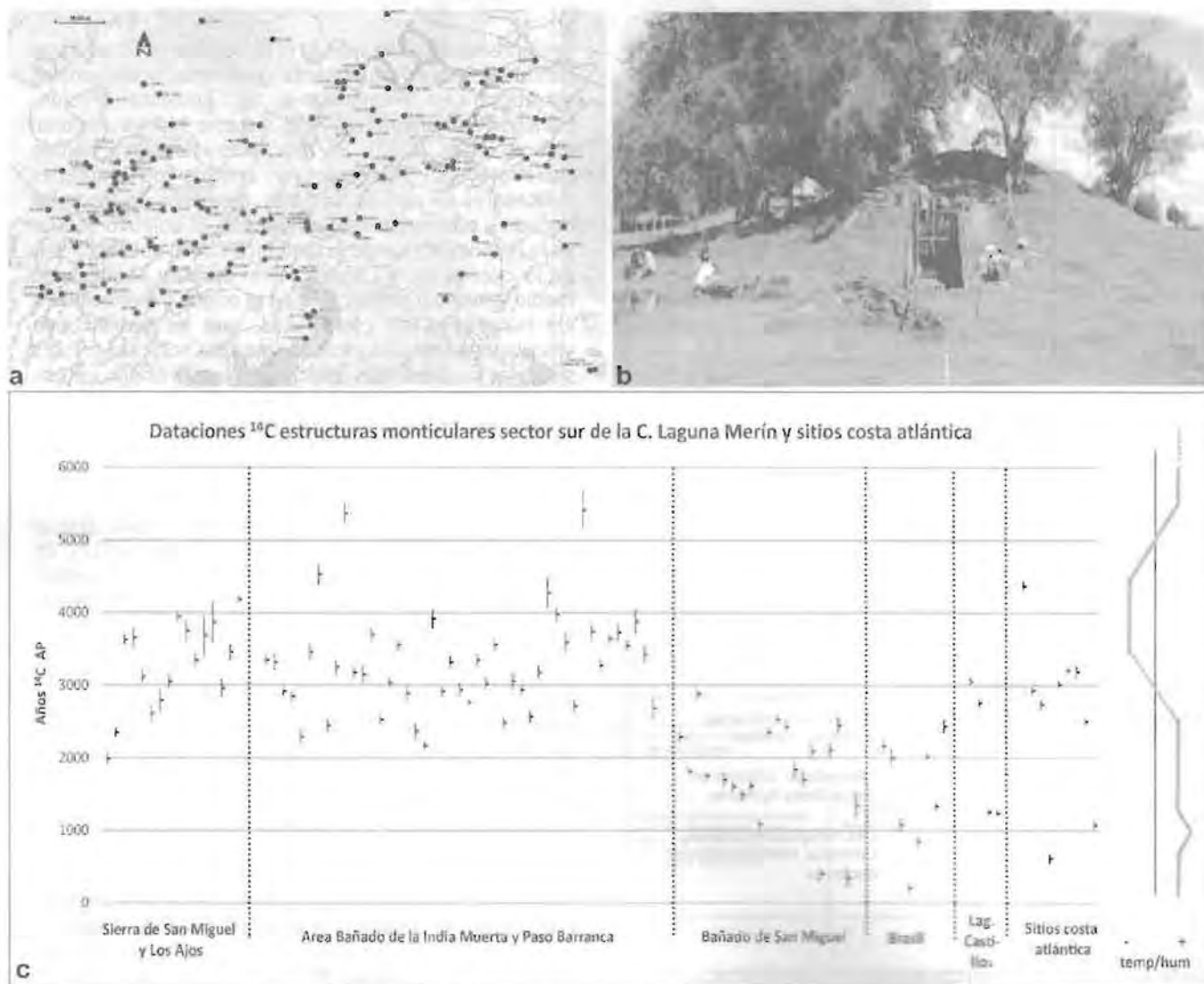


Figura 3 A-distribución de cerritos de indios en la región de India Muerta-Paso Barrancas; b-excavación de un cerrito en el sitio PSL; c-distribución espacial y temporal de sitios arqueológicos. Fuente: Bracco *et al.* 2011a.

Para abordar las respuestas culturales ante estos cambios ambientales, se hizo foco en el estudio de las estrategias de subsistencia que desarrollaron las poblaciones pre y protohistóricas de la región. Estos aspectos son ilustrativos de las adaptaciones bioculturales de las sociedades humanas a su medioambiente, refiriendo a aquellas reacciones, estrategias, factores y procesos desarrollados bajo la forma de respuestas socioculturales a condiciones específicas del sistema ecológico, que afectan su

biología, supervivencia, reproducción y distribución espacial (Schutkowski 2006). Los recursos y su uso constituyen la interfase donde los humanos se integran en el flujo de materia y energía dentro del ecosistema y donde las decisiones culturales de explotación de esos recursos constituyen el sello humano.

Se han llevado a cabo estudios de distribución espacial y temporal de sitios arqueológicos, con énfasis en los cerritos de indios. Más de ochocientos cerritos y otros

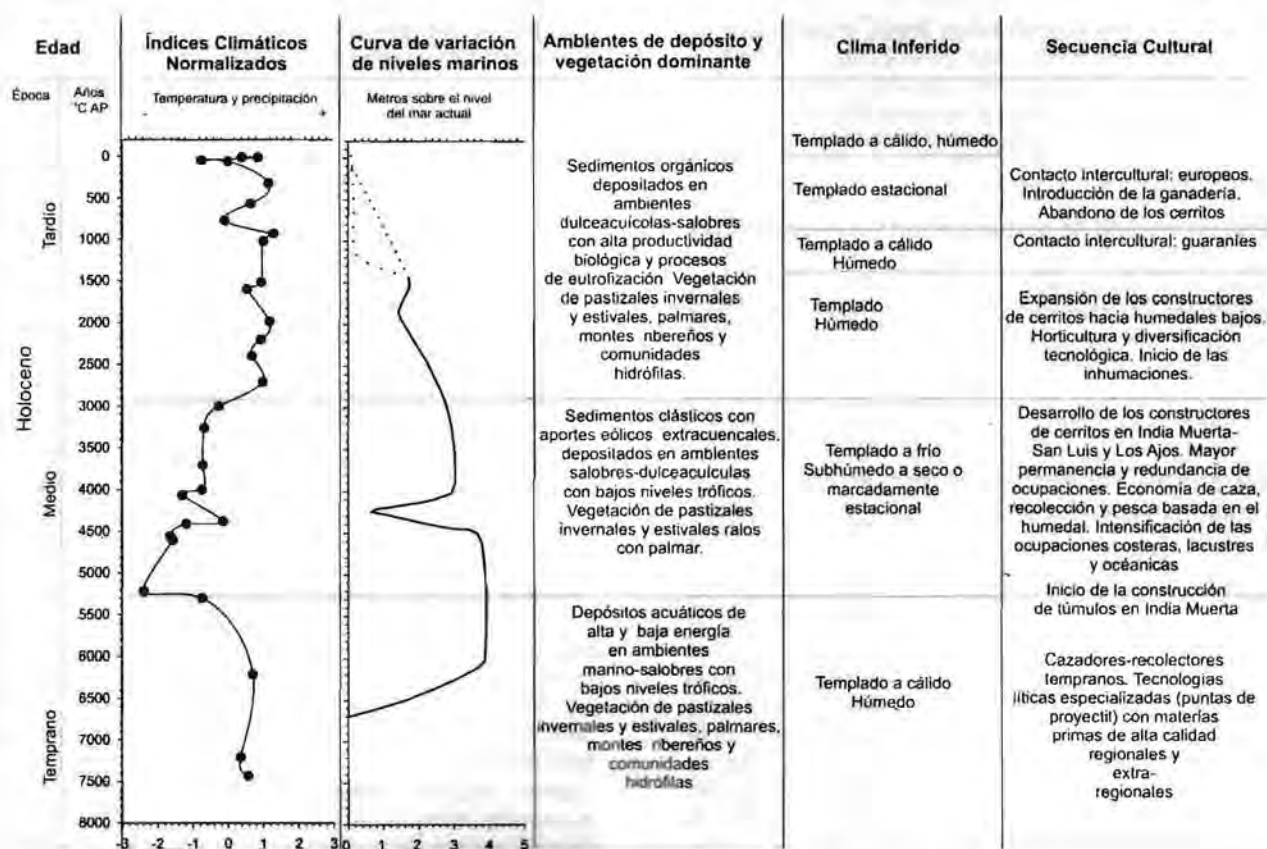


Figura 4 Síntesis de la periodización socio-ambiental propuesta. Fuentes: Bracco *et al.* 2011a y b, del Puerto *et al.* 2011a, García-Rodríguez *et al.* 2009, Inda 2011.

yacimientos han sido referenciados geográficamente y unos cincuenta cronológicamente, permitiendo conocer la historia de ocupación y transformación antrópica del ambiente, vinculándola a la evolución ambiental natural de esos espacios (Bracco *et al.* 2011b). Simultáneamente, el estudio de la distribución (ordenamiento, distancias, alturas) de los túmulos al interior de los conjuntos relevados, ha aportado información sustancial sobre la configuración social de las poblaciones prehistóricas y sus cambios a través del tiempo (Bracco *et al.* 2009). Conjuntamente, análisis arqueobotánicos, de paleodieta y tecnológico-funcionales sobre instrumentos líticos y cerámicos de algunos de estos sitios, han contribuido a identificar cambios en las estrategias de obtención, procesamiento y consumo de recursos principalmente alimenticios (Bracco *et al.* 2000, Capdepont *et al.* 2005, del Puerto e Inda 2008).

Hacia un modelo de periodización socio-ambiental

El análisis integrado de la información generada permite ensayar un modelo de periodización socio-ambiental para el Holoceno medio y tardío en la región (Figura 4):

- 10.000-7.000 a¹⁴C AP. El comienzo del Holoceno se caracterizó por el progresivo calentamiento del clima y el derretimiento de las grandes masas de hielo continentales. Esto produjo un importante ascenso del nivel del mar, que llegó a hallarse 120 metros por debajo del nivel actual durante el máximo de la última glaciación, hace unos 26.000 años (Bracco *et al.* 2011b). Recién hacia el 7.000 a¹⁴CAP el mar alcanzó su nivel actual (García-Rodríguez *et al.* 2009). A pesar del calentamiento general del clima, las condiciones eran aún más frías y secas que las actuales, favoreciendo el desarrollo de una vegetación de tipo estepa (del Puerto 2011). Los bañados característicos de la región aún no se habían desarrollado, por encontrarse el nivel de base por debajo del actual. Bajo estas condiciones se dan las primeras ocupaciones humanas registradas para la región (López Mazz 2012).

- 7.000-5.000 a¹⁴C AP. Durante este período el mar siguió creciendo hasta superar el nivel actual entre 4 y 5 metros (Bracco *et al.* 2011b, García-Rodríguez *et al.* 2009). Este evento, conocido como Máximo Transgresivo del

Holoceno, fue acompañado por condiciones climáticas más cálidas y húmedas (del Puerto 2011). Como consecuencia de un nivel de base alto se generaron bañados salobres y marismas en las zonas bajas y empezó el desarrollo de las lagunas costeras, a partir de entonces golfos o ensenadas abiertas al mar (Blasi *et al.* 2005, Inda 2011). La vegetación dominante era de praderas invernales y estivales, con buen desarrollo de comunidades hidrófilas, halófilas y palmares. En este escenario comienza la construcción de los primeros cerritos de indios, ubicados en las zonas del Bañado de India Muerta. Con un nivel de base más alto y el mar invadiendo las zonas bajas, las planicies de cotas superiores y las serranías que las irrumpen debieron constituir zonas propicias para la ocupación de poblaciones que desarrollaban economías principalmente extractivas (caza, recolección y pesca) basadas en el humedal. La obstrucción de los drenajes producto del aumento del nivel de base habría generado extensos bañados de agua dulce en estas zonas. Los cursos mayores que desagotan actualmente el exceso de agua hacia la Laguna Merín (ríos Cebollatí y San Luis) aún no se habían entallado y carecían de competencia, por lo que estas planicies altas habrían permanecido inundadas gran parte del año (Bracco *et al.* 2012).

- 5.000-2.500 a¹⁴C AP. El mar comienza a descender, dando lugar a la conformación de extensos bañados salobres en las planicies bajas y al paulatino cierre de las lagunas costeras (García-Rodríguez *et al.* 2010, Inda 2011). Este descenso se produce junto con una disminución de la temperatura y precipitaciones menores y/o estacionales, con déficit en el período estival. La disminución/estacionalidad de las precipitaciones habría llevado a la concentración de sales en las planicies bajas, demorando el desarrollo de los humedales y lagunas dulceacuícolas. Este es el período de mayor construcción de cerritos en los bañados de cotas altas y las sierras, indicando que estos lugares seguían siendo los más propicios para la ocupación humana. A pesar de la disminución de las precipitaciones, los bañados de zonas altas debieron permanecer inundados al menos una parte del año debido a que los drenajes aún no estaban desarrollados plenamente. Esto **podría explicar** la concentración de cerritos en estas áreas, **hallándose** los sitios de mayor densidad y los túmulos **de mayor** altura. La restricción

espacial aparece como la **causa** de una mayor redundancia y permanencia en las ocupaciones humanas. Entre el 4.000 y 3.000 a¹⁴C AP también se registra una intensificación de las ocupaciones costeras, tanto oceánicas como lacustres. El incremento en el aprovechamiento estacional de recursos costeros pudo haber formado parte de una estrategia de diversificación de la subsistencia para hacer frente a periodos de estrés ambiental. La alta conectividad de los ambientes de las tierras bajas (sierras, planicies altas con palmares y bañados dulceacuícolas, planicies bajas con bañados salobres y lagunas costeras, costa oceánica) debió constituir un elemento clave para la permanencia y desarrollo de los contingentes humanos. Hacia el final del período se registran otras innovaciones que debieron acompañar esta estrategia de diversificación y disminución del riesgo y la incertidumbre. El registro arqueobotánico muestra las primeras evidencias de producción de recursos vegetales, tales como *Zea mays* L. (maíz), *Cucurbita* sp. (zapallos) y *Phaseolus* sp. (porotos), junto con una amplia variedad de plantas silvestres explotadas (del Puerto e Inda 2008). La implementación de prácticas hortícolas/agrícolas implica tanto un cambio en las estrategias de subsistencia como en el modo de producción. Las estrategias de subsistencia se transforman si las bases ecológicas o socioculturales cambian, involucrando siempre cambios sociales y culturales que desembocan en cambios en los modos de producción (Schutkowski 2006). En este sentido, la implementación de prácticas agrícolas estuvo precedida por otros cambios en las estrategias de subsistencia, tendientes a optimizar la explotación de recursos e incrementar su predictibilidad. Por otra parte, está acompañada de cambios culturales que se aprecian en el subsistema tecnológico: comienzo del periodo alfarero (cerámica) y mayor proliferación de instrumentos de molienda, ambos vinculables a cambios en las formas de procesamiento y consumo de los recursos silvestres, manejados y cultivados (Bracco et al. 2009).

- 2.500-200 a¹⁴C AP. Durante este período el clima y el nivel del mar van aproximándose a su condición actual, aunque con oscilaciones menores (Bracco et al. 2011b, García-Rodríguez et al. 2009). El clima comienza a estabilizarse, instaurándose condiciones similares a las actuales hacia el 2000 a¹⁴C AP. El retroceso del nivel del

mar y el incremento en las precipitaciones habrían favorecido el lavado de las sales con la consecuente expansión y dulcificación de los bañados de cota baja y las lagunas costeras. Por contraste, los humedales de cotas altas comenzaron a retroceder, debido a la desobstrucción de los drenajes por la disminución del nivel de base. Esto, junto al aumento en las precipitaciones, llevó al encaje de cursos principales como el río Cebollatí y a la captura de sistemas hídricos menos competentes, afectando considerablemente la carga hídrica de estas zonas (Bracco et al. 2012). Ello explicaría el paulatino abandono de las áreas de India Muerta-Paso Barranca y Los Ajos con posterioridad al 3000 a¹⁴C AP, así como la expansión de la práctica de construcción de túmulos en las planicies bajas próximas a la Laguna Merín durante este período (Bracco et al. 2011a). Asimismo, la menor densidad de estos nuevos sitios y la altura considerablemente reducida de los cerritos tardíos, pueden vincularse a una disminución de la redundancia/permanencia de las ocupaciones, coherente con una menor constricción territorial. Finalmente, la presencia de inhumaciones en los cerritos para este período, es un indicador de cambios en la significación social y cultural de estas estructuras por parte de las poblaciones que las ocuparon.

A pasar de la estabilización general del ambiente para este período, el clima mostró dos pulsos importantes en el último milenio. Entre el 1.500-1.000 a¹⁴C AP se registra una fase más cálida y húmeda, asimilables a la Edad Cálida Medieval (del Puerto et al. 2011a). Habría estado acompañado por cambios en la vegetación, denotados por el mayor desarrollo de la vegetación arbórea, hidrófila y pastizales estivales (del Puerto 2011). Culturalmente, este evento corresponde cronológicamente a la llegada de contingentes guaraníes en el este y litoral oeste del territorio (Capdepont 2011). El segundo pulso, que alcanza el período histórico, se conoce como la Pequeña Edad de Hielo y se caracterizó por condiciones más frías y secas. Se desarrolló entre el 1500 y el 1900 AD, con tres marcados pulsos fríos y secos cuyos máximos se ubicaron hacia 1300AD, 1600AD y 1900AD (del Puerto et al. 2011a). Bajo estas condiciones se dan los primeros contactos con los europeos, poco después se introduce el ganado y se producen los últimos registros de construcción/ocupación indígena de los cerritos de indios.

Consideraciones finales: del pasado para el futuro

La información generada tiene múltiples ámbitos de uso. Por un lado, aumenta el conocimiento sobre la prehistoria regional y las respuestas humanas frente a cambios ambientales. No sólo es conocimiento transferible a nivel educativo, sino también base conceptual para el planteo de respuestas ante el cambio global. Las reconstrucciones ambientales aportan conocimiento sobre las características y dirección de los procesos naturales, necesario para el manejo ambiental, especialmente para espacios de alta sensibilidad como los ambientes costeros, de humedales y lagunares. La información paleoclimática de largo plazo ofrece un marco apropiado para interpretar tendencias y tomar decisiones locales ante los desafíos actuales, que incumben directamente al sector productivo y a la economía nacional.

Finalmente, estas investigaciones interdisciplinarias están siendo referentes para trabajos geoarqueológicos regionales, como los desarrollados en los humedales del Delta Superior del Paraná Argentina (Castiñeira et al. 2012).

Referencias bibliográficas

- Anderson, D., Maasch, K., Sandweiss, D., Mayewski, P. (2007): Climate and culture change: exploring Holocene transitions. En: Anderson, D. G., K. A. Maasch y D. H. Sandweiss (Eds.): *Climate Change and Cultural Dynamics: A Global Perspective on Mid-Holocene Transitions*. Elsevier, s.l., pp. 1-23.
- Blasi, A., Castiñeira, C., del Puerto, L., Inda, H., Bracco, B., García-Rodríguez, F. (2005): Sedimentación Holocena en los Bañados de Santa Teresa y el Registro Arqueológico, Planicie Costera del Departamento De Rocha, Uruguay. En: *Actas XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata, Tomo IV, pp.289-297.
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H. (2008): Prehistoria y arqueología de la cuenca de la Laguna Merín. En: D. Loponte y A. Acosta (Comps.): *Entre la Tierra y el Agua. Arqueología de Humedales de Sudamérica*. Ed. Libros del Riel, s.l., pp. 1-60.
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H., Capdepon, I., Panario, D., García-Rodríguez, F. (2012): Evolución ambiental y constructores de cerritos en la región de India Muerta. Un replanteo. En: *Actas de las III Jornadas del Cenozoico del Uruguay*, Trabajo 047, Montevideo.
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H., Panario, D., Castiñeira, C., García-Rodríguez, F. (2011a): Relationship between climate change and the emergence of moundbuilders in SE Uruguay: new opal phytolith evidences from sediment cores. En: *Quaternary International* 245, pp. 62-73.
- Bracco, R., García-Rodríguez, F., Inda, H., del Puerto, L., Castiñeira, C., Panario, D. (2011b): Niveles Relativos del Mar Durante el Pleistoceno Final - Holoceno en la Costa del Uruguay. En: F. García-Rodríguez (Comp.): *El Holoceno en la Zona Costera del Uruguay*. UCUR-UdelaR, Montevideo, pp. 65-94.
- Bracco, R.; del Puerto, L., Inda, H., Castiñeira, C., García-Rodríguez, F., Panario, D. (2009): Cambios ambientales y arqueología en el actual territorio del Uruguay. En: *Cazadores-Recolectores del Cono Sur*. Vol. 3, pp. 15-27.
- Bracco, R., Fregeiro, M., Panarello, H., Odino, R., Souto, B. (2000): Dieta, modos de producción de alimentos y complejidad. En: A. Duran y R. Bracco Boksar (Eds.). *Arqueología de las Tierras Bajas*. Ministerio de Educación y Cultura, Montevideo, pp. 227-248.
- Capdepon, I. (2011): *Arqueología de sociedades indígenas del litoral del río Uruguay*. Tesis Doctoral en Arqueología. Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Capdepon, I., del Puerto, L., Inda, H. (2005): Instrumentos de

molienda: evidencias del procesamiento de recursos vegetales en la Laguna de Castillos, Rocha, Uruguay. En: *Intersecciones en Antropología* 6, pp. 153-166.

Castiñeira, C., Blasi, A., Politis, G., Bonomo, M., del Puerto, L., Huarte, R., Carbonari, J., Mari, F., García-Rodríguez, F. (2012): The origin and construction of pre-Hispanic mounds in the Upper Delta of the Paraná River (Argentina). En: *Archaeological and Anthropological Sciences*. DOI 10.1007/s12520-012-0107-2.

del Puerto, L. (2011): Silicofitolitos como indicadores paleoambientales. Bases comparativas y Reconstrucción paleoclimática a partir del Pleistoceno tardío en el SE del Uruguay. Editorial Académica Española, Berlín.

del Puerto, L., Inda, H. (2008): Estrategias de Subsistencia y Dinámica Ambiental: Análisis de silicofitolitos en sitios arqueológicos de la Cuenca de la Laguna de Castillos, Rocha, República Oriental de Uruguay. En: Zucol, A., Osterrieth, M., Brea, M. (Org.): *Fitolitos: estado actual de su conocimiento en América del Sur*. Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, pp. 221-236.

del Puerto, L., García-Rodríguez, F., Bracco, R., Blasi, A., Inda, H., Mazzeo, M., Rodríguez, A. (2011a): Evolución Climática Holocénica para el Sudeste del Uruguay: Análisis Multi-Proxy en Testigos de Lagunas Costeras. En: F. García-Rodríguez (Comp.): *El Holoceno en la Zona Costera del Uruguay*. UCUR-UdelaR, Montevideo, pp. 119 - 156.

del Puerto, L., Bracco, R., Inda, H., Gutiérrez, O., Panario, D., García-Rodríguez, F. (2011b): Assessing links between late Holocene climate change and paleolimnological development of Peña Lagoon using opal phytoliths, physical and geochemical proxies. En: *Quaternary International*. Accesible en: 10.1016/j.quaint.2011.11.026.

García-Rodríguez, F., Stutz, S., Inda, H., del Puerto, L., Bracco, R., Panario, D. (2010): A multiproxy approach to infer Holocene paleobotanical changes linked to sea-level variation, paleosalinity levels and shallow lake alternative states in Negra Lagoon, SE Uruguay. En: *Hydrobiologia*, 646 (1), pp. 5-20.

García-Rodríguez, F., Piovano, E., del Puerto, L., Inda, H., Stutz, S., Bracco, R., Panario, D., Córdoba, F., Silvestre, F., Ariztegui, D. (2009): South American lake paleo-records across the Pampean Region. En: *PAGES Newsletter*, v. 17 (3), pp. 115-117.

Lawrence, R. (2003): Human ecology and its applications. En: *Landscape and Urban Planning* 65, pp.31-40

López Mazz, J.M. (2012): Early human occupation of Uruguay.

Radiocarbon database and archaeological implications. En: *Quaternary International*. Accesible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2012.07.004>.

López Mazz, J.M. (2008): El Componente Cultural en el Área de Reserva de Biosfera Bañados del Este: Gestión Integral del Patrimonio Arqueológico y Difusión Turística. UNESCO, Montevideo.

Scheffer, M., Westley, F., Brock, W., Holmgren, M. (2002): Dynamic Interaction of Societies and Ecosystems - Linking Theories from Ecology, Economy and Sociology. En: L.H.Gunderson y C.S. Holling (Eds.): *Panarchy. Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Island Press, Washington, pp.195-240.

Schutkowski, H. (2006): Human Ecology. Biocultural Adaptations in Human Communities. En: *Ecological Studies*, Vol. 182. Analysis and Synthesis. Springer, s.l.

Westley, F., Carpenter, R., Brock, W., Holling, C., Gunderson, L. (2002): Why Systems of People and Nature are not just Social and Ecological Systems. En: L.H. Gunderson y C.S. Holling (Eds.): *Panarchy. Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Island Press, Washington, pp.103-120.

BOTÂNICA NA AMÉRICA LATINA: CONHECIMENTO, INTERAÇÃO E DIFUSÃO



CONGRESO
LATINOAMERICANO DE
BOTÂNICA
LXV CONGRESSO NACIONAL
DE BOTÂNICA
XXXIV ERBOT - MG, BA, ES

TÂNIA REGINA DOS SANTOS SILVA
CARLOS WALLACE DO NASCIMENTO MOURA
LUCIENE CRISTINA LIMA E LIMA
FRANCISCO DE ASSIS RIBEIRO DOS SANTOS

ORGANIZADORES



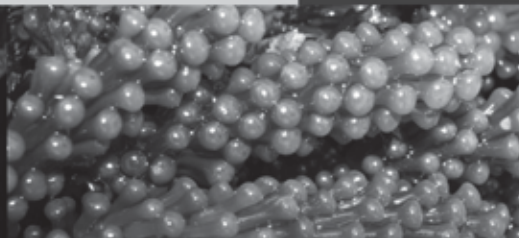
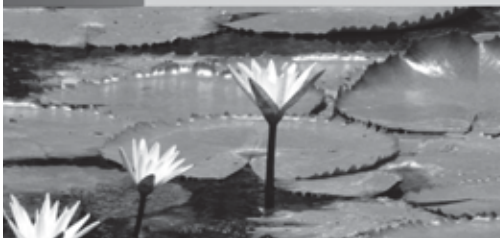
BOTÂNICA NA AMÉRICA LATINA: CONHECIMENTO, INTERAÇÃO E DIFUSÃO



**CONGRESSO
LATINOAMERICANO DE
BOTÂNICA
LXV CONGRESSO NACIONAL
DE BOTÂNICA
XXXIV ERBOT - MG, BA, ES**

TÂNIA REGINA DOS SANTOS SILVA
CARLOS WALLACE DO NASCIMENTO MOURA
LUCIENE CRISTINA LIMA E LIMA
FRANCISCO DE ASSIS RIBEIRO DOS SANTOS
ORGANIZADORES

1ª EDIÇÃO





ASSOCIAÇÃO LATINO-AMERICANA DE BOTÂNICA (ALB)

Diretoria

Presidente

Ana Maria Giulietti Harley

Vice-Presidente

Tania Regina Santos Silva

Tesoureira

Daniela Santos Carneiro Torres

1ª Secretária

Milene da Silva Castro

2ª Secretária

Guadalupe E. Licona de Macedo

Secretário Executivo

Enrique Forero

Conselho Superior

Ana H. Ladio

Maria das Graças Lapa Wanderley

Monica Palácios-Rios

Alina Freire-Fierro

Asunción A. Cano Echevarria

Alejandro Palmarola Bejerano

Nanuza Luiza de Menezes

Carlos Alberto Agudelo Henao



SOCIEDADE BOTÂNICA DO BRASIL (SBB)

Diretoria

Presidente

Renata Maria Strozi Alves Meira

1ª Vice-Presidente

Ariane Luna Peixoto

2º Vice-Presidente

Marcus Alberto Nadruz Coelho

1ª Secretária

Andrea Pereira Luiz-Ponzo

2ª Secretária

Vânia Gonçalves Lourenço Esteves

1º Tesoureiro

João Augusto Alves Meira Neto

2ª Tesoureira

Luzimar Campos Silva

Secretária Geral

Micheline Carvalho Silva

Secretário Adjunto

Paulo Eduardo Aguiar Saraiva Câmara

Conselho Superior

– Membros Titulares

Denise Maria Trombert de Oliveira

Kátia Cavalcanti Pôrto

Maria de Lourdes da Costa Soares

Jorge Ernesto de Araújo Mariath

Geraldo Alves Damasceno Jr.

Conselho Superior

– Membros Suplentes

Antonio Carlos Webber

Gardene Maria de Souza

Luiz Antônio de Souza

Paulo Takeo Sano

Arnildo Pott

XI CLABOT, LXV CNBOT & XXXIV ERBOT

Comissão Organizadora

Presidente

Tânia Regina dos Santos Silva (UEFS)

Vice-Presidente

Carlos Wallace do Nascimento Moura (UEFS)

1ª Secretária

Milene Maria da Silva Castro (UESB)

2ª Secretária

Nara Katary dos Reis Souza (UFRB)

1ª Tesoureiro

Daniela Santos Carneiro-Torres (UEFS)

2º Tesoureiro

Paulino Pereira de Oliveira (UEFS)

Comitê de Programação Científica

Francisco de Assis Ribeiro dos Santos (UEFS)

Luciene Cristina Lima e Lima (UNEB)

Comissão Científica

Silvana B. Vilas Bôas-Bastos (UEFS)

Maria José Gomes Andrade (UNEB)

Cid José Passos Bastos (UFBA)

Mércia Patrícia Pereira Silva (UFBA)

Logomarca

Carlos Wallace do Nascimento Moura

Identidade Visual do Evento

StudioR Comunicação

Diagramação e Arte Final “Anais XI CLABOT, LXV CNBOT & XXXIV ERBOT”

Ericson Peres

ericsonperes@yahoo.com.br | (51)

8143.8778 - 8615.3593

Ficha catalográfica: Biblioteca Central Julieta Carteadó - UEFS

C759

Congresso Latinoamericano de Botânica (11.: 2014: Salvador, BA)
XI Congresso Latinoamericano de Botânica: [arquivo legível por máquina]: Botânica na América Latina: conhecimento, interação e difusão. LXV Congresso Nacional de Botânica [e] XXXIV ERBOT MG, BA, ES / organizadores: Tânia Regina dos Santos Silva ... [et al.]. – Salvador: Sociedade Botânica do Brasil, 2014.
1 arquivo de texto (604 p.) : il.

ISBN:

Botânica – Congressos. 2. Fisiologia vegetal – Congressos. 3. Morfologia vegetal – Congressos. Ecologia – Congressos. I. Silva, Tânia Regina dos Santos. II. Congresso Nacional de Botânica (65.: 2014: Salvador, BA). III. Encontro Regional de Botânicos (34.: 2014: Salvador, BA). IV. Título.

CDU 581

SILICOFITOLITOS COMO INDICADORES PALEOAMBIENTALES: POTENCIALES, LIMITACIONES Y EJEMPLOS DE APLICACIÓN EN ECOSISTEMAS DE PASTIZALES DEL SE DEL URUGUAY

**Laura del Puerto¹, Hugo Inda¹, Roberto Bracco²,
Felipe García-Rodríguez¹ e Irina Capdepon³**

Centro Universitario Regional Este, Universidad de la República (UdelaR), Uruguay.

ldelpuerto@cure.edu.uy

Laboratorio de Datación ¹⁴C, Cátedra de Radioquímica/Facultad de Química (UdelaR) y Dirección de Innovación, Ciencia y Tecnología (DICYT), Ministerio de Educación y Cultura (MEC), Uruguay.

Laboratorio de Datación por TLD, Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales, Facultad de Ciencias (UdelaR). DICYT, MEC, Uruguay.

Durante los últimos 15 años se han desarrollado numerosas investigaciones interdisciplinarias en el sudeste del Uruguay, tendientes a reconstruir los cambios climáticos y ambientales holocenos (García Rodríguez et al. 2001, 2010; Bracco et al. 2011a; del Puerto et al. 2011, 2013ayb; Inda et al. 2006). Gran parte de estos estudios han hecho foco en el análisis *multiproxy* de depósitos de fondo de lagunas costeras, como potenciales fuentes de registros de alta resolución. El análisis de 16 testigos de fondo obtenidos de 10 lagunas costeras (Figura 1), con más de 50 fechados radiométricos y múltiples indicadores analizados (del Puerto et al. 2011, 2013b), ha permitido generar un modelo de evolución ambiental que abarca cambios en los niveles marinos, balance continente-océano, variaciones en los estados tróficos y evolución climática regional (Bracco et al. 2011b, del Puerto et al. 2011, 2013ayb, García Rodríguez et al. 2010).

Recientemente se ha puesto el foco sobre otros registros continentales, principalmente geoformas y secuencias estratigráficas vinculadas a los procesos erosión-transporte-sedimentación del sistema hídrico regional (Bracco et al. 2012). Se han realizado relevamientos estratigráficos, muestreos y análisis de múltiples indicadores en perfiles fluviales, depósitos de fondo de bañado y paleosuperficies (Figura 1). El objetivo central ha sido la reconstrucción de la dinámica fluvial del sector sur de la cuenca de la Laguna Merín durante el Holoceno medio y tardío, con hincapié en el origen y evolución de los humedales de cotas altas, que no habían sido vinculados a las transgresiones marinas holocenas (Bracco et al. 2012, del Puerto et al. 2013b).

Si bien estos estudios han desarrollado el análisis integrado de múltiples indicadores (biológicos, físicos y geoquímicos), la reconstrucción paleoclimática se ha basado mayormente en el registro de silicofitolitos (Bracco et al. 2011a; del Puerto et al. 2011). Estos indicadores paleobotánicos han sido exitosamente aplicados a reconstrucciones paleoambientales en ecosistemas de pastizales alrededor del mundo. Su constitución mineral y su producción cuantiosa y diferencial en muchas

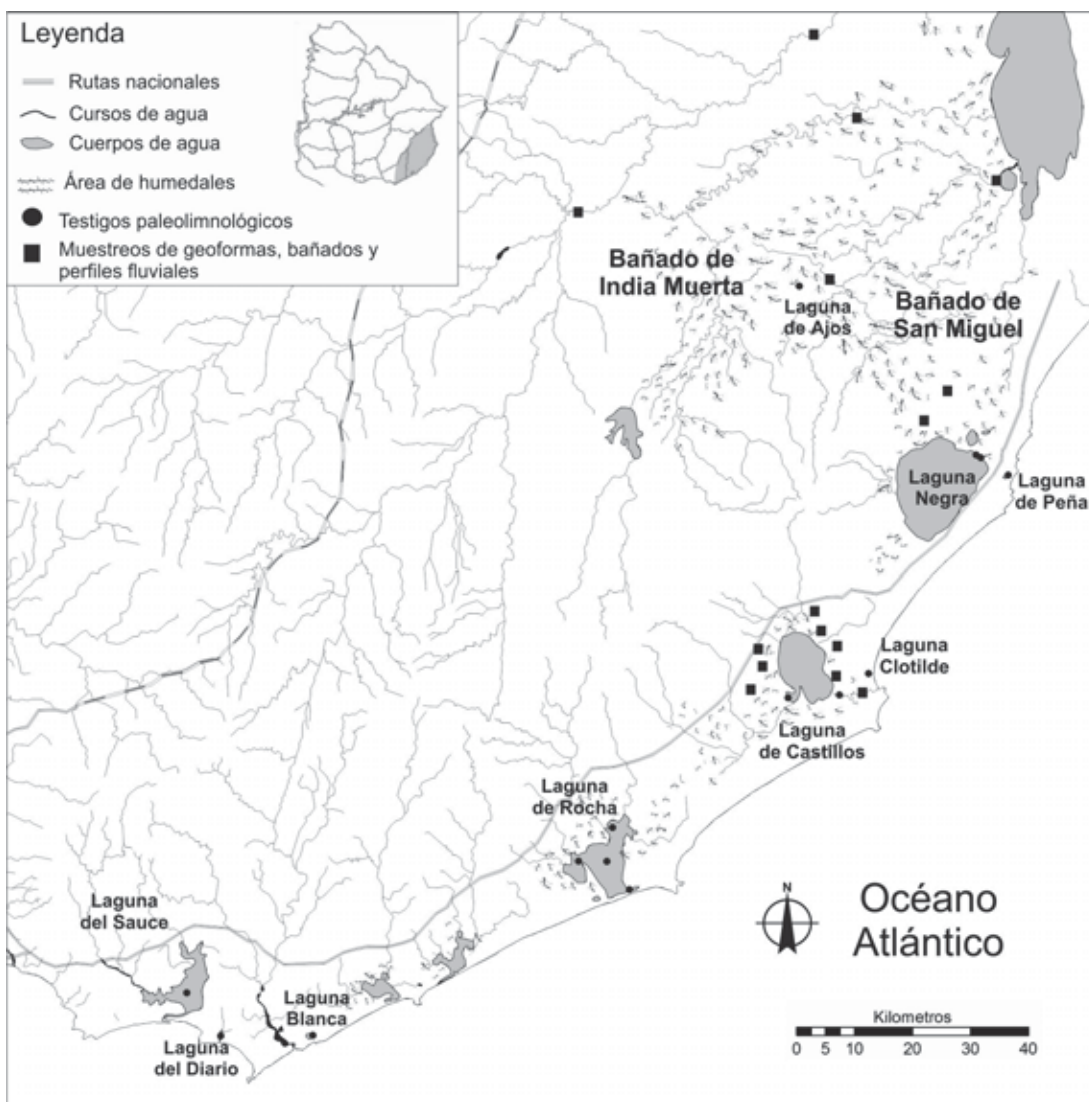


Figura 1. Ubicación geográfica de los principales puntos de muestreo para análisis paleoambiental. Modificado de del Puerto et al. 2013b.

plantas, particularmente dentro de las gramíneas, les confiere a estos microrestos vegetales un gran potencial para reconstruir la dinámica pasada de los pastizales templados. Además de resistentes y abundantes, su condición de buenos indicadores se debe a que permite la identificación de los organismos progenitores a niveles taxonómica o ecológicamente relevantes. En este sentido, si bien los fenómenos de multiplicidad y redundancia afectan el carácter diagnóstico de los fitolitos, éstos permiten igualmente la identificación de grupos funcionales de alta sensibilidad climática y ambiental. A partir de la morfología de las células cortas silicificadas producidas en el tejido epidérmico de gramíneas, es posible identificar grupos taxonómicos a nivel de subfamilia, género y excepcionalmente especie. Pero más allá de la identificación taxonómica de las especies parentales, su mayor potencial para la reconstrucción paleoclimática y paleoambiental es el de permitir la identificación de grupos funcionales con diferente mecanismo fotosintético (C_3 versus C_4), diferente hábito y hábitat (por ejemplo, Baker et al. 2000; Fredlund y Tieszen 1997; Smith y White 2004; Twiss 1992).

Teniendo en cuenta que aproximadamente el 87% del territorio uruguayo (140.000 km²) está ocupado por pastizales naturales (Altesor et al. 2005) y que la composición y estructura de los mismos presenta una alta sensibilidad climática, el análisis de silicofitolitos se constituyó en una her-

ramienta de gran utilidad para la reconstrucción paleoambiental. Por esta razón, con el objetivo de aportar a la generación de modelos paleoambientales de alta resolución para el Holoceno en el sudeste del Uruguay, los análisis fitolíticos se desarrollaron en tres niveles complementarios y secuenciales que involucraron:

- ▶ Estudios actualísticos tendientes a consolidar el potencial de los silicofitolitos como indicadores paleobotánicos en relación con: a) la capacidad de discriminar grupos de gramíneas de relevancia taxonómica y funcional; b) su sensibilidad como indicadores de cambios climáticos y ambientales.
- ▶ Aplicación del análisis fitolítico al estudio de registros fósiles de alta resolución para el Holoceno en la región.
- ▶ Estimaciones cuantitativas de los cambios climáticos holocenos, mediante modelos de calibración fitolitos-clima y de la intercalibración de la señal climática (C_3/C_4) de los fitolitos con análisis isotópicos sobre materia orgánica de registros paleolimnológicos de alta resolución.

A continuación se presenta una síntesis de los principales resultados obtenidos en cada área.

Estudios actualísticos: fitolitos en plantas actuales y sedimentos modernos

Si bien existen importantes antecedentes regionales sobre estudios taxonómicos y de asociaciones fitolíticas en sedimentos actuales (Fernández Honaine et al. 2006; Gallego y Distel 2004; Iriarte y Alonso 2009; Zucol 1998, 2000, 2001) se consideró necesario fortalecer la línea de base para consolidar la aplicación del análisis fitolítico en reconstrucciones paleoclimáticas y paleoambientales. En particular, fue preciso dar sustento empírico para cumplir con dos de los supuestos del principio del actualismo: a) que la distribución y composición de las asociaciones fitolíticas actuales y fósiles (y de la vegetación productora) está en equilibrio con el clima; b) que es posible establecer estimaciones cuantitativas que relacionen el registro fitolítico con las variables climáticas de interés.

En este sentido, es preciso tener en cuenta que la configuración actual de los pastizales es el resultado de dos factores principales: 1) el clima (humedad y temperatura) y 2) las perturbaciones (herbivoría, fuego, introducción de especies exóticas). A nivel local, distintos factores como la topografía, el desarrollo edáfico, etc., aportan un mayor grado de variabilidad (Smith y White 2004). En el caso del Uruguay, el impacto antrópico sobre las pasturas nativas – principalmente por la introducción del ganado doméstico – ha modificado en forma significativa la estructura de la comunidad de pastizal (Altesor et al. 2005) haciendo que su composición, estructura y funcionamiento ecosistémico no se hallen en equilibrio natural con el clima.

Buscando alternativas ante estas limitantes y procurando ratificar los atributos de los silicofitolitos como indicadores paleobotánicos (en relación a taxonomía, sensibilidad climática y sensibilidad ambiental), en primer término se llevaron a cabo análisis comparativos en 80 gramíneas nativas y naturalizadas de la región. A partir de la abundancia relativa de los morfotipos de células cortas registrados en las distintas especies de gramíneas, se efectuaron análisis discriminantes a dos niveles: 1) taxonómico: para determinar la capacidad de discriminar entre subfamilias o tribus; 2) funcional: discriminación de especies C_3 versus C_4 . El primer análisis demostró que es posible diferenciar, a partir de la relación de abundancia de células cortas silicificadas de gramíneas, grupos taxonómicos a nivel de subfamilia y tribu (Figura 2). También fue 100% exitosa la clasificación de las especies de acuerdo a su mecanismo fotosintético, denotando que los morfotipos de células cortas son efectivos en la discriminación de grupos funcionales a esta escala (Figura 2).

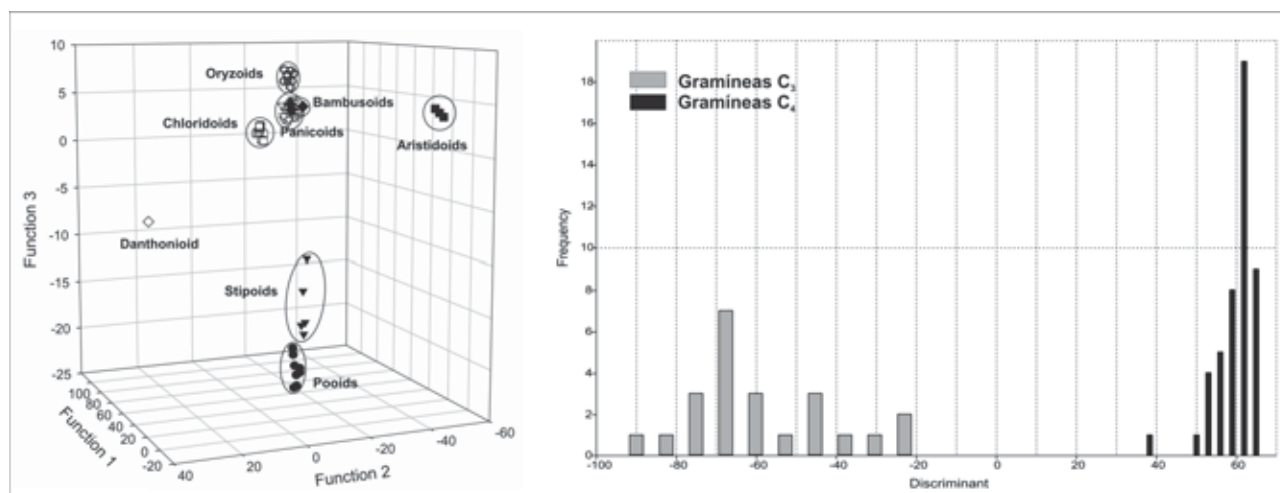


Figura 2. Representación gráfica del resultado del análisis discriminante a partir de la relación de células cortas de gramíneas. Izquierda, gráfico de los tres primeros factores con identificación de los principales grupos taxonómicos (tribus). Derecha, diferenciación de gramíneas en relación a su mecanismo fotosintético.

En forma complementaria, se efectuaron análisis fitolíticos en sedimentos superficiales (0-5 cm) de 21 parcelas con más de 10 años de exclusión de ganadería en un gradiente latitudinal (31° a 36° S) y bajo distintas condiciones de clima, suelo e historia de uso (Tabla 1). Se cotejó estadísticamente la relación entre los resultados obtenidos a nivel taxonómico y funcional a partir de las células cortas de gramíneas con la información climática existente para cada localidad y parcela bajo exclusión analizada. La información climática fue obtenida de la base www.worldclime.org, con una resolución espacial de 1km (Hijmans et al. 2005). Estos análisis permitieron demostrar que los grupos taxonómicos y funcionales identificables mediante el análisis fitolítico, son relevantes para la reconstrucción paleoambiental. En este sentido, si bien al interior de las localidades de estudio se hallaron diferencias entre las asociaciones de parcelas ubicadas sobre distintos suelos, se halló una buena correlación entre algunos grupos de gramíneas, los índices climáticos propuestos por Twiss (1992) y la relación C_3/C_4 reconstruida a partir de los silicofitolitos, con distintas variables climáticas a lo largo del gradiente latitudinal sobre el que se ubican las parcelas (Tabla 2).

Análisis de silicofitolitos en testigos paleolimnológicos

Desde hace más de una década diferentes líneas de investigación han confluído en los registros de las lagunas litorales del Uruguay. Estos ambientes constituyen rasgos de paisaje de corta vida y presentan, en costas y fondos, registros geológicos, geomorfológicos y bióticos detallados de las condiciones a las cuales estuvieron sujetas durante su evolución: a) nivel marino (cambios climáticos globales); b) salinidad (continente/océano); c) temperatura y pluviosidad (clima regional). Esto las convierte en ambientes de gran potencial para la obtención de distintos registros que permiten reconstruir las variables paleoambientales que condicionan su conformación, evolución y configuración actual.

En el sudeste de Uruguay, registros *proxies* obtenidos de 14 testigos sedimentarios tomados en fondo y costas de nueve lagunas costeras (Figura 1) han contribuido a la construcción de un modelo regional de evolución paleoclimática y paleoambiental para el Holoceno. En cada testigo sedimentario se analizaron conjuntamente diversos registros biológicos, geoquímicos y sedimentológicos, a los fines de obtener información referente a la variabilidad climática y ambiental durante el Holoceno. Dentro del conjunto de indicadores biológicos, los silicofitolitos representaron un rol central para el

Tabla 1. Información referente a las parcelas bajo exclusión ganadera utilizadas en el análisis.

Exclusión	Latitud	Longitud	Parcela	Tipo de Suelo	MO	pH	Rocas	% Arena	% Limo	% Arcilla
PAL	31°49'60.00"	58°16'60.00"	A	Profundo	2,96	5,5	1,07	69,00	14,38	16,62
			B	Profundo	1,82	5,6	0,60	71,00	12,72	16,28
			C	Profundo	6,28	5,2	1,20	69,00	19,33	11,67
Glencoe	32° 0'0.00"	57° 7'60.00"	C94	Profundo	7	5,4	4,39	15,24	41,68	43,08
			C84	Superficial	6,42	5,6	11,37	25,06	37,43	37,50
			C84 layado	Superficial	4,64	5,6	8,02	25,82	42,20	31,98
Quebrada	32°55'36.66"	54°27'15.36"	S1	Superficial	5,33	4,8	40,80	13,81	40,55	45,62
			S2	Profundo	5,58	4,8	1,46	6,12	49,94	46,94
			S3	Superficial	5,23	4,75	3,38	16,15	34,53	49,32
			S4	Superficial	5,48	4,95	49,40	20,37	42,15	37,47
SUL	33°52'0.00"	55°32'60.00"	A	Profundo	3,65	5,3	3,84	34,61	44,43	20,97
Relincho	34°19'0.00"	57° 1'60.00"	Nandú Sur	Superficial	5,02	5,6	4,00	31,00	43,20	25,80
			Blanqueal	Profundo	3,2	5,6	2,17	26,00	54,86	19,14
			Don Julio	Superficial	2,57	5,6	9,54	45,91	30,96	23,13
			Bonilla	Profundo	3,05	5,6	5,70	22,00	52,80	25,20
			Corral Casa	Profundo	4,74	5,55	0,73	35,00	41,94	23,06
			Los Zorros	Profundo	4,98	5,4	2,60	44,00	33,73	22,27
San Claudio	35°56'32.14"	61°12'9.73"	6	Profundo	4,18	6,2	0,00	53,67	23,17	23,17
			7	Profundo	2,75	6,2	0,00	56,74	23,60	19,67
Chilcas	36°30'0.00"	58°30'0.00"	B	Profundo	5,62	6,2	0,00	25,00	48,59	26,41
			C	Profundo	5,7	6,2	0,00	23,00	54,94	22,06

abordaje de los cambios en la vegetación generados en las cuencas de los sistemas lacustres, atribuibles a variaciones climáticas y ambientales a mayor escala.

A partir de esos *proxy records* se ha aumentado el conocimiento sobre la historia de esos cuerpos de agua (García-Rodríguez et al. 2010; Inda et al. 2006), sobre las variaciones relativas regionales del nivel del mar, para el Holoceno (Bracco et al. 2011b) y sobre la historia climática regional (Bracco et al. 2011a; del Puerto et al. 2011, 2013ayb; Inda et al. 2006).

El registro paleoclimático del Holoceno comienza con la transgresión marina que da origen precisamente a la formación de las lagunas costeras (Bracco et al. 2011b). El análisis integrado de la información generada ha permitido ensayar un modelo de evolución paleoambiental para el Holoceno medio y tardío en la región:

- **7.000-5.000 a¹⁴C AP.** Durante este periodo el mar creció hasta superar el nivel actual entre 4 y 5 metros (Bracco et al. 2011b). Este evento, conocido como Máximo Transgresivo del Holoceno, fue acompañado por condiciones climáticas más cálidas y húmedas (del Puerto et al. 2011). Como consecuencia de un nivel de base alto se generaron bañados salobres y marismas en las

Tabla 2. Correlación de Pearson entre variables bioclimáticas, abundancia relativa de los principales grupos taxonómicos identificados mediante el análisis fitolítico e índices climáticos calculados a partir de la relación de células cortas. Se destacan las correlaciones estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Variables bioclimáticas	Grupos taxonómicos e índices								
	Danth.	Arist.	Poeae - Aveneae	Androp. - Panic.	Chlor. - Eragr.	Stip.	IH	IT	C3:C4
Temperatura (t°) media anual	-0,65	0,79	-0,49	0,04	-0,11	0,66	-0,15	-0,73	-0,74
Estacionalidad en la t°	0,18	-0,11	-0,23	-0,12	0,84	-0,73	0,93	-0,40	-0,30
T° estación húmeda	0,11	0,36	-0,24	-0,37	0,69	-0,47	0,83	-0,26	-0,26
T° media estación seca	0,00	-0,09	0,08	0,46	-0,65	0,83	-0,84	0,09	0,14
T° estación cálida	-0,69	0,86	-0,57	0,01	0,13	0,48	0,12	-0,48	-0,66
T° media estación fría	-0,58	0,76	-0,36	0,03	-0,25	0,71	-0,30	-0,20	-0,38
Precipitación (pp) media anual	-0,34	0,44	-0,16	0,36	-0,46	0,90	-0,62	-0,12	-0,21
Estacionalidad en pp	-0,04	-0,10	-0,43	-0,05	0,81	-0,61	0,89	-0,56	-0,46
Pp estación húmeda	-0,50	0,61	-0,72	0,33	0,18	0,67	0,07	-0,73	-0,76
Pp estación seca	-0,13	0,26	0,18	0,24	-0,67	0,79	-0,81	0,25	0,16
Pp estación cálida	-0,39	0,56	-0,82	0,17	0,47	0,39	0,43	-0,83	-0,82
Pp estación fría	-0,15	0,14	0,20	0,34	-0,71	0,79	-0,87	0,24	0,17

zonas bajas y empezó el desarrollo de las lagunas costeras, a partir de entonces golfos o ensenadas abiertas al mar. La vegetación dominante era de praderas invernales y estivales, con buen desarrollo de comunidades hidrófilas, halófilas y palmares. Con un nivel de base más alto y el mar invadiendo las zonas bajas, la obstrucción de los drenajes habría generado extensos bañados de agua dulce en las planicies de cotas más altas (Bracco et al 2012).

- **5.000-2.500 a¹⁴C AP.** El mar comenzó a descender, dando lugar a la conformación de extensos bañados salobres en las planicies bajas y al paulatino cierre de las lagunas costeras (García-Rodríguez et al. 2010). Este descenso se produce junto con una disminución de la temperatura y precipitaciones menores y/o más estacionales, con déficit en el periodo estival. La disminución/estacionalidad de las precipitaciones habría llevado a la concentración de sales en las planicies bajas, demorando el desarrollo de los humedales y lagunas dulceacuícolas. Los bañados de zonas altas debieron permanecer inundados al menos una parte del año debido a que los drenajes aún no estaban desarrollados plenamente.
- **2.500-200 a¹⁴C AP.** Durante este periodo el clima y el nivel del mar fueron aproximándose a su condición actual, aunque con oscilaciones menores (Bracco et al 2011b). El clima comenzó a estabilizarse, instaurándose condiciones similares a las actuales hacia el 2000 a¹⁴C AP. El retroceso del nivel del mar y el incremento en las precipitaciones habrían favorecido el lavado de las sales con la consecuente expansión y dulcificación de los bañados de cota baja y las lagunas costeras. Por contraste, los humedales de cotas altas comenzaron a retroceder, debido a la desobstrucción de los drenajes por la disminución del nivel de base. Esto, junto al aumento en las precipitaciones, llevó al encaje de cursos principales y a la captura de sistemas hídricos menos competentes, afectando considerablemente la carga hídrica de estas zonas (Bracco et al. 2012). A pesar de la estabilización general del ambiente

para este periodo, el clima mostró dos pulsos importantes en el último milenio. Entre el 1.500-1.000 a14C AP se registra una fase más cálida y húmeda, asimilables a la Edad Cálida Medieval (del Puerto et al. 2011a). Habría estado acompañado por cambios en la vegetación, denotados por el mayor desarrollo de la vegetación arbórea, hidrófila y pastizales estivales (del Puerto et al. 2011). El segundo pulso, que alcanza el periodo histórico, se conoce como la Pequeña Edad de Hielo y se caracterizó por condiciones más frías y secas. Se desarrolló entre el 1.500 y el 1.900 AD (del Puerto et al. 2013a).

Estimaciones cuantitativas de los cambios climáticos holocenos

Las reconstrucciones paleoambientales para el Holoceno en la región de los Pastizales del Río de la Plata han sido mayormente de carácter cualitativo, presentando modelos de amplios rangos climáticos (como “templado”, “sub-húmedo”, “tropical”) o denotando cambios en relación con periodos previos o sucesivos (condiciones “más secas”, “más cálidas”, etc.). En respuesta a esta situación, recientemente se ha comenzado a explorar la posibilidad de establecer, a partir del análisis fitolítico, estimaciones cuantitativas de los cambios ambientales para el Holoceno tardío en el sudeste uruguayo. Para ello, en primer lugar se llevó a cabo la calibración fitolitos-clima actual, relevando la distribución y abundancia de ciertos taxones en relación a variables climáticas de interés, a lo largo de un gradiente latitudinal y tratando de abarcar distintas condiciones climáticas y ambientales. Para ello se utilizaron principalmente las bases de datos de las parcelas bajo exclusión ganadera, a las que se incorporaron muestras superficiales de distintos sistemas límnicos estudiados en distintas partes del país y la región, con la finalidad de ampliar el rango climático-ambiental y, por ende, la cantidad de análogos potenciales. Los modelos de calibración silicofitolitos-clima resultaron óptimos para temperatura media anual (r^2 0,797), temperatura media de la estación fría (r^2 0,776) y precipitación en la estación húmeda (r^2 0,7782) (Figura 3).

Posteriormente, se reconstruyeron los cambios cuantitativos de aquellas variables climáticas para las que el modelo de calibración resultó óptimo, efectuando una sustitución “tiempo por espacio” (Jackson y Williams 2004) al aplicar la técnica del Análogo Moderno (Birks et al. 2010) a las asociaciones fósiles de tres testigos paleolimnológicos de alta resolución para el Holoceno tardío: LP1-2 (Laguna de Peña), LBI1 (Laguna Blanca) y LN3 (Laguna Negra). Sobre estos mismos testigos se llevaron a cabo análisis de la composición isotópica de la materia orgánica, como una vía independiente de intercalibrar la señal $C_3:C_4$ de los fitolitos con la señal $\delta^{13}C$ de la materia orgánica. En los sectores de cada registro con mayor aporte de la cuenca, se halló una alta correspondencia entre las variables climáticas reconstruidas cuantitativamente, la relación $C_3:C_4$ de los fitolitos de células cortas de gramíneas y la señal $\delta^{13}C$ de la materia orgánica (Figura 4). Aplicando los modelos de calibración fitolitos-clima y la intercalibración fitolitos-isótopos, se generó un modelo de los cambios climáticos con énfasis en los últimos 1500 años, identificando tres principales periodos. El más antiguo, que se extendió hasta el 700 AD, estuvo caracterizado por condiciones templadas y húmedas. Un segundo periodo, que alcanzó el 1200 AD, se caracterizó por condiciones cálidas y húmedas, siendo correlacionable con el Periodo Cálido Medieval (del Puerto et al. 2013a). El último periodo, que se extiende hasta tiempos recientes, se caracteriza por una alta variabilidad. En su interior se registraron tres fases sub-húmedas y templadas a frías, con sus máximos entorno al 1300, 1600 y 1900 AD, pudiendo corresponder a los pulsos máximos de la Pequeña Edad de Hielo (del Puerto et al. 2013 a y b).

En conjunto, la información generada mediante la combinación de estudios comparativos, estimaciones cuantitativas a partir de modelos de calibración fitolitos-clima y la aplicación al análisis multi-proxy de registros paleoambientales de alta resolución, sustenta y reafirma el potencial de los silicofitolitos como indicadores paleoambientales en ecosistemas de pastizales templados.

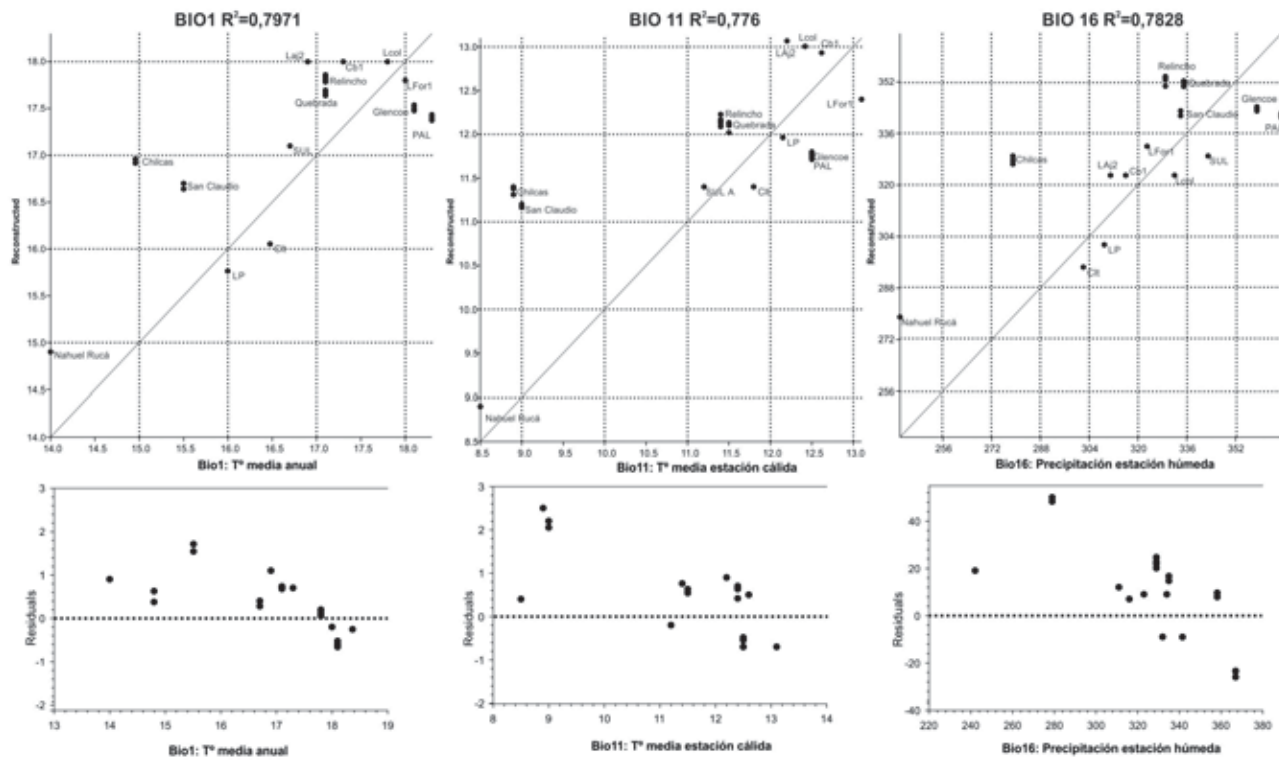


Figura 3. Modelos de calibración fitolitos-clima. Arriba, gráficos de dispersión de valores observados versus estimados. Debajo, gráficos de dispersión de valores residuales versus observados.

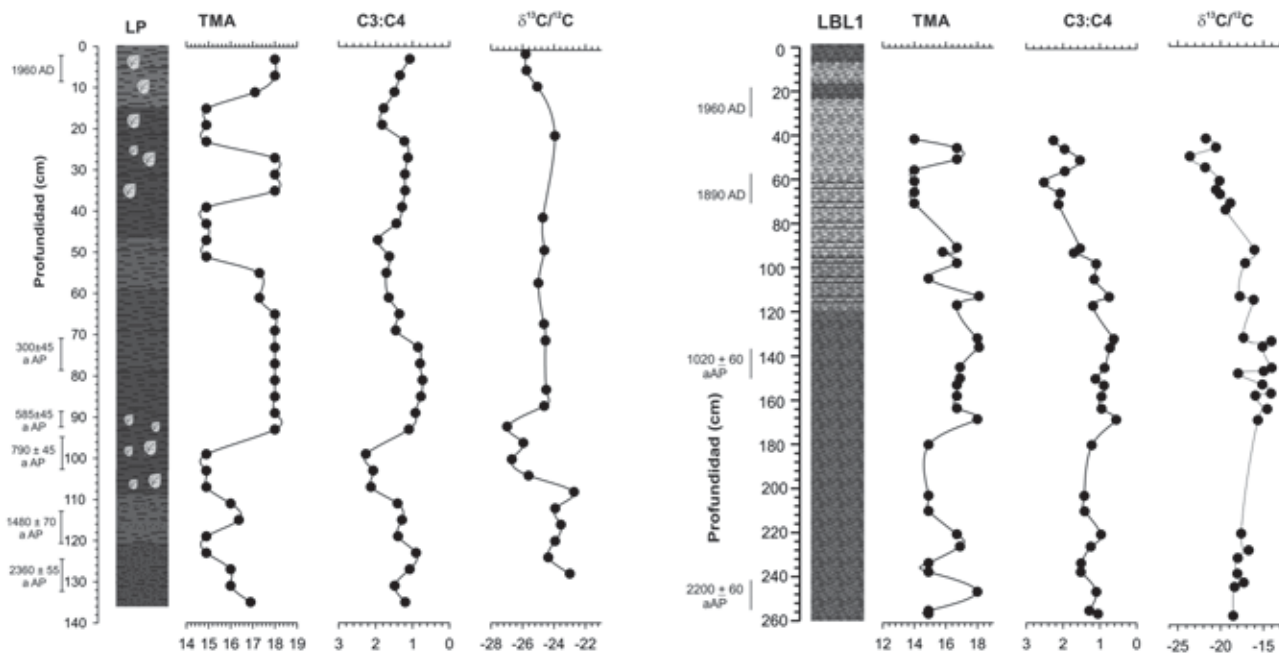


Figura 4. Distribución vertical de valores de temperatura media anual (TMA) reconstruida, relación C3:C4 estimada a partir de células cortas silicificadas de gramíneas y $\delta^{13}\text{C}$ de la materia orgánica para el testigo LP y el sector superior del testigo LBL1.

Referencias

- Altesor, A., M. Oesterheld, E. Leoni, F. Lezama & C. Rodríguez. 2005. Effect of grazing on community structure and productivity of a Uruguayan grassland. **Plant Ecology** 179: 83-91
- Baker, R.G., G.G. Fredlund, R.D. Mandel & E.A. Bettis III. 2000. Holocene environments of the central Great Plains: multi-proxy evidence from alluvial sequences, southeastern Nebraska. **Quaternary International** 67: 75-88
- Birks, H.J.B., Heiri, O., Seppa, H. & Bjune, A.E. 2010. Strengths and weaknesses of quantitative climate reconstructions based on Late-Quaternary biological proxies. **Open Ecology Journal** 3, 68-110
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H., Capdepon, I., Panario, D. & García-Rodríguez, F. 2012: Evolución ambiental y constructores de cerritos en la región de India Muerta. Un replanteo. **Actas de las III Jornadas del Cenozoico del Uruguay**, Trabajo 047, 6pp. Montevideo.
- Bracco, R., del Puerto, L., Inda, H., Panario, D., Castiñeira, C. & García-Rodríguez, F. 2011a: Relationship between climate change and the emergence of moundbuilders in SE Uruguay: new opal phytolith evidences from sediment cores. **Quaternary International** 245: 62-73.
- Bracco, R., F. García-Rodríguez, H. Inda, L. del Puerto, C. Castiñeira & D. Panario. 2011b. Niveles Relativos del Mar Durante el Pleistoceno Final – Holoceno en la Costa del Uruguay. En: F. García-Rodríguez (Comp.) **El Holoceno en la Zona Costera del Uruguay**. UCUR-UdelR, Montevideo, p.: 65 – 94.
- del Puerto, L., R. Bracco, H. Inda, O. Gutiérrez, D. Panario & F. García-Rodríguez. 2013a. Assessing links between late Holocene climate change and paleolimnological development of Peña Lagoon using opal phytoliths, physical and geochemical proxies. **Quaternary International** 287:89-100.
- del Puerto, L.; García-Rodríguez, F; Bracco, R.; Inda, H.; Capdepon, I; Castiñeira, C.; Blasi, A; Fort, H. & Mazzeo, N. 2013b. Historia ambiental y dinámica cultural para el Holoceno medio y tardío en el este del Uruguay. **En_Clave Inter. Procesos, contexto y resultados del trabajo interdisciplinario**: 99-110. El-UdelAR.
- del Puerto, L., García-Rodríguez, F., Bracco, R., Blasi, A., Inda, H., Mazzeo, N. & Rodríguez, A. 2011: Evolución Climática Holocénica para el Sudeste del Uruguay: Análisis Multi-Proxy en Testigos de Lagunas Costeras. En: F. García-Rodríguez (Comp.): **El Holoceno en la Zona Costera del Uruguay**. UCUR-UdelAR, Montevideo, p.: 119 – 156.
- Fernández Honaine, M.F., A. Zucol & M. Osterrieth. 2006. Phytolith Assemblages and Systematic Associations in Grassland Species of the South-Eastern Pampean Plains, Argentina. **Annals of Botany** 98: 1155–1165.
- Fredlund, G.G. & L.L. Tieszen. 1997. Phytolith and Carbon Isotope Evidence for Late Quaternary Vegetation and Climate Change in the Southern Black Hills, South Dakota. **Quaternary Research** 47: 206-217.
- Gallego, L. & R. Distel. 2004. Phytolith Assemblages in Grasses Native to Central Argentina. **Annals of Botany** 94: 865-874.
- García-Rodríguez, F; Stutz, S; Inda, H.; del Puerto, L.; Bracco, R.; Panario. 2010. A multiproxy approach to infer Holocene paleobotanical changes linked to sea-level variation, paleosalinity levels and shallow lake alternative states in Negra Lagoon, SE Uruguay. **Hydrobiologia**, 646 (1): 5-20.
- García-Rodríguez, F., L. del Puerto, C. Castiñeira, H. Inda, R. Bracco, P. Sprechmann, & B.W. Scharf. (2001). Preliminary Paleolimnological Study of Rocha Lagoon, SE Uruguay. **Limnologica** 31: 221 – 228.
- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology** 25: 1965-1978.
- Inda, H.; García-Rodríguez, F; del Puerto, L.; Acevedo, V; Metzeltin, D; Castiñeira, C.; Bracco, R.; Adams, J.B. 2006. Relationships between trophic state, paleosalinity and climatic changes during the first Holocene marine transgression in Rocha Lagoon, southern Uruguay. **Journal of Paleolimnology**, v. 35, p. 699-712.
- Iriarte, J, y E. Alonso. 2009. Phytolith analysis of selected native plants and modern soils from southeastern Uruguay and its implications for paleoenvironmental and archeological reconstruction. **Quaternary International** 193:99–123.



- Smith, F.A. & J. W.C. White. (2004). Modern calibration of phytolith carbon isotope signatures for C3/C4 paleograssland reconstruction. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology** 207: 277-304.
- Twiss, P. C. (1992). Predicted world distribution of C3 and C4 grass phytoliths. En: **Advances in Archaeology and Museum Science 1**: Phytolith Systematics. Emerging Issues. Rapp, G. Jr. & S. C. Mulholland (eds.): 113-128. Plenum Press, New York.
- Zucol AF. 1998. Microfitolitos de las Poaceae Argentinas: II. Microfitolitos foliares de algunas especies del género Panicum (Poaceae, Paniceae), en la provincia de Entre Ríos. **Darwiniana** 36:29-50.
- Zucol AF. 2000. Fitólitos de poaceae de argentinas: III. Fitólitos foliares de especies del género Paspalum (Paniceae), en la Provincia de Entre Ríos. **Darwiniana** 38: 11-32.
- Zucol AF. 2001. Fitólitos III. Una nueva metodología descriptiva. Asociaciones fitolíticas de Piptochaetium montevidense (Stipeae, Poaceae). **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica** 36:69-85.