



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY



**PEDECIBA**  
Geociencias

Facultad de Ciencias, Universidad de la República  
PEDECIBA Geociencias  
Tesis de Maestría

---

**GEODIVERSIDAD Y PATRIMONIO GEOLÓGICO EN EL NORTE DE  
URUGUAY: ANÁLISIS PROSPECTIVO**

---

Autor: Camila Salles Viana

Orientador: Prof. Dr. César Alejandro Goso Aguilar

Agosto, 2023.

Montevideo, Uruguay

## **Agradecimientos**

Agradezco sinceramente a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de esta tesis de maestría.

En primer lugar, deseo expresar mi profunda gratitud a mi orientador académico, el Dr. César Goso, por su orientación experta, su apoyo constante y su inestimable asesoramiento a lo largo de todo el proceso. Su dedicación, empatía y conocimientos han sido fundamentales para el éxito de este trabajo.

Quiero hacer una mención especial a Analía Fein, quien estuvo siempre presente y dispuesta a ayudarme y guiarme durante mi trayectoria en el programa de maestría. Su atención y apoyo fueron de gran importancia para el desarrollo de este trabajo.

También quiero expresar mi profundo agradecimiento al Hotel Casino San Eugenio y a la Posada del Minero por su compromiso con el proyecto y su valioso apoyo en las salidas de campo. Su disposición, hospitalidad y colaboración fueron fundamentales para la recopilación de datos y el desarrollo de esta tesis.

Agradezco sinceramente a la Comisión Académica de Posgrado (CAP) y a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII) por el financiamiento parcial otorgado para la realización de este proyecto. Sin su apoyo económico, esta investigación no habría sido posible.

Agradezco a los doctores Rossana Muzio, Matías Soto y José Bernardo Rodrigues Brilha por sus comentarios sobre mi trabajo y por aceptar formar parte del comité examinador del mismo.

No puedo dejar de agradecer a mi familia y a mi compañero, Lucas Santana, por su inmenso apoyo durante todo este proceso. Su amor, comprensión y aliento fueron vitales para superar los desafíos y lograr la culminación de este proyecto.

Finalmente, quiero agradecer a todos aquellos que, de alguna manera, contribuyeron a la realización de esta tesis y a mi formación como investigadora. Su apoyo, consejos y comentarios constructivos fueron invaluable.

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Presentación.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	Objetivo general .....	3
1.2.2	Objetivos específicos .....	3
1.3	Justificativa .....	4
1.4	Metodología de trabajo .....	5
1.5	Área de estudio y vías de acceso .....	5
1.6	Organización de la tesis .....	6
2	MARCO TEÓRICO.....	8
2.1	Definiciones clave.....	8
2.1.1	Geodiversidad .....	8
2.1.2	Patrimonio geológico (geopatrimonio).....	9
2.1.3	Geoconservación .....	12
2.1.4	Geoturismo.....	12
2.1.5	Geoparques .....	12
2.2	Antecedentes sobre el estudio de la geodiversidad, patrimonio geológico y estrategias de geoconservación.....	13
2.2.1	Geoparques Mundiales UNESCO: histórico y proceso de adhesión.....	17
2.2.2	Red Latinoamericana y del Caribe de Geoparques .....	19
2.3	Antecedente nacional: Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio .....	21
2.4	Proyecto Geoparque Minero Botucatu: sus orígenes y presente. ....	22
2.5	Antecedentes en las proximidades del área de estudio.....	23
2.6	Visión general de las políticas de preservación del Patrimonio Natural en Uruguay	24
3	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	28
3.1	Sobre los departamentos del Proyecto Geoparque Minero Botucatu .....	28
3.1.1	Artigas.....	28
3.1.2	Rivera.....	29
3.1.3	Tacuarembó.....	31
3.2	Clima .....	31
3.3	Geomorfología .....	33
3.4	Hidrografía.....	34
3.5	Contexto Geológico Regional .....	35

3.5.1	Cuenca Norte Uruguay (Cuenca Chacoparanaense).....	36
3.5.1.1	Secuencia Devónica.....	38
3.5.1.2	Secuencia Permo-Eotriásica .....	38
3.5.1.3	Secuencia Juro-Eocretácica .....	39
3.5.1.4	Secuencia Eocretácica pos-basáltica .....	40
3.5.2	Cobertura Cenozoica .....	40
3.6	Contexto geológico local.....	40
3.6.1	Basamento: Isla Cristalina de Rivera (ICR).....	41
3.6.1.1	Historia de la minería en la ICR.....	42
3.6.2	Rocas sedimentarias de la Secuencia Permo-Eotriásica.....	43
3.6.3	Formación Tacuarembó .....	45
3.6.4	Formación Arapey.....	47
3.6.4.1	Mineralización de ágatas y amatistas.....	49
3.6.5	Cobertura cenozoica .....	50
3.6.5.1	Formación Sopas .....	51
3.7	Sistema Acuífero Guaraní .....	53
4	METODOLOGÍA.....	55
4.1	Inventario de geositos y sitios de geodiversidad.....	55
4.1.1	Etapa 1: Recopilación de antecedentes bibliográficos, cartográficos y documental.....	57
4.1.2	Etapa 2: Salidas de campo y análisis cualitativo.....	59
4.1.3	Etapa 3: Caracterización de la lista final de geositos y sitios de geodiversidad	60
4.1.4	Etapa 4: Evaluación cuantitativa .....	66
4.1.4.1	Evaluación cuantitativa del valor científico (VC).....	66
4.1.4.2	Evaluación cuantitativa del potencial uso educativo (PUE) y potencial uso turístico (PUT).....	69
4.1.4.3	Evaluación del riesgo de degradación (RD) .....	75
4.1.5	Etapa 5: Clasificación.....	77
5	RESULTADOS .....	79
5.1	Caracterización de los geositos y sitios de geodiversidad.....	79
5.1.1	Categorías temáticas .....	80
5.2	Descripción de los geositos y sitios de geodiversidad .....	85
5.2.1	Mineralizaciones Metálicas Precámbricas.....	85
5.2.2	Cuencas Gondwánicas .....	88

5.2.3	Magmatismo Mesozoico .....	103
5.2.4	Megafauna Pleistocena.....	116
5.2.5	Unidades Geomorfológicas y Formas de Relieve .....	121
5.2.6	Sistema Acuífero Guaraní .....	147
5.3	Evaluación cuantitativa .....	150
5.3.1	Valor científico.....	150
5.3.2	Potencial uso educativo y turístico .....	150
5.3.3	Riesgo de degradación (RD).....	152
5.3.4	Clasificación.....	154
6	DISCUSIONES.....	156
6.1	Análisis crítico de la evaluación cuantitativa.....	156
6.1.1	Valor científico.....	156
6.1.2	Potencial uso educativo .....	158
6.1.3	Potencial uso turístico .....	159
6.1.4	Riesgo de degradación .....	161
6.2	Sobre las clasificaciones y prioridades de protección.....	163
6.3	Sobre el potencial del área para convertirse en un Geoparque.....	165
7	CONCLUSIONES.....	166
	REFERENCIAS .....	170

## RESUMEN

La geodiversidad desempeña un importante papel como sustento del medio biótico, enfrentando amenazas naturales y antropogénicas, lo cual hace necesario establecer estrategias para su conservación. Dado que no es posible proteger todos los elementos de la geodiversidad, se llevan a cabo estudios sistemáticos para identificar los elementos más relevantes en un territorio determinado, otorgando especial importancia a las localidades que poseen valor científico, conocidas como geositios.

En el periodo comprendido entre 2020 y 2023, se realizó el primer inventario del patrimonio geológico y de la geodiversidad de manera sistemática en la región norte de Uruguay, abarcando parte de los departamentos de Artigas, Rivera y Tacuarembó. El objetivo de este inventario fue identificar y seleccionar localidades representativas que albergan los registros más destacados relacionados con la evolución geológica de esta área.

Para lograrlo, se llevaron a cabo investigaciones bibliográficas, entrevistas con expertos en conservación geológica, operadores turísticos, se realizaron salidas de campo, descripciones petrográficas y evaluaciones cuantitativas de su valor científico, potencial uso educativo, potencial uso turístico/recreativo y de su riesgo de degradación. Como resultado de este inventario se identificaron 3 geositios de relevancia internacional, 3 geositios de relevancia nacional y 14 sitios de geodiversidad de relevancia nacional que presentan el aporte científico necesario para que el proyecto geoparque Minero Botucatú se postule como un Geoparque Mundial de la UNESCO en un futuro.

Este proyecto ha generado una base de datos que servirá como guía para futuras acciones para la gestión territorial y el geoturismo, así como para la definición e implementación de políticas para la conservación de sitios emblemáticos.

Palabras clave: Geodiversidad, Geoconservación, Patrimonio Geológico, Norte de Uruguay.

## **ABSTRACT**

Geodiversity plays an important role as the foundation of the biotic environment, facing both natural and anthropogenic threats, which necessitates the establishment of strategies for its conservation. Given that it is not possible to protect all elements of geodiversity, systematic studies are carried out to identify the most relevant elements in a specific territory, placing special importance on locations of scientific value, known as geosites.

During the period between 2020 and 2023, the first systematic inventory of geological heritage and geodiversity was conducted in the northern region of Uruguay, encompassing parts of the Artigas, Rivera, and Tacuarembó departments. The objective of this inventory was to identify and select representative locations housing the most prominent records related to the geological evolution of this area.

To achieve this, bibliographic research, interviews with experts in geological conservation, tour operators, field trips, petrographic descriptions, and quantitative evaluations of their scientific value, potential educational use, potential tourism/recreational use, and risk of degradation were conducted. As a result of this inventory, 3 geosites of international relevance, 3 geosites of national relevance, 14 geodiversity sites of national relevance, all of which provide the necessary scientific contribution for the Geoparque Minero Botucatu project to potentially apply for UNESCO Global Geopark status in the future.

This project has generated a database that will serve as a guide for future actions in territorial management and geotourism, as well as for the definition and implementation of policies for the conservation of emblematic sites.

Keywords: Geodiversity, Geoconservation, Geological Heritage, Northern Uruguay.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Mapa de ubicación del proyecto Geoparque Minero Botucatu con destaque para los departamentos de Tacuarembó (verde), Artigas (azul) y Rivera (rojo).....	6
Figura 2-1: Marco conceptual de la geodiversidad y el geopatrimonio, teniendo en cuenta el alcance de la geoconservación (Brilha, 2016).....	11
Figura 2-2: Folleto informativo del taller de divulgación del proyecto Geoparque Minero Botucatu con el logo del proyecto (Arte gráfica: Gextuy, 2021).....	23
Figura 3-1: Variables Climáticas en Uruguay (a) Temperatura media anual. (b) Precipitación media anual (INUMET).....	32
Figura 3-2: Mapa de las regiones geomorfológicas de Uruguay con el área del proyecto Geoparque Minero Botucatu en destaque en rojo (Adaptado de Panario, 1988 en Silveira, 2014) .....	33
Figura 3-3: Cerros chatos o cerros testigos presentes en el área de estudio.....	34
Figura 3-4: Mapa con los cursos de agua y el área destacada de las cuencas Río Uruguay y Río Negro. ....	34
Figura 3-5: (a) Mapa geológico esquemático de Sudamérica con destaque para la Isla Cristalina de Rivera (Modificado de Schobbenhaus <i>et al.</i> , 2003 en Aboy, 2016) y (b) cuencas intracratónicas paleozoicas de Basamento Precámbrico sudamérica con destaque de la porción uruguaya de la Cuenca Paraná, la Cuenca Norte (modificado de Milani y Zalán, 1998 en Soto, 2014). .....	35
Figura 3-6: Mapa geológico simplificado de la Cuenca Norte (modificado de Perea <i>et al.</i> (2009) en Soto 2014) y columna estratigráfica de la Cuenca Norte. (modificado de De Santa Ana <i>et al.</i> (2006) en Marmisolle (2015).....	37
Figura 3-7: Mapa geológico resaltando el contorno del proyecto Geoparque Minero Botucatu y las unidades geológicas que afloran en esta área. Escala 1:500.000. ....	41
Figura 3-8: Columna estratigráfica generalizada de la Formación Tacuarembó. Flechas indican el rumbo de paleoflujos eólicos y acuáticos (Perea <i>et al.</i> , 2009) .....	47
Figura 3-9: Carta geológica simplificada del Uruguay, con la Fm. Arapey, las intrusivas básicas asociadas y el Distrito Gemológico Los Catalanes (adaptado de Techera <i>et al.</i> , 2007).....	50
Figura 3-10: Mapa de ubicación de las porciones es del acuífero guaraní confinado, aflorante y de las ventanas con destaque del área del proyecto GMB. ....	54
Figura 4-1: Ficha de caracterización basada en el método de Brilha (2016), tipologías propuestas por SIGEP (2002) y tipos de sitio (Nascimento <i>et al.</i> 2021). ....	65
Figura 5-1: Mapa geológico del área de estudio, del contorno del proyecto GMB, del área protegida Valle del Lunarejo, y de ubicación de los geositos y sitios de geodiversidad. ....	82
Figura 5-2: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Bocamina Ernestinita.....	85
Figura 5-3: (a) Vista panorámica del relieve en el área de la bocamina (la entrada está destacada por la flecha roja); (b) cartel informativo en la entrada de la bocamina; (c) detalles de los primeros 50 m del túnel y (d) de la porción más interna de la bocamina. ....	86

Figura 5-4: (a) Vista panorámica de la roca caja de la mineralización; (b) Vista en detalle del aspecto verdoso del granito - alteración hidrotermal; (c) Vista del filón de cuarzo de aproximadamente 20 cm de ancho por 2 m de largo y (d) detalle del granito leucocrático.....	87
Figura 5-5: (a) Vista en detalle de muestra de mano de la Bocamina Ernestinita; (b1) Fotomicrografía de la roca en NP y (b1) NX, (c) detalle de la plagioclasa alterada a sericita y (d) apatitas. Roca caja con alteración hidrotermal. ....	88
Figura 5-6: Mapa de ubicación de las localidades en las cuales fueron levantados los perfiles (flechas rojas). Pin amarillo indica la coordenada UTM de referencia.....	89
Figura 5-7: (a) y (b) Vistas en detalle de areniscas de la Formación Tacuarembó en afloramientos de la ruta 59; (c) Facies areniscas macizas; (d) <i>Bonebed</i> de aproximadamente 3 cm de espesor; (e), (f) y (g) areniscas con fósiles.....	91
Figura 5-8: Perfil sedimentológico a escala 1:100 del Yacimiento Paleontológico Martinote (Mesa, 2016) ...	92
Figura 5-9: Mapa de ubicación de lo geosito Yacimiento Paleontológico Huellas de Dinosaurios de Cuchilla del Ombú (Nº3). El sitio de geodiversidad Paleodunas de Cuchilla del Ombú también aparece en la imagen (Nº4) (creado con el <i>software Google Earth pro</i> ). ....	93
Figura 5-10: Esquema que indica las dos localidades en que se descubrieron las pistas y huellas aisladas de dinosaurios presentes en el geosito (Modificado de Mesa & Perea, 2015). ....	95
Figura 5-11: (a) Vista de pista E1-E2 observadas en planta, con un estado de preservación muy pobre afectadas por la meteorización y el pasaje de máquinas y autos- terópodo; (b) Vista en detalle de la Huella D - terópodo; (c) parte de las pistas de la “Localidad I” observadas en planta, su estado de preservación es variable debido a que se hallan en más de un nivel; (d) reconstrucción de fotografías de la Pista A con (e) detalle de la huella A13 - saurópodo; y (f) huella tridáctila aislada interpretada como de una icnita ornitópoda (Fotografías obtenidas de Mesa (2012) Mesa & Soto (2015)). ....	96
Figura 5-12:(a) Vista panorámica de la estructura de metal construida para proteger las huellas; (b) detalle de la posición de las pistas A y B, las cuales están rodeadas por una cerca de alambre; (c) detalle del cartel informativo y (d) perfil de 40 cm de arenisca .....	97
Figura 5-13: Perfil estratigráfico en un pequeño corte del geosito mostrando la sucesión de facies de areniscas muy finas laminadas, intercaladas con areniscas finas bioturbadas (elaboración propia).....	98
Figura 5-14: (a) vista panorámica del afloramiento de areniscas en la Ruta 26 con estratificación entrecruzada alto ángulo, (b) vista en detalle de laminación horizontal (c) detalle de la gradación inversa intralámina y ripples (base línea punteada blanca; tope la flecha) (d) litofacies de areniscas finas con laminación horizontal deformada, posiblemente por acción de carga (Fotografías: César Goso) .....	99
Figura 5-15: Perfil estratigráfico del geosito Paleodunas de Cuchilla del Ombú (Gentileza: Adriano Domingo dos Reis).....	100
Figura 5-16: Reconstrucción paleoambiental esquemática para la Formación Tacuarembó (geositos indicados con flechas rojas: (1) Yacimiento Paleontológico Martinote y (2) Yacimiento Paleontológico Pisadas de Dinosaurios Cuchilla del Ombú (modificado de Mesa, 2016). ....	100
Figura 5-17: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Pilares de Klinger (creado con el <i>software Google Earth pro</i> ). ....	101
Figura 5-18: (a) vista panorámica de los pilares; (b) detalle de un pilar de unos 6 m de altura; (c) vista de la vulnerabilidad del sitio por crecimiento de especies de pinos entre los pilares: (d) pilar de 7 m de altura que muestra una intercalación de estratificaciones entrecruzadas y horizontales de areniscas rojizas; (e) vista	

en detalle de las estratificaciones entrecruzadas; (f) y (g) detalle de las areniscas medias a finas, cuarzo-feldespáticas, y rojizas.....	102
Figura 5-19: Perfil estratigráfico de una sección en Pilares de Klinger.....	103
Figura 5-20: (a) Mapa del Distrito Gemológico Los Catalanes con el punto rojo indicando la ubicación de la Mina Oliveira <i>Minerals</i> (generado por el visualizador Geominero DINAMIGE) y (b) imagen de satélite con detalle de la ubicación de la Mina Oliveira <i>Minerals</i> . ....	104
Figura 5-21: : (a) vista de las galerías que tienen aproximadamente 5 m de largo y 3 m de altura; (b) espacio acondicionado en la mina desactivada para talleres/conferencias; (c) espacio acomodado para ser un restaurante; (d) exposición de herramientas utilizadas e en la explotación; (e) geoda en la pared de la mina desactivada, mineralización del borde al centro de ágata, cuarzo y amatista en un basalto gris y (f) detalle de la pared de la mina desactivada.....	105
Figura 5-22: Bloques métricos de escombros de la minería de basalto gris fino con geodas con cuarzo, ágata y eventuales amatistas. ....	106
Figura 5-23: (a) vista panorámica de una mina activa donde es posible observar dos entradas de galerías con aproximadamente 3 m de alto; (b) bloques de basalto gris con parte de geodas de amatista cortadas para pulimento y (c) geodas clasificadas por tamaño e intensidad de color listas para la comercialización. ....	108
Figura 5-24: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad establecimiento Bichadero.....	109
Figura 5-25: Alojamiento e infraestructura en Establecimiento Bichadero con destaque para el material bibliográfico sobre la fauna, flora, geología y arqueología de la región. ....	109
Figura 5-26: (a) exposición de arisca cuarzo-feldespática rojiza en el camino para en curso de agua; (b) afloramiento de arenisca cuarzo-feldespática rojiza en la porción lateral inferior del curso de agua.....	110
Figura 5-27: (a) exposición de basalto gris masivo con más de 15 m de espesor; (b) dique clástico de 2 cm de arenisca entre las dos líneas rojas y (c) detalle del basalto vesicular con vesículas llenas por material silíceo.....	110
Figura 5-28: Muestra de mano (a) y fotomicrografías de la lámina delgada H1, representativa del basalto masivo. Basalto holocristalino, intergranular con escasos fenocristales y matriz formada principalmente por plagioclasa, piroxeno y olivino. Los fenocristales de plagioclasa son de composición An54-An56 (Labradorita) de un tamaño variable entre 0.2 y 0.4 mm de eje mayor y suelen poseer maclado del tipo Carlsbad, Albita y combinada Albita-Carlsbad. Los fenocristales de piroxeno son de un tamaño variable entre 0.1 y 0.3 mm de eje mayor y suelen presentar macla simple. Presenta minerales opacos tardíos y fenocristales de 0.1 mm de olivino alterado (iddingsita?). ....	111
Figura 5-29: Muestra de mano (a) y fotomicrografías de la lámina delgada H2, representativa del basalto vesicular. Es una roca hipocristalina, formada por fenocristales de plagioclasa de 0,2 mm, piroxenos de 0,1 mm y olivino-iddingsita de 0,1 mm - 0.2 mm. Matriz formada por plagioclasas, piroxenos y abundante mesostasis marrón (vidrio). Las vesículas están rellenas de cuarzo y calcedonia. La mayoría de los minerales opacos son puntuales tardíos. ....	112
Figura 5-30: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Mirador del Valle. ....	113
Figura 5-31: (a) vista del mirador del Valle Edén; (b) afloramiento de basalto gris lajoso; (c) basalto vesicular bien alterado (color más blanquecino) con diques de areniscas en dos planos; y d) basalto vesicular de color marrón rojizo con vesículas parcialmente rellenas por material silíceo. ....	114

Figura 5-32: Basalto hipocristalino, afanítico compuesto por una matriz de plagioclasa, piroxenos y abundante mesostasis marrón (vidrio). En las microfotografías se observan fenocristales de plagioclasa de 0,05 mm - 0,1 mm en el eje mayor y piroxeno de tamaños similares. ....	114
Figura 5-33: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Parque Gran Bretaña (creado con el <i>software Google Earth pro</i> ). ....	115
Figura 5-34: (a) Vista panorámica del afloramiento de basaltos en lajas; (b) vista de afloramiento de bloques de basaltos; (c) detalle de los basaltos fracturados en diferentes direcciones y escala con estructuras de flujo; (d) afloramiento de los basaltos masivos. ....	116
Figura 5-35: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Parque Gran Bretaña.....	117
Figura 5-36: (a) Vista panorámica del afloramiento ubicado en las orillas del río Cuareim, donde afloran desde la base hasta la parte superior areniscas de tonos beige rosado, seguidas por limos arcillosos marrones y una capa de suelo de color marrón oscuro a negro. Se observa cómo los afloramientos de la Formación Sopas se exponen en barrancos a lo largo de las orillas del río.....	118
Figura 5-37: (a) vista en detalle de areniscas con láminas de arenas gruesas y líticas; (b) contacto entre las areniscas de la Fm. Tacuarembó con los conglomerados basales y los limos arcillosos de la Fm. Sopas; (c) conglomerado de matriz beige rojiza y guijarro de basalto alterado de la Fm, Sopas .....	119
Figura 5-38: Perfil estratigráfico de afloramiento en La Estiba (costa del río Cuareim). Fm Sopas sobre la Fm. Tacuarembó. ....	120
Figura 5-39: Mapa de ubicación del geosítio Subida de pena. ....	122
Figura 5-40: (a) Vista panorámica del afloramiento en Subida de Pena (b), (c) y (d) detalle de las estratificaciones cruzadas, cruzadas de alto ángulo, plano paralelas. ....	123
Figura 5-41: Perfil estratigráfico del geosítio Subida de pena (Gentileza: Adriano Domingo dos Reis). ....	124
Figura 5-42: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Cerro Miriñaque. ....	125
Figura 5-43: Vista panorámica del borde meridional de la masa tabular de la Cuchilla de Cuñapirú (Rivera) y cerros chatos desprendidos de ella por la acción fluvial. En el dibujo se han reducido en forma apreciable las distancias que median entre los cerros (adaptado de Chebataroff, 1975) con destaque y fotografías del Cerro Miriñaque (amarillo) y los Tres Cerros de Cuñapirú (verde). ....	126
Figura 5-44: Vista del Cerro Miriñaque en el km 5 de la Ruta 29 con destaque para el cartel que contiene informaciones sobre el Cerro e imagen ilustrativa de la falda miriñaque (referencia digital 2). ....	126
Figura 5-45: (a) y (b) aspecto del afloramiento de los conglomerados rojizos en el borde de la Ruta 29 (c) detalle del afloramiento con destaque para el clasto de aproximadamente 3 cm y (d) muestra del conglomerado de matriz rojiza de arena muy fina a arcillosa con clastos centimétricos.....	128
Figura 5-46: (a) Muestra de sedimento recolectada en el borde de la Ruta 29: roca de matriz fina rojiza con granos muy pobremente seleccionados de cuarzo y otros fragmentos líticos; (b) fotomicrografía de la sección delgada en la que se aprecian granos pobremente seleccionados y angulosos inmersos en una matriz muy fina; (c) detalle de los clastos de composición variada: cuarzo, microclina y muscovita. ....	128
Figura 5-47: (a) Vista de la base del Cerro Miriñaque con la exposición de bloques de tamaño decimétrico a métrico de areniscas fluvio-eólicas; (b) detalle de un bloque con estratificación cruzada; (c) sucesión de areniscas que muestran estratificación horizontal, cruzada y estratificación horizontal con ondulitas; (d) detalle de una arenisca fina y beige, bien seleccionada y con granos subredondeados; (e) vista de la porción	

más alta del cerro que muestra un conjunto de 3 m de arenisca masiva en la base de la fotografía; (f) bloque en la cumbre del cerro con estratificación cruzada de bajo ángulo. ....	130
Figura 5-48: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Cerro Batoví. ....	131
Figura 5-49: (a) vista panorámica del cerro Batoví; (b) escudo del departamento de Tacuarembó con el cerro Batoví al centro y (c) cartel indicando que el cerro Batoví es un monumento natural departamental. ....	132
Figura 5-50: Perfil estratigráfico del cerro Batoví. ....	133
Figura 5-51: (a) arenisca beige muy fina a fina; (b) set de 1,5 m de arenisca beige con estructura masiva; (c) arenisca rojiza con estratificación cruzada y (d) basalto gris de grano fino aflorante en la cumbre del cerro. ....	134
Figura 5-52: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Cerro Batoví Dorado. ....	134
Ilustración 5-53: (a) vista panorámica del Cerro Batoví Dorado, (b) y (c) areniscas rojizas con estratificación cruzada, (d) mirador en tope del cerro. ....	136
Figura 5-54: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Piedra Pintada (creado con el <i>software Google Earth pro</i> ). ....	137
Figura 5-55: (a) vistas panorámicas de la Piedra Pintada; (b) detalle de las estratificaciones cruzadas de gran escala y de las excavaciones hechas por los visitantes; (c) set de areniscas finas beige y rojizas con estratificación cruzada; (d) detalle de la laminación y (e) detalle de gradación inversa intralámينا. ....	138
Figura 5-56: Perfil estratigráfico del sitio de geodiversidad Piedra Pintada. ....	139
Figura 5-57: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Las Marmitas. ....	140
Figura 5-58: (a) Panel informativo y breve explicación sobre cómo las estructuras de “marmita” o pilancones se generan; (b) aspecto general del afloramiento con las geoformas métricas de “marmitas”; (c) detalle de la laminación cruzada con gradación intralaminar inversa ( <i>grain flows</i> ) dominante en el sitio de geodiversidad; y (d) detalle de un pilancón de unos 20 cm que representa una fase inicial de la excavación de las grandes “marmitas” ....	141
Figura 5-59: (1) El agua crea pequeños remolinos que abren espacios en el fondo areniscos del arroyo; (2) Fragmentos de roca entran en el espacio formado y circulan por él con el agua; (3) Los fragmentos erosionan las paredes del fondo y crean las "marmitas" (referencia digital 3). ....	141
Figura 5-60: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Pozo Hondo (N°17). Se observa su proximidad al sitio de geodiversidad Mirador del Valle Edén (N°9) (creado con el <i>software Google Earth pro</i> ). ....	142
Figura 5-61: (a) cañada que alimenta el Arroyo Jabonería; (b) panorámica del Pozo Hondo y vista panorámica del valle profundo en forma de escarpa; (c) panorámica de otro ángulo del Pozo Hondo; (d) estructuras de flujo; y (e) basalto gris masivo con fracturación muy irregular, tanto en espaciado como orientación. ....	143
Figura 5-62: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Cueva del Indio (N°18). Se observa su proximidad al geosito Subida de Pena (N°5). ....	144
Figura 5-63: (a) Vista de cima de la quebrada del Arroyo Rubio Chico; (b) vista panorámica de la Cueva del Indio; (c) areniscas de la Fm. Tacuarembó en la base del afloramiento de la Cueva del Indio; (d) arenisca interdigitada con el basalto vesicular de la Fm Arapey, (e) afloramiento de basalto masivo gris, en el lecho del A° Rubio Chico y detalle de dique clástico. ....	145

Figura 5-64: Perfil esquemático de las litologías aflorantes en el sitio de geodiversidad Cueva del Indio....	145
Figura 5-65: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Cerro del Apretado (N°19). Se observa su proximidad al geosítio Subida de pena (N°5), que dista 6,2 kms (creado con el <i>software Google Earth pro</i> ). .....	146
Figura 5-66: (a) Vista del Cerro del Apretado desde la Ruta N° 30 (Imagen obtenida en Google Earth pro); (b) vista desde la cima del Cerro del Apretado; (c) basalto masivo fracturado; (d) vista de la cantera de extracción de material para la caminería, según detalle del basalto y (f) detalle del basalto vacuolar .....	147
Figura 5-67: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad la Bica. ....	148
Figura 5-68: (a) Foto del Edificio La Bica, el vidrio guarda la vertiente de agua; (b) detalle del pozo en el cual la vertiente de agua cae y (c) vista de la estructura construida para proteger la vertiente de agua; d) vista histórica de la Bica (imagen obtenida en el sitio web Recuerdos de nuestro pasado, 2016) .....	149

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1: Resumen de la cronología de hitos importantes para la geoconservación y los geoparques (Serra, 2019).....	16
Tabla 2-2: Geoparques integrantes de la Red Latinoamericana y del Caribe por país y año de ingreso a la Red Mundial.....	20
Tabla 4-1: Resumen de las etapas de inventario a ser seguidas según el valor a ser evaluado (Modificado de Brilha, 2016). .....	57
Tabla 4-2: Aspectos a observar en los sitios visitados por cada tipo de valor (científico, turístico, educativo) .....	60
Tabla 4-3: Tipos de atributos utilizados para caracterizar los geositos y sitios de geodiversidad .....	62
Tabla 4-4: Litofacies definidas para este trabajo. Se muestran los códigos empleados y una descripción resumida de los atributos de cada facies (Miall, 1978 en Mesa, 2016). .....	64
Tabla 4-5: Criterios, indicadores y parámetros utilizados para la evaluación cuantitativa del valor científico de los geositos y los pesos de la suma ponderada adaptados de Brilha (2016). .....	67
Tabla 4-6: Criterios, indicadores y parámetros utilizados para la evaluación cuantitativa de los posibles usos educativos y turísticos. Diez criterios (A-J) se comparten entre estos dos tipos de usos. Se utilizan otros dos criterios (K-L) para evaluar la PUE (Tabla 4-7) y tres (K-M) para el PUT (Tabla 4-8). .....	70
Tabla 4-7: Criterios y parámetros para la evaluación del Potencial uso Educativo (PUE) .....	73
Tabla 4-8: Criterio para la evaluación del Potencial uso Turístico (PUT) .....	73
Tabla 4-9: Pesos para los criterios de evaluación utilizados en la suma ponderada para el cálculo del PUE y PUT .....	74
Tabla 4-10: Criterios/indicadores, parámetros y pesos utilizados para la evaluación cuantitativa del riesgo de degradación (RD) de los sitios (Brilha, 2016, p.13).....	76
Tabla 4-11: Clasificación según su relevancia para el VC (GEOSSIT) .....	77
Tabla 4-12: Clasificación de los sitios de geodiversidad según su relevancia con base en el total ponderado del PUT o PUE (GEOSSIT) .....	77
Tabla 4-13: Clasificación del riesgo de degradación (Brilha, 2016) .....	78
Tabla 5-1: Categorías temáticas del Norte de Uruguay según los principales eventos de la evolución geológica (Farone <i>com.pers</i> ).....	81
Tabla 5-2: Resumen de las características de cada sitio de interés geológico evaluado.....	83
Tabla 5-3: Valor Científico de los geositos evaluados ordenados por orden decreciente. Los números representan la suma ponderada de los criterios evaluados. ....	150
Tabla 5-4: Lista de los geositos y sitios de geodiversidad inventariados con sus respectivos resultados de la suma ponderada para el potencial uso educativo ordenados por orden decreciente. ....	151
Tabla 5-5: Lista de los geositos y sitios de geodiversidad inventariados con sus respectivos resultados de la suma ponderada para el potencial uso turístico ordenados por orden decreciente. ....	152

Tabla 5-6: Lista de los geositos y sitios de geodiversidad inventariados con sus respectivos resultados de la suma ponderada para el riesgo de degradación ordenados por orden decreciente. ....153

Tabla 5-7: Lista de los geositos y sitios de geodiversidad inventariados con sus respectivos resultados de la clasificación en cuanto a su relevancia, riesgo de degradación y clasificación adicional.....154

Tabla 6-1: Resumen de las clasificaciones del inventario.....164

## LISTA DE ABREVIACIONES

IGGP - *International Geoscience and Geoparks Programme*

GGN - *Global Geopark Network*

UNESCO - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

LACGN - *Latin American and Caribbean Geopark Network* (Red de Geoparques Latinoamericanos y del Caribe)

GMB - Geoparque Minero Botucatu

ONU - Organización de las Naciones Unidas

ProGEO - Asociación Europea para la Conservación del Patrimonio Geológico

IUGS - Unión Internacional de Ciencias Geológicas

EGN - *European Geoparks Network*

APGN - *Asia Pacific Geoparks Network*

AUGGN - *African UNESCO Global Geoparks Network*

UNAM - Universidad Nacional Autónoma de México

INUMET - Instituto Uruguayo de Meteorología

DGLC - Distrito Gemológico Los Catalanes

ICR - Isla Cristalina de Rivera

SIGEP - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológico

GEOSSIT - Sistema de Cadastro e Quantificação de Geossítios e Sítios da Geodiversidade

VC - Valor Científico

PUE - Potencial Uso Educativo

PUT - Potencial Uso Turístico

RD – Riesgo de degradación

UDELAR - Universidad de la República

UTE - Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas

MMP - Mineralizaciones Metálicas Precámbricas

CG - Cuencas Gondwánicas

MM - Magmatismo Mesozoico

MP - Megafauna Pleistocena

UGyFR - Unidades Geomorfológicas y Formas de Relieve

SAG - Sistema Acuífero Guaraní

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Presentación

Los elementos de la geodiversidad, como los afloramientos rocosos, yacimientos minerales o fosilíferos, formas de relieve, acuíferos y suelos, constituyen expresiones geológicas y geomorfológicas que nos permiten comprender la evolución de procesos que han ocurrido a lo largo del tiempo en una región, un país e incluso un continente. Es fundamental conocer estos procesos, ya que nos ayudan a explicar tanto los fenómenos geológicos actuales como los futuros, así como los cambios climáticos que han tenido lugar en la Tierra. Al igual que cualquier otro campo del conocimiento, la geología está en constante evolución. Los nuevos métodos de análisis y tecnologías permiten avanzar en el conocimiento geológico y realizar nuevos descubrimientos sobre temas antiguos. Sin embargo, para que el avance científico sea continuo, es necesario preservar los elementos de la geodiversidad, ya que son los que aportan estos nuevos datos.

La preocupación por la conservación y valoración de la geodiversidad se remonta a los inicios del siglo XX, cuando algunos países empezaron a tomar conciencia de la importancia de la conservación. Esta conciencia se basaba en la idea de que ciertos lugares naturales poseen un valor excepcional por sí mismos y, por lo tanto, deben ser protegidos y conservados. Desde sus inicios, la geología ha utilizado la observación en el campo como su principal método de estudio para formular hipótesis. Por lo tanto, los afloramientos que presentan características únicas, ya sea por su singularidad o su utilidad para establecer correlaciones, son fundamentales para el avance científico y la divulgación de la geología (Carcavilla *et al.*, 2007).

Existen numerosos lugares que albergan elementos de la geodiversidad, y seleccionar cuáles merecen ser inventariados y protegidos para el beneficio de las generaciones presentes y futuras representa un importante desafío. Se reconoce que aquellos lugares que exhiben una geodiversidad excepcional deben ser preservados. Brilha (2018) sostiene que al considerar algo excepcional, somos capaces de apreciar su valor, y esto también aplica a los elementos de la geodiversidad. Estos elementos se consideran excepcionales cuando se les atribuye un alto valor, ya sea en términos científicos, funcionales, económicos, educativos o turísticos, o incluso en términos intangibles, como su valor cultural y estético.

Estos valores están estrechamente vinculados a los "servicios geosistémicos" mencionados por Gray *et al.* (2013), los cuales representan los beneficios que la sociedad

obtiene gracias a los elementos de la geodiversidad. Dichos elementos proporcionan una serie de servicios esenciales. Por un lado, brindan servicios de regulación al intervenir en los procesos naturales que equilibran el medio ambiente, como el ciclo del agua. Por otro lado, ofrecen servicios de aprovisionamiento al proveer minerales industriales y combustibles. Asimismo, desempeñan servicios de conocimiento al permitir la vigilancia del medio ambiente y proporcionar información sobre la historia de la Tierra. Además, contribuyen con servicios de apoyo al sustentar los ecosistemas naturales y crear condiciones propicias para el desarrollo de la vida. Por último, generan servicios culturales, como el valor estético y espiritual que aportan a la sociedad, como las montañas o los diferentes paisajes.

En este contexto, se han desarrollado diversos programas internacionales orientados a la conservación de la geodiversidad y la valoración del patrimonio geológico. Entre ellos se encuentran el programa Patrimonio Mundial de la UNESCO, la Red Mundial de Geoparques (*Global Geopark Network*, GGN), el IUGS *Geological Heritage Sites* y el Programa Internacional de Ciencias de la Tierra y Geoparques (*International Geoscience and Geoparks Programme*, IGGP). Los geoparques son áreas geográficas únicas y unificadas que gestionan sitios y paisajes de importancia internacional bajo un enfoque holístico de protección, educación y desarrollo sostenible (UNESCO, 2008).

En 2013, Uruguay se unió a la GGN con el Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio, convirtiéndose en el segundo geoparque latinoamericano en formar parte de esta red y siendo uno de los miembros fundadores de la Red de Geoparques Latinoamericanos y del Caribe (LACGN, sigla en inglés). A pesar de su reducido tamaño en comparación con otros países sudamericanos, Uruguay cuenta con una geología compleja y diversa que abarca registros desde el período Arcaico hasta el Fanerozoico. Por lo tanto, otras regiones del país tienen el potencial de explorar su geodiversidad y desarrollar proyectos de geoparques.

Este es el caso de la región norte de Uruguay, específicamente en los departamentos de Tacuarembó, Rivera y Artigas, donde se están llevando a cabo actividades turísticas basadas en la geodiversidad. Esta iniciativa capitaliza la riqueza geológica de la zona para atraer a visitantes y fomentar el desarrollo económico local. Los componentes de la geodiversidad se presentan como atractivos turísticos, ofreciendo paisajes singulares, la oportunidad de explorar eventos geológicos pasados y la comprensión de la historia

minera en Minas de Corrales, Rivera, así como la extracción de piedras semipreciosas en el Distrito Gemológico Los Catalanes, Artigas.

Conscientes del concepto de los geoparques, consideran que la región norte de Uruguay tiene un gran potencial para crear y gestionar, en colaboración con entidades públicas y privadas, un geoparque que cumpla con los criterios establecidos por la UNESCO.

Este proyecto, conocido como proyecto Geoparque Minero Botucatú (GMB), refleja la visión de crear una entidad que no solo preserva y promueve la geodiversidad local, sino que también contribuye a la educación, el turismo sostenible y el crecimiento económico en la región.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo general de esta investigación es realizar un estudio sobre la geodiversidad y el patrimonio geológico en la región norte de Uruguay, con énfasis en la identificación de geositos y sitios de geodiversidad (conceptos explorados en el capítulo 2), su inventario y evaluación de sus valores científicos, potenciales usos educativo y turístico, así como su riesgo de degradación. El conocimiento generado a través de este inventario será una herramienta valiosa para la gestión territorial de la geodiversidad y la toma de decisiones informada. Proporcionará una base sólida para la implementación de estrategias de conservación de los sitios emblemáticos y desarrollo sostenible, así como para promover la valoración de la geodiversidad por parte de la comunidad local y los responsables de la toma de decisiones.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Generar un inventario de geositos y sitios de geodiversidad en el Norte de Uruguay, con el fin de contribuir con el diseño de políticas de conservación, gestión de la geodiversidad y dar sustento científico al proyecto Geoparque Minero Botucatú.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- I. Realizar un inventario de geositos y sitios de geodiversidad
- II. Realizar una evaluación cuantitativa del valor científico, del potencial de uso educativo y turístico, así como del riesgo de degradación de los geositos

- III. Realizar una evaluación cuantitativa del potencial uso educativo y turístico, así como del riesgo de degradación de los sitios de geodiversidad
- IV. Realizar una caracterización de los geositos y sitios de geodiversidad en el territorio del proyecto Geoparque Minero Botucatu.

### **1.3 Justificativa**

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible adoptada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, de los cuales 12 incluyen la geodiversidad. A pesar de esto, los servicios ecosistémicos proporcionados por la geodiversidad a menudo son ignorados y las estrategias de geoconservación en las políticas de sostenibilidad reciben menos atención en comparación con las estrategias de conservación de la biodiversidad (Brilha *et al.*, 2018).

En Uruguay, la conservación de los elementos de la geodiversidad es aún incipiente en comparación con la conservación de la biodiversidad, donde sólo se han llevado a cabo inventarios de geodiversidad en territorios declarados Geoparque Mundial de la UNESCO, como Grutas del Palacio. En este contexto, la realización de un inventario del patrimonio geológico y de sitios de geodiversidad con potenciales usos turísticos y educativos es fundamental para el avance de la identificación, caracterización y evaluación de los recursos geológicos de una región, así como para establecer medidas de protección y conservación, y para promover su uso sostenible y adecuado.

En el caso particular del norte de Uruguay, esta región presenta una gran variedad de formaciones geológicas, algunas de las cuales presentan afloramientos puntuales o áreas aflorantes con un alto valor científico, educativo, cultural y turístico. Sin embargo, estos recursos aún no han sido expresamente identificados y evaluados con un enfoque de estrategia de geoconservación. Por lo tanto, se hace necesaria la realización de un inventario del patrimonio geológico y de la geodiversidad del norte de Uruguay, para conocer y valorar los recursos geológicos de esa región, y así poder promover su uso sostenible y adecuado para la investigación científica y la formación de geocientíficos, para la enseñanza de las geociencias en la educación básica, así como para actividades de recreación (geoturismo).

## **1.4 Metodología de trabajo**

Se realizó una revisión bibliográfica sobre el estudio de la geodiversidad, el patrimonio geológico y la elaboración de inventarios de geodiversidad como parte de la metodología de esta tesis de maestría. Se compararon diferentes métodos y se definió una metodología para el inventario y la evaluación cuantitativa de los valores científicos, el potencial uso educativo y turístico, y el riesgo de degradación de los geositios y sitios de geodiversidad en el área de estudio.

En este proceso, se procedió a la identificación y selección de una lista preliminar de posibles geositios y sitios de geodiversidad en el área. Estos sitios fueron posteriormente clasificados según criterios y parámetros predefinidos. Luego, se aplicó la metodología propuesta por Brilha (2016) para la evaluación cuantitativa de estos sitios. Este enfoque incluyó revisiones exhaustivas de literatura relacionada con el área de estudio, así como la realización de excursiones de campo para obtener una comprensión más completa de la geodiversidad local.

Además, se llevaron a cabo actividades de laboratorio, como la preparación de secciones delgadas para descripciones petrográficas, la creación de perfiles estratigráficos y la confección de mapas de ubicación. Los datos recopilados a partir de estas actividades se utilizaron para alimentar el proceso de evaluación cuantitativa.

Con base en los resultados obtenidos, se generó un inventario de geositios y sitios de geodiversidad, y se analizaron e interpretaron los resultados de la evaluación cuantitativa, teniendo en cuenta la metodología adoptada y las limitaciones del estudio.

## **1.5 Área de estudio y vías de acceso**

El territorio propuesto para el proyecto Geoparque Minero Botucatu se encuentra en parte de los departamentos de Tacuarembó, Rivera y Artigas, teniendo como ejes a las rutas 5, 26 y 30. Tiene un área de 5237 km<sup>2</sup> (Figura 1.1) e integra el Paisaje Protegido Valle del Lunarejo (SNAP) y la Reserva de Biosfera Bioma Pampa Quebradas del Norte. En este trabajo la zona de estudio se denomina Norte de Uruguay.

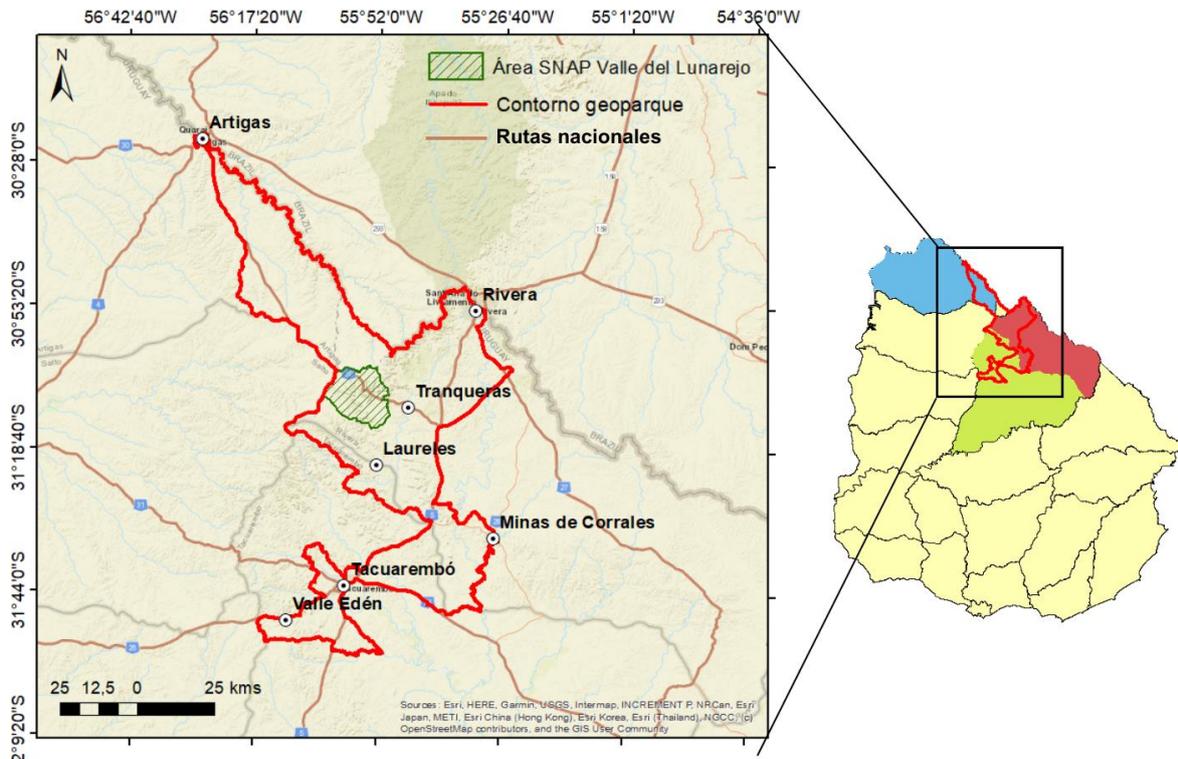


Figura 1-1: Mapa de ubicación del proyecto Geoparque Minero Botucatú con destaque para los departamentos de Tacuarembó (verde), Artigas (azul) y Rivera (rojo).

## 1.6 Organización de la tesis

La investigación se divide en seis capítulos principales, cada uno de los cuales presenta contenidos específicos.

El Capítulo 1, presente capítulo, proporciona una visión general del tema de investigación, establece su relevancia y presenta los objetivos de la investigación. Además, en éste se introduce al lector la estructura general de la tesis, brindando una visión general de lo que se abordará en cada capítulo.

El Capítulo 2 se centra en el marco conceptual y antecedentes. En él, se revisa la literatura existente relacionada con la geodiversidad y el patrimonio geológico con el fin de establecer un contexto teórico sólido y actualizado. También allí, se analizan los conceptos claves y se exploran investigaciones previas en el campo.

El Capítulo 3 describe detalladamente el entorno en el que se llevará a cabo el inventario de geositos y sitios de geodiversidad. Se examinan las características geológicas y geográficas de la región de estudio, identificando los principales elementos que puedan influir en la presencia y distribución de los geositos y sitios de geodiversidad.

En el Capítulo 4 se presenta la metodología empleada para realizar el inventario y caracterización de los geositos y sitios de geodiversidad. Se explican los criterios de selección utilizados, así como los métodos y técnicas empleadas para su identificación, evaluación y documentación.

En el Capítulo 5 se muestran los resultados obtenidos a partir del inventario realizado en cada sitio. Se caracterizan los geositos y sitios de geodiversidad identificados y se brinda información detallada sobre su ubicación, características geológicas y relevancia científica, educativa o turística. Este capítulo constituye el núcleo empírico de la tesis y responde a los objetivos específicos del inventario.

Finalmente, en el Capítulo 6 se analizan los resultados obtenidos en relación con los objetivos de investigación y el marco teórico presentado en el Capítulo 2. Se discuten las implicaciones de los hallazgos, se destacan las contribuciones del inventario realizado y se proponen recomendaciones para la conservación y gestión de los geositos y sitios de geodiversidad identificados.

## **2 MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se presentan los conceptos de geodiversidad, geoconservación, geopatrimonio (patrimonio geológico), geoturismo y geoparques. Además, se presenta una visión general de las políticas de preservación del patrimonio natural de Uruguay y se presentan los antecedentes de iniciativas de geoturismo en el país y proximidades del área de investigación.

### **2.1 Definiciones clave**

#### **2.1.1 Geodiversidad**

El concepto de "geodiversidad" ha sido objeto de diversas definiciones desde su aparición, que van desde una concepción estrecha que lo relaciona únicamente con la diversidad de elementos geológicos, hasta otras más amplias que incluyen todos los aspectos del entorno físico (por ejemplo, Black & Gonggrijp, 1990; Elízaga *et al.*, 1994; Gray 2008, 2013; Pena dos Reis & Henriques 2009; Wimbleton 2011, Carcavilla *et al.*, 2008).

El término "geodiversidad" se originó en los años 40 del siglo XX, cuando el geógrafo argentino Federico Alberto Daus lo acuñó para diferenciar áreas de la superficie terrestre en el marco de la Geografía Cultural, y se refería a diversidades paisajísticas y culturales (Serrano & Ruiz Flaño, 2007). Sin embargo, su uso actual, con un enfoque naturalista, que incluye fenómenos, procesos y productos geológicos, se popularizó a fines de la década de los 90, después de la Cumbre de Río (1992), y se desarrolló como una respuesta a la necesidad de contar con un término que englobara los aspectos no biológicos del medio ambiente.

Entre los conceptos más completos se destacan el de Nieto (2001), que define la geodiversidad como: "el número y variedad de estructuras (sedimentarias, tectónicas, geomorfológicas, hidrogeológicas y petrológicas) y de materiales geológicos (minerales, rocas, fósiles y suelos), que constituyen el sustrato de una región, sobre las que se asienta la actividad orgánica, incluida la antrópica", y el utilizado por Gray (2004), que define la geodiversidad como: "el rango natural de diversidad de rasgos geológicos (rocas, minerales y fósiles), geomorfológicos (formas del terreno y procesos) y suelos, incluyendo sus relaciones, propiedades, interpretaciones y sistemas".

En esta investigación, la geodiversidad se describe como la variedad natural (diversidad) de elementos geológicos (rocas, minerales, fósiles), geomorfológicos (accidentes

geográficos, topografía, procesos físicos), hidrológicos y suelos. Esto incluye sus estructuras, sistemas y aportes al paisaje que ejemplifican la evolución geológica de un lugar, sean estas encontradas *in situ* o movidos de su local de origen (*ex situ*) (Gray, 2004 y Carcavilla *et al.*, 2008).

### **2.1.2 Patrimonio geológico (geopatrimonio)**

El patrimonio geológico, que también es denominado como geopatrimonio, fue definido por diversos autores, algunas de estas definiciones son:

- “El conjunto de recursos naturales, no renovables, ya sean formaciones rocosas, estructuras geológicas, acumulaciones sedimentarias, formas del terreno, o yacimientos minerales, petrológicos o paleontológicos, que permiten reconocer, estudiar e interpretar la evolución de la historia de la Tierra y de los procesos que la han modelado, con su correspondiente valor científico, cultural, educativo, paisajístico o recreativo” (Cendrero, 1996).
- “El conjunto de recursos naturales no renovables de carácter científico, cultural o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, yacimientos paleontológicos y minerales, que permitan reconocer, estudiar, e interpretar la evolución de la historia geológica de la Tierra y los procesos que la han modelado” (Gallego & García Cortés, 1993).
- “Está constituido por todos aquellos recursos naturales, básicamente no renovables, ya sean formaciones rocosas, estructuras, acumulaciones sedimentarias, formas, paisajes, yacimientos minerales o paleontológicos o colecciones de objetos geológicos de valor científico, cultural o educativo y/o de interés paisajístico o recreativo” (Durán, 1999).

Existen divergencias en cuanto a la forma en que se define el patrimonio geológico, sus componentes, su valor y los criterios de selección de los elementos que lo integran. Sin embargo, también se pueden identificar ciertas coincidencias, como:

(1) la conformación por elementos geológicos;

(2) está constituido por recursos no-renovables: aunque Durán (1999) afirma que existen ciertos elementos renovables, como las aguas termales o minerales, que pueden pertenecer al patrimonio geológico; y

(3) posee un valor especial.

Brilha (2016) enfatiza que en la literatura existen numerosos conceptos y definiciones relacionados con la geodiversidad, el patrimonio geológico, los geosítios y la geoconservación, y que algunos incluso han sido mal utilizados con frecuencia. Con el objetivo de restringir el término geopatrimonio a elementos de la geodiversidad que tienen un alto valor para la sociedad, y que por lo tanto deben ser conservados, el autor define que este alto valor está relacionado con su relevancia científica. El valor científico es considerado por Carcavilla *et al.* (2007), como el valor intrínseco de un sitio de interés geológico, una vez que aporta directamente el conocimiento sobre la evolución geológica de un territorio y que por lo tanto debe ser conservado para que las generaciones futuras también puedan acceder a estos sitios representativos de la evolución e incluso aportar nuevos conocimientos sobre ella, una vez que las geociencias están con significativos avances.

Cuando estos elementos de la geodiversidad que conforman el patrimonio geológico ocurren en su lugar original (*in situ*), se llaman *geosítios*. Si se han desplazado de su lugar original, pero mantienen un alto valor científico, como minerales, fósiles y rocas en colecciones de museos, se denominan *elementos de geopatrimonio (ex situ)*.

No obstante, los valores culturales, históricos, turísticos, religiosos entre otros también son parte importante de la identidad de un territorio; así, los sitios de interés geológico que presentan estos valores también están contemplados en las estrategias de geoconservación (Figura 2-1). Para diferenciarlos de los *geosítios*, las ocurrencias *in situ* de elementos de la geodiversidad que presentan estos otros valores se denominan *sítios de geodiversidad* (Brilha, 2016). Los valores no científicos están más bien relacionados con el potencial de uso del lugar (uso turístico-recreativo, etc.) (Carcavilla *et al.*, 2007).

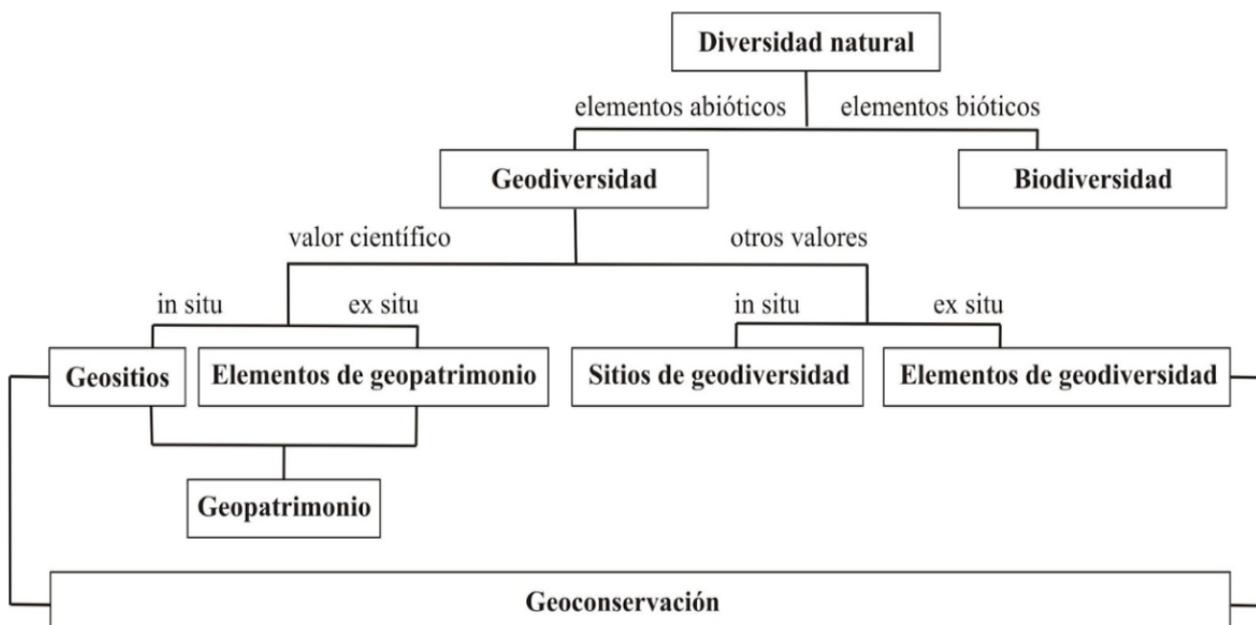


Figura 2-1: Marco conceptual de la geodiversidad y el geopatrimonio, teniendo en cuenta el alcance de la geoconservación (Brilha, 2016).

Por lo tanto, la distinción entre geodiversidad y patrimonio geológico radica en que la primera es una característica del medio físico intrínseca a un territorio, mientras que la segunda es una atribución valorativa sobre determinados elementos de la geodiversidad, que merecen ser protegidos y valorados como patrimonio natural (Brilha, 2016). Por lo tanto, la geodiversidad es la base para el reconocimiento y valoración del patrimonio geológico, que a su vez es una parte integrante de la geodiversidad. Constituyen dos variables independientes, pero cuyo estudio combinado aporta una importante información (Carcavilla *et al.*, 2007).

De alguna manera, el patrimonio minero está conectado con el geopatrimonio y la geodiversidad. Usualmente, el concepto de "patrimonio minero" abarca todo lo relacionado con la actividad de exploración minera, ya sea activa o inactiva, incluyendo minerales y rocas extraídos o por extraer, instalaciones industriales, registros históricos de antiguas minas, métodos y técnicas de explotación y hasta las tradiciones y relatos de las comunidades mineras. En caso de que los depósitos minerales y rocas estén aún disponibles y tengan un valor científico, deben considerarse como geopatrimonio (patrimonio mineralógico o petrológico). En ocasiones, estos depósitos solo tienen valor educativo o turístico, en cuyo caso se les debe llamar sitios de geodiversidad. Todo lo demás se considera patrimonio minero, el cual no es un tipo particular de patrimonio geológico. Si se desea referirse solamente a las instalaciones mecánicas e industriales usadas durante la actividad minera, se debe emplear el término "patrimonio industrial".

Los expertos en arqueología industrial se enfocan en estudiar este tipo de patrimonio, así como la historia de la tecnología (Brilha, 2016).

### **2.1.3 Geoconservación**

La geoconservación se define como las estrategias, acciones y políticas para lograr una eficaz conservación de la geodiversidad y la protección del patrimonio geológico (Sharples, 2002; Brilha, 2002, 2005; Gray, 2004 y Sarmiento, 2005).

El desarrollo de un proyecto de geoconservación requiere de una gestión integrada entre instituciones públicas, privadas y la sociedad en general, con la definición de objetivos para la protección y preservación del patrimonio geológico de una determinada región.

La identificación y caracterización de los sitios son pasos decisivos en cualquier estrategia de geoconservación (Brilha 2005; Henriques *et al.*, 2011), que se basa en las siguientes etapas sucesivas: inventario, evaluación cuantitativa, conservación, interpretación y promoción y, por último, el seguimiento de los sitios (Brilha 2005).

### **2.1.4 Geoturismo**

La Declaración de Arouca, adoptada en Portugal en 2011 durante la 6ta Conferencia Internacional sobre Geoturismo, define al geoturismo como "un enfoque de turismo sostenible que busca la sustentabilidad del patrimonio geológico y su entorno, fomentando la educación, la conservación y la investigación, y promoviendo el bienestar económico de la comunidad local" (Declaración de Arouca, 2011). Es decir, el geoturismo se enfoca en la conservación del patrimonio geológico y su entorno, al mismo tiempo que busca beneficios económicos para la comunidad local y fomenta la educación e investigación en torno al mismo.

### **2.1.5 Geoparques**

Según UNESCO (2008) los geoparques son: "territorios con límites bien definidos y una superficie apropiada para permitir un verdadero desarrollo socio-económico. Debe abarcar un determinado número de sitios geológicos de importancia científica, rareza y belleza, que sean representativos de una región y de su historia geológica. El atractivo de estos sitios no debe ser sólo geológico, sino también ecológico, arqueológico, histórico, cultural o paisajístico. Así, los Geoparques deben estimular el desenvolvimiento socio-económico

de una región, de una forma cultural y ambientalmente sustentable, mejorando las condiciones de vida y valorizando la cultura local”

Los geoparques cumplen sus objetivos a través de tres áreas principales: (1) la educación, enseñando al público general y promoviendo la divulgación de la investigación científica en torno a las Ciencias de la Tierra y al medioambiente, (2) la conservación del geopatrimonio/geodiversidad para las generaciones futuras; y (3) el geoturismo, que provee una herramienta para lograr el desarrollo sustentable (UNESCO, 2010).

Un Geoparque puede solicitar su inclusión en el programa Geoparques Mundiales de la UNESCO, que es una calificación internacional de excelencia. La designación de Geoparque Mundial de la UNESCO se logra a través de un proceso que involucra a varias partes interesadas locales y regionales. No implica un estatus jurídico y tiene una duración de cuatro años, tras lo cual se lleva a cabo un proceso de revalidación para evaluar su calidad y funcionamiento. Las etapas involucradas en el proceso de adhesión al programa y revalidación se discutirán en la sección 2.2.2.

## **2.2 Antecedentes sobre el estudio de la geodiversidad, patrimonio geológico y estrategias de geoconservación**

La geoconservación tiene una larga historia de práctica y reconocimiento. El establecimiento de la primera reserva natural geológica del mundo en Drachenfels/Siebengebirge, en Alemania, en 1836, fue seguido por la protección de otras colinas alemanas en Totenstein (1844) y Teufelsmauer (1852). En 1864, el estado de California, en Estados Unidos, protegió Yosemite, mientras que Yellowstone fue establecido como el primer Parque Nacional del mundo en 1872, en gran parte por su belleza escénica y maravillas geológicas (Gray *et al.*, 2013).

En el Siglo XX, en Europa se comenzó a promover el estudio del patrimonio geológico y la geodiversidad con el objetivo de catalogar las áreas de interés geológico para su estudio, protección y divulgación. Desde entonces, muchos países de todo el mundo han seguido este ejemplo mediante la publicación de diversos trabajos y la generación de inventarios de sitios geológicos importantes. En 1993 se creó la Asociación Europea para la Conservación del Patrimonio Geológico (ProGEO), marco de referencia actual a nivel europeo para la conservación y estudio del patrimonio geológico (Carcavilla *et al.*, 2007).

En 1996, el programa *Global Geosites* se lanzó bajo el auspicio de la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (*International Union of Geological Sciences*, IUGS) con el objetivo

de desarrollar una base de datos internacional, apoyada en un inventario sistemático de los sitios más importantes para las ciencias geológicas en el mundo. Este inventario ayudaría a sostener iniciativas nacionales e internacionales que buscan proteger los recursos geológicos para su uso en investigación y educación, y ofrecería una potencial contribución de sitios al programa Patrimonio de la Humanidad administrado por la UNESCO (Wimbledon *et al.* 2000; Joyce, 2010).

Otro programa internacional relacionado con el patrimonio geológico es la Red de Geoparques de Europa (*European Geoparks Network, EGN*), fundada en 2000 que define un geoparque como un territorio que busca combinar la protección y promoción del patrimonio geológico con un desarrollo local sostenible (Zouros & McKeever, 2004).

En abril de 2001, la EGN y la UNESCO (a través de su División de Ciencias de la Tierra) firmaron un acuerdo oficial de colaboración. En 2004, con el apoyo de la UNESCO, se creó la Red Mundial de Geoparques (*Global Geopark Network, GGN*) y se publicó una guía operativa para postularse a la red y se alentó al Programa Internacional de Ciencias de la Tierra (*International Geoscience Programme, PICG*), creado en 1972, a establecer acuerdos continentales, tal como lo había hecho con la EGN tres años antes (Zouros & Mc Keever, 2004). La creación de geoparques ha brindado oportunidades de desarrollo rural a partir del patrimonio geológico, utilizando éste como eje fundamental para la planificación territorial (Carcavilla, 2011). Desde entonces a la fecha se han sumado 195 geoparques de 48 países a la GGN (UNESCO, 2022).

En 2015, de la colaboración entre el IGCP, la IUGS y los Geoparques Mundiales de la UNESCO (*UNESCO Global Geoparks*), surge el Programa Internacional de Ciencias de la Tierra y Geoparques (*International Geoscience and Geoparks Programme, IGGP*). El programa fomenta la sostenibilidad y la resiliencia de los territorios de geoparques a través de la cooperación internacional, trabajos de investigación, reuniones, talleres, el intercambio de conocimientos y la participación de las comunidades locales. En este contexto, la UNESCO ha establecido un sistema de evaluación y certificación de los geoparques que se basa en los criterios establecidos en 2004 y en los principios de la Carta de los Geoparques Europeos de la EGN, que se exponen más adelante.

La iniciativa de los geoparques se expandió rápidamente, dando lugar a la conformación de redes de geoparques regionales. Entre ellas se encuentran la *Asia Pacific Geoparks Network (APGN)*, la *African UNESCO Global Geoparks Network (AUGGN)* y la *Latin*

*American and Caribbean Geopark Network (LACGN)*. Uruguay forma parte de la última desde el 2013 con el Geoparque Mundial Grutas del Palacio (UNESCO, 2021).

Si bien el estudio de la geoconservación es una de las áreas más recientes en la geología, en estos últimos 30 años muchos trabajos que proponen una sistematización del método de estudio del patrimonio geológico y la geodiversidad fueron publicados (Lima *et al.*, 2010; Brilha, 2016; García-Cortés & Carcavilla, 2009 y sus actualizaciones). No obstante, proteger la geodiversidad en su totalidad resulta difícil debido a su uso como recurso del medio físico por parte de la sociedad. Por lo tanto, resulta esencial identificar y conservar aquellos elementos de la geodiversidad que poseen un valor sobresaliente en términos científicos, educativos, turísticos, intrínsecos, económicos, culturales y/o estéticos (Brilha, 2016). Para proteger el patrimonio geológico y elementos excepcionales de la geodiversidad se han establecido estrategias que incluyen diferentes fases de trabajo, como: inventario, evaluación cuantitativa, clasificación (protección legal), conservación, interpretación y promoción, y monitoreo de los sitios geológicos. Estas estrategias brindan oportunidades y herramientas para un uso sostenible del patrimonio geológico y de los sitios de geodiversidad, y fomentan la investigación científica, la educación, el turismo, la recreación y la economía (Brilha, 2005; Henriques *et al.*, 2011).

La sistematización de estrategias de geoconservación es reciente en Uruguay. Sin embargo, existen algunos investigadores que se han dedicado a utilizar distintos métodos de inventarios con el fin de evaluar elementos de la geodiversidad, geositios y sitios de geodiversidad en distintas regiones del territorio uruguayo, con el fin de aportar para su conservación. Algunos ejemplos, los constituyen contribuciones de Picchi (2018), Caballero (2020), Sanguinetti (2021), Faraone (2022) y Ramos (2023).

Tabla 2-1: Resumen de la cronología de hitos importantes para la geoconservación y los geoparques (Serra, 2019).

Año	Hito relacionado con la conservación del patrimonio geológico
1872	Creación del primer Parque Nacional ( <i>Yellowstone</i> , EUA) donde destacan los fenómenos geotérmicos.
1948	Constitución de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza ( <i>International Union for the Conservation of Nature</i> , IUCN).
1972	Con la colaboración de la IUCN, Unesco aprueba la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural ( <i>Convention concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage</i> ). Inicio del Programa Internacional de las Ciencias de la Tierra (IGCP).
1988	Formación de la primera asociación europea para la protección del patrimonio geológico: <i>European Association for the Conservation of the Geological Heritage</i> (ProGEO).
1990	Publicación del documento <i>Earth science conservation in Great Britain – A strategy</i> .
1991	Declaración de Digne (Francia) de los Derechos de la Memoria de la Tierra, donde se afirma que el patrimonio geológico es un patrimonio de la humanidad.
1996	Creación del Proyecto Geosites, propuesto por la IUGS y patrocinado por la UNESCO, que aspira a la elaboración de un inventario mundial de puntos de interés.
1997	La Unesco propone a los Geoparques con objetivos de gestión del patrimonio geológico que incorporan, además de la protección que supone el Proyecto Geosites, la participación en el desarrollo sostenible del territorio.
2000	Fundación de la Red de Geoparques Europeos ( <i>European Geoparks Network</i> , EGN).
2004	Fundación de la Red Mundial de Geoparques ( <i>Global Geoparks Network</i> , GGN). Fundación de la Red de Geoparques de Asia-Pacífico ( <i>Asia Pacific Geoparks Network</i> , APGN)
2007	El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) crea el Área de Investigación del Patrimonio Geológico y Minero.
2008	Año Internacional del Planeta Tierra.
2015	Inicio del Programa Internacional de Ciencias de la Tierra y Geoparques de la UNESCO ( <i>International Geosciences and Geoparks Programme</i> , IGGP).
2017	Fundación de la Red de Geoparques de Latinoamérica y el Caribe (GeoLAC)

### **2.2.1 Geoparques Mundiales UNESCO: histórico y proceso de adhesión**

Antes de la creación de los Geoparques Mundiales UNESCO, los sitios geológicos y paleontológicos de importancia eran gestionados por diversas entidades gubernamentales y organizaciones no gubernamentales, sin una coordinación adecuada entre ellas (IUCN, 1996). Esto resultaba en una falta de planificación y estrategia para la conservación y promoción de estos lugares, lo que podía llevar a la degradación de los mismos por la falta de medidas de protección y a la falta de aprovechamiento de su potencial turístico y educativo (Whitford, 2001). La creación de los Geoparques Mundiales UNESCO ha permitido una mayor integración y colaboración entre las diferentes partes interesadas, así como un reconocimiento internacional de la importancia de estos sitios y de los esfuerzos para su protección y promoción sostenible (UNESCO, 2004).

Los Geoparques Mundiales de la UNESCO se establecen mediante un proceso ascendente en el que participan todas las partes interesadas y las autoridades locales/regionales pertinentes de la zona (por ejemplo, propietarios de tierras, grupos comunitarios, proveedores turísticos, pueblos indígenas, organizaciones locales, etc.). Este proceso requiere un compromiso firme por parte de las comunidades locales, una sólida local con un apoyo público y político a largo plazo, y el desarrollo de una estrategia global que satisfaga todos los objetivos de las comunidades que cumpla todos los objetivos de las comunidades y, al mismo tiempo, muestre y proteja el patrimonio geológico de la zona (UNESCO, 2015).

El proceso para que una determinada área sea incluida en la lista de Geoparques Globales está disponible en el sitio web de la UNESCO (UNESCO 1, referencia digital): Las instrucciones más precisas están recopiladas en un documento llamado "Estatutos y Directrices Operativas para los Geoparques Globales de la UNESCO" (UNESCO, 2015). En este documento se explican detalladamente la organización del IGGP y algunos de los criterios generales para seleccionar nuevos Geoparques Mundiales UNESCO. Su estructura institucional se compone principalmente de un consejo, una oficina y un equipo de evaluación, además de contar con un secretariado y un director general.

Antes del envío oficial del expediente de solicitud, se espera que el país miembro interesado envíe una carta explicando su deseo de unirse a la GGN y participar en el IGGP. Posteriormente, siguiendo las fechas anuales establecidas para el envío de solicitudes, se debe preparar un expediente compuesto por varios documentos, junto con una descripción detallada del área que se convertirá en Geoparque Global. Esta

descripción debe incluir información sobre la ubicación del área, sus recursos geológicos principales, infraestructura existente, proyectos en desarrollo, métodos de gestión, otros patrimonios en las categorías "culturales", "naturales" e "intangibles", actividades educativas y turísticas, así como las asociaciones y redes establecidas a nivel local, regional o internacional, entre otros aspectos relevantes. Es crucial tener en cuenta que las solicitudes solo serán aceptadas si provienen de geoparques aspirantes que ya estén operativos como tales. Según los criterios de la UNESCO, estos geoparques deben estar en funcionamiento durante al menos un año antes de presentar la solicitud oficial (Beil, 2020).

El expediente de solicitud pasará por un proceso de preevaluación realizado por el Secretariado, el cual verificará si toda la información se encuentra completa y en el formato correcto. Si se cumplen estos requisitos, la parte geológica del expediente será enviada para su análisis por parte de la IUGS. Al mismo tiempo, la Oficina designará al Equipo Evaluador que llevará a cabo la visita al terreno, siendo los costos de esta visita responsabilidad del solicitante. Durante esta fase, se generará un informe detallado sobre la situación observada en el lugar, incluyendo consideraciones pertinentes. Este informe será posteriormente enviado para su evaluación por parte del Consejo. El Consejo, a su vez, revisará el expediente de solicitud, el informe del Equipo Evaluador y las consideraciones de la IUGS, tomando una decisión de "aceptar" o "denegar" la solicitud. En caso de una decisión afirmativa, la Oficina se encargará de organizar la documentación y enviará una recomendación de aceptación al director general y al cuerpo ejecutivo de la UNESCO, quienes deberán respaldar la decisión y proceder con el resto de la documentación necesaria (Beil, 2020).

Es necesario realizar revalidaciones periódicas, lo que implica que el título de Geoparque Mundial no es vitalicio y debe renovarse mediante una nueva solicitud cada cuatro años. El proceso de revalidación implica una visita de campo realizada por dos evaluadores independientes designados por la EGN y la UNESCO. La metodología de evaluación examina el progreso en la protección y promoción del patrimonio geológico, así como el desarrollo de actividades económicas sostenibles dentro de cada territorio. Sin embargo, también se tiene en cuenta el grado de participación activa del Geoparque en la colaboración internacional y las redes de trabajo (Zouros, 2010).

Durante cada proceso de renovación, se asigna una tarjeta al Geoparque. La tarjeta verde indica que el territorio seguirá siendo reconocido como Geoparque Global; una tarjeta roja

señala que el territorio debe ser excluido; una tarjeta amarilla otorga un período de dos años antes de tomar una decisión final para resolver los problemas identificados.

Una aplicación exitosa de geoparques aspirantes a Geoparque Mundial UNESCO deberá demostrar al menos (UNESCO 2, referencia digital):

- (1) Tener patrimonio geológico de valor internacional y ser gestionado por una entidad con existencia legal reconocida bajo la legislación nacional.
- (2) La entidad de gestión debe incluir a todas las partes interesadas pertinentes, incluidos socios, la comunidad científica, local e indígena (si la hay).
- (3) Debe contar con un plan de gestión integral que abarque cuestiones de gobernanza, desarrollo, comunicación, protección, infraestructura, finanzas y asociación.
- (4) Debe discutir e intercambiar información con otros Geoparques Mundiales de la UNESCO, así como con la Red Global de Geoparques.
- (5) Debe conectar su patrimonio geológico con su patrimonio cultural y natural, y utilizarlo con fines educativos, de concientización e información para visitantes y lugareños por igual.
- (6) Debe ser, por supuesto, un solo territorio unificado, sin fronteras interrumpidas, y todo el territorio debe estar involucrado en las actividades del Geoparque.
- (7) Si el proyecto de Geoparque está a menos de 100 km de un Geoparque Global de la UNESCO existente, será necesario realizar un estudio para demostrar la diferencia geológica y la posible complementariedad con ese Geoparque.
- (8) También es importante que el Geoparque se involucre en una marca adecuada, y en visibilidad y comunicación, tanto para visitantes como para la población local, a través de un sitio web, señalización, paneles, museos, rincones de Geoparque, centros de visitantes, folletos y un mapa detallado de la zona que conecta los sitios geológicos y otros sitios de interés. Un aspirante a Geoparque Global de la UNESCO debe tener una identidad corporativa que lo diferencie de otras designaciones o áreas protegidas en la zona.

## **2.2.2 Red Latinoamericana y del Caribe de Geoparques**

En 2015, un simposio titulado "Geoparques y geopatrimonio: promoviendo el geopatrimonio en Latinoamérica" se llevó a cabo en la Ciudad de México, organizado por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Representantes de Argentina, Chile, Ecuador, México, Nicaragua, Perú y Uruguay asistieron, junto con coordinadores de la Red Mundial de Geoparques (GGN) y la Red Europea de Geoparques (EGN). Durante el evento, los participantes trabajaron para establecer la Red de Geoparques Latinoamericanos y del Caribe (Rosado-González, 2020).

Posteriormente, en Julio de ese año, los representantes de varios países suscribieron la "Declaratoria de Arequipa" durante el Primer Simposio Nacional de Geoparques en Perú, con el objetivo de aumentar el número de geoparques en América Latina. La Red Latinoamericana y del Caribe se unió a la Red Global de Geoparques, siguiendo el ejemplo de las redes regionales mencionadas previamente, como la Red Europea (EGN) y la Red de Asia Pacífico (APGN).

En los últimos años se ha ido afianzando esta red, en la actualidad la conforman 12 geoparques en siete países, uno de ellos en Uruguay, que están detallados en la Tabla 2.2.

Tabla 2-2: Geoparques integrantes de la Red Latinoamericana y del Caribe por país y año de ingreso a la Red Mundial.

<b>Geoparque Mundial UNESCO</b>	<b>País</b>	<b>Año de ingreso a la Red Mundial</b>
Araripe	Brasil	2006
Grutas del Palacio	Uruguay	2013
Comarca Minera	México	2017
Mixteca Alta	México	2017
Imbabura	Ecuador	2019
Colca y Volcanes de Andagua	Perú	2019
Kutralküra	Chile	2019
Rio Coco	Nicaragua	2020
Seridó	Brasil	2022
Caminhos dos Canyons do Sul	Brasil	2022
Quarta Colonia	Brasil	2023
Caçapava	Brasil	2023

### **2.3 Antecedente nacional: Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio**

El 9 de septiembre de 2013, el Geoparque Mundial Grutas del Palacio fue admitido en la GGN con el auspicio de la UNESCO. Esta área abarca 3.611 km<sup>2</sup> y se encuentra principalmente en el departamento de Flores, con una pequeña porción en los departamentos de Soriano y Rio Negro.

La conformación del geoparque exhibe una interesante variedad de formaciones geológicas que representan diferentes momentos de la historia del planeta, desde hace unos 2.100 millones de años hasta la actualidad. Las rocas más antiguas pertenecen al Cratón del Río de la Plata, que está compuesto principalmente por granitos y granodioritas y junto con algunos cinturones de rocas metamórficas forma la estructura del basamento cristalino del geoparque y contiene una variedad de rocas ígneas, metamórficas, sedimentarias y sedimento. El Geoparque cuenta con 15 sitios geológicos y 12 sitios de interés turístico. Estos recursos geológicos son utilizados con fines turísticos como parte de un plan para el desarrollo de la comunidad local. El geoparque cuenta con dos áreas ingresadas al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), el geosito emblemático que da nombre al geoparque, “Grutas del Palacio” y la localidad rupestre de Chamangá, el primero como Monumento Natural y el segundo como Paisaje Protegido (sitio web Geoparque Grutas del Palacio, 2023).

En 2017 se llevó a cabo una misión evaluadora de UNESCO en que se sugirió que cada sitio geológico del Geoparque fuera inventariado y evaluado considerando su valor científico, educativo y/o turístico, así como su vulnerabilidad. Esto culminó con que diferentes trabajos a nivel de enseñanza terciaria fueran realizados en el Geoparque (Picchi, 2018; Sanguinetti, 2021; Caballero, 2021, Ramos 2023).

El Geoparque logró mantener su *status* como Geoparque Mundial UNESCO tras pasar exitosamente el proceso de revalidación en 2017 y 2022. Además de este logro, el geoparque ha implementado diversas iniciativas que han contribuido al desarrollo sostenible de la región. Entre ellas destacan la promoción a los geoproductos y los recursos educativos, los cuales permiten a los visitantes explorar y aprender sobre la riqueza geológica y cultural de la región.

El geoparque ha creado una oferta turística que pone en valor su patrimonio geológico y que es referencia en Uruguay, apoyada en la naturaleza y el patrimonio cultural, lo que ha permitido ofrecer una alternativa de turismo rural, más allá del turismo de sol y playa o termal, que es característico en el país. Además, fue un marco importante para la

instalación de una nueva línea de investigación en geología sobre la geodiversidad y el patrimonio geológico en Uruguay (Picchi, 2018).

## **2.4 Proyecto Geoparque Minero Botucatú: sus orígenes y presente.**

En el norte de Uruguay se vienen realizando diferentes actividades turísticas centradas en las tradiciones mineras desde hace varios años, particularmente en dos sitios: alrededores de la ciudad de Artigas y en Minas de Corrales, departamentos de Artigas y Rivera respectivamente.

En las cercanías de la ciudad de Artigas en el denominado Distrito Gemológico Los Catalanes se pueden realizar excursiones a las canteras de explotación de ágatas y amatistas, con el operador del Safari Minero (Hotel Casino San Eugenio de Artigas) entre otras ofertas turísticas que existen allí. El recorrido también incluye una visita a los talleres que procesan las piedras en bruto para su comercialización, donde se pueden observar todas las etapas de limpieza y pulido de las piedras semipreciosas.

A unos 165 km al Este de Artigas, en la ciudad de Minas de Corrales en el departamento de Rivera, existe un emprendimiento turístico relacionado a la minería que tiene como foco a la actividad extractiva del oro, que comenzó a ocurrir a fines del Siglo XIX y por distintos momentos estuvo activa. Además de las bocaminas, en la propuesta turística se pueden visitar la represa hidroeléctrica de Cuñapirú, parte de las ruinas del primer pueblo minero de Uruguay y el museo del oro, a través de la Ruta del Oro (Posada del Minero).

Además del turismo minero, esta región también atrae a los interesados en el ecoturismo, en las Quebradas del Norte y la región del Paisaje Protegido Valle del Lunarejo, donde existen actualmente al menos 18 emprendimientos que utilizan estos atractivos como promoción turística.

En este contexto de atractivos turísticos naturales y mineros, y en conocimiento del concepto de geoparques, un grupo de operadores turísticos privados y la Facultad de Ciencias de UDELAR vienen trabajando en conjunto en el desarrollo del proyecto del Geoparque Minero Botucatú (ver logo en Figura 2.2). Desde el 2017 se vienen realizando trabajos de promoción del proyecto (talleres en línea y presenciales), conformación de grupos de trabajo y alianzas institucionales en el marco del proyecto. Este proyecto cuenta con el apoyo y el aval de UNESCO, FCIEN, Comité Nacional de Geoparques y Ministerio de Turismo (Ministerio de Turismo, 2011).



Figura 2-2: Folleto informativo del taller de divulgación del proyecto Geoparque Minero Botucatú con el logo del proyecto (Arte gráfica: Gextuy, 2021).

## 2.5 Antecedentes en las proximidades del área de estudio

El área propuesta para el proyecto del Geoparque Minero de Botucatú limita con Brasil en los departamentos de Rivera y Artigas. Existen lugares de interés geológico en Brasil muy próximos al proyecto de Geoparque (menos de 40 km) y que ya son utilizados en campañas de geoturismo brasileñas. Uno de estos sitios es el Cerro do Jaraú, un astroblema situado en el suroeste del Estado de Rio Grande do Sul, a 30 km de la ciudad de Artigas. Se trata de un cráter de aproximadamente 3.5 km de diámetro provocada por el impacto de un meteorito que colisionó con la superficie. Se estima que el área afectada sería de unos 14 km de diámetro, y que en la porción central rocas sedimentarias jurásicas serían las afectadas, las cuales están cubiertas en las porciones más externas por lavas básicas cretácicas. El Cerro do Jaraú es el segundo mayor astroblema de Brasil y uno de los mayores de Sudamérica. Su importancia geológica y científica es reconocida internacionalmente, siendo estudiado por geólogos, paleontólogos y otros investigadores de todo el mundo (Philipp *et al.*, 2010; Sánchez *et al.*, 2014).

En los últimos años, el Cerro do Jaraú también se ha destacado como destino turístico. La región ofrece varias actividades centradas en la observación y exploración del patrimonio geológico, como el senderismo, escalada y visitas guiadas a yacimientos arqueológicos y

paleontológicos. Varias publicaciones científicas han abordado el tema, proponiendo estrategias para desarrollar el turismo de forma sostenible y preservar el patrimonio natural y cultural de la región (Sánchez & Garcia, 2013; Kormann & Wiggers, 2021, Lemes, 2022).

Otro sitio de interés en la región es el Cerro Palomas, que está ubicado en el municipio de Santana do Livramento (RS-Brasil), a 20 km de la ciudad de Rivera. Este sitio fue objeto de estudio en el trabajo de Sell (2017), donde se identificó y caracterizó el patrimonio paisajístico de carreteras en la Pampa Brasil-Uruguay. El objetivo del trabajo fue proporcionar información que permitiera desarrollar políticas de conservación y explotación del potencial turístico de esa región. En ese estudio se revisaron cuatro carreteras paisajísticas en Uruguay, entre ellas la "Estrada paisajística Mesetas", que contempla cuatro sitios uruguayos y uno en Brasil: el Cerro Palomas. Esta carretera paisajística recorre un tramo de 200 km, en el que una parte se encuentra en la BR 158 y otra en la Ruta Nacional N°5. El tramo de la Ruta N°5 caracterizado por la autora está dentro del área propuesta para el proyecto Geoparque Minero Botucatu, y dos de los cuatro sitios de interés paisajístico que se analizaron también se consideraron en el presente estudio.

Recientemente, Bruno *et al.* (2023) proponen una ruta geoturística que parte desde el Cerro Palomas con destino final en el Cerro do Jaraú. Allí, se procuró contribuir en la promoción del uso de la geodiversidad con fines geoturísticos en la frontera Uruguay-Brasil.

## **2.6 Visión general de las políticas de preservación del Patrimonio Natural en Uruguay**

En Uruguay la política patrimonial se halla regida por la Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural, Ley N°15.964 de 28 de junio de 1988, aprobada por la Conferencia General de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, el 16 de noviembre de 1972.

A los efectos de la Convención se entiende por patrimonio natural:

- I. Los monumentos naturales constituidos por formaciones físicas y biológicas o por grupos de esas formaciones que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista estético o científico;

- II. Las formaciones geológicas y fisiográficas y las zonas estrictamente delimitadas que constituyan el hábitat de especies animales y vegetales amenazadas, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la ciencia o de la conservación;
- III. Los lugares naturales o las zonas naturales estrictamente delimitadas, que tengan un valor universal excepcional desde el punto de vista de la ciencia, de la conservación o de la belleza natural.

En el año 2000 se sanciona la Ley N° 17.234 para la creación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP), brindando una herramienta para la planificación y el manejo de las áreas a proteger. Esta Ley se enmarca en el Convenio de Diversidad Biológica ratificado por Uruguay en 1993 a través de la Ley N° 16.408, de 27 de agosto de 1993, y en la Ley General de Protección Ambiental, N° 17.283, de 28 de noviembre de 2000 (Ruocco, 2018).

El Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) es un conjunto de áreas naturales del territorio nacional que deben ser preservadas como patrimonio de la Nación debido a sus valores ambientales, históricos, culturales o paisajísticos singulares, incluso si han sido parcialmente transformadas por el hombre. Los objetivos de la Ley N° 17.234 son proteger la biodiversidad y los ecosistemas, los hábitats naturales, los paisajes únicos, las cuencas hidrográficas, los objetos culturales, históricos y arqueológicos, así como proporcionar oportunidades para la educación ambiental, la investigación, la recreación al aire libre, el desarrollo socioeconómico y el aprovechamiento de la diversidad biológica nacional y los hábitats naturales.

Fueron creadas cuatro categorías (1-4) de definición y manejo para las áreas naturales protegidas (Art.3°) y al momento de reglamentarse la Ley N° 17.234, por medio del decreto N° 52/005, fueron agregadas otras dos categorías (5-6) más (Art. 4°):

- (1) Parque nacional: áreas donde existen uno o varios ecosistemas que no se encuentran significativamente alterados por la explotación y ocupación humana, especies vegetales y animales; son sitios geomorfológicos y hábitats que presentan un especial interés científico, educacional y recreativo, o comprenden paisajes naturales que se consideran de una belleza excepcional.

- (2) Monumento natural: son áreas que contienen uno o varios elementos naturales específicos de notable importancia nacional, como una formación geológica, un sitio natural único, especies, hábitats o vegetales que pueden estar amenazados. Áreas donde la intervención humana, de realizarse, es de escasa magnitud y está bajo un estricto control.
- (3) Paisaje protegido: corresponde a una superficie territorial ya sea continental o marina, en la que las interacciones del ser humano y la naturaleza, a lo través de los años, han dado como resultado una zona de carácter definido, que presenta una singular belleza escénica o que contiene un valor de testimonio natural, y que puede contener valores ecológicos o culturales.
- (4) Sitios de protección: corresponden a áreas relativamente pequeñas que poseen valor crítico, ya sea porque: contienen especies o núcleos poblacionales relevantes de flora o fauna; dentro de ellas se cumplen etapas claves del ciclo biológico de especies de interés; tienen importancia significativa para el ecosistema que integran; contienen elementos geológicos, geomorfológicos o arqueológicos relevantes.
- (5) Áreas de manejo de hábitats y/o especies: son áreas terrestres y/o marinas sujetas a intervención activa con fines de manejo, donde se debe garantizar el mantenimiento de los hábitats y/o satisfacer las necesidades de determinadas especies.
- (6) Área protegida con recursos manejados: corresponde a áreas que presentan sistemas naturales predominantemente no modificados, dónde a través del manejo de actividades se pretende garantizar la protección y el mantenimiento de la diversidad biológica a largo plazo, sin dejar de lado las actividades económicas que allí se realizan.

En la legislación uruguaya, hay pocas o ninguna figura de protección que restrinjan completamente el uso de las áreas protegidas por la población local. Tanto el “Área de manejo de especies y/o hábitats” como el “Área protegida con recursos manejados” no evidencian una protección integral. La primera tiene como objetivo excluir/prevenir la explotación u ocupación hostil a los propósitos de designación de esta área, pero también busca contribuir con las poblaciones que viven dentro del área designada con los beneficios derivados de las prácticas o actividades que sean compatibles con los objetivos

del manejo. La segunda, a su vez, busca promover prácticas de manejo racional con fines de producción sostenible y contribuir al desarrollo regional y nacional (Sell, 2017).

### **3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

#### **3.1 Sobre los departamentos del Proyecto Geoparque Minero Botucatu**

##### **3.1.1 Artigas**

Las informaciones presentadas sobre el departamento de Artigas (Figura 1-1) fueron obtenidas a partir del Plan de Desarrollo Departamental (2012-2025), publicado en 2011 por el Consejo Cooperación Departamental de Artigas. Este documento reúne datos sobre las características geográficas, demográficas, informaciones sobre las actividades económicas y desarrollo social del departamento. El documento fue elaborado con datos del censo del Instituto Nacional de Estadísticas de 2011, el más reciente publicado en Uruguay.

##### ***Ubicación y demografía***

El departamento de Artigas es el departamento más al norte de Uruguay, con una superficie de 11.928 km<sup>2</sup> y una población de 73.378 habitantes, de los cuales el 4,8% viven en zonas rurales. Es limítrofe con Brasil al norte (Río Cuareim) y con Argentina al oeste (Río Uruguay), le otorga la característica de triple frontera, única a nivel nacional. Las rutas nacionales N° 5, 30, 3, 4 y 1, posibilitan la conexión con el resto del país.

Artigas tiene un 0,067% de su superficie correspondiente a áreas protegidas, ubicada en el paisaje protegido Valle del Lunarejo (SNAP) y el área protegida de Manejo de hábitats y/o Especies Rincón de Franquía, zona que comprende la desembocadura del Río Cuareim en el río Uruguay y tiene un importante valor ecológico. Existe también la idea de formar un Parque Trinacional sumando las zonas aledañas del Parque Estadual do Espinho en Barra de Quaraí, Brasil, y alguna posible área protegida en la desembocadura del Miriñay en Argentina.

##### ***Desarrollo económico***

El departamento de Artigas cuenta con una economía que se basa en la explotación de los recursos naturales, principalmente la ganadería, la agricultura y la minería.

La ganadería es el rubro más importante en Artigas, con un stock de ganado vacuno de 753 mil cabezas y una producción de 5.500.000 litros de leche al año. La explotación de ganado vacuno y ovino se realiza en establecimientos rurales de diversos tamaños y tipos, siendo el rubro ovino el segundo más importante en el departamento, con una producción de 1.240.000 cabezas de ovejas.

La agricultura también es un sector importante en Artigas, con grandes extensiones de tierra dedicadas al cultivo de la caña de azúcar, el arroz, la vitivinicultura y los cultivos de hortalizas. El clima, los suelos bajos y las posibilidades de riego por inundación favorecen la producción de arroz en Artigas, siendo esta actividad desarrollada en la zona de influencia de la ciudad de Artigas y en la zona noreste del departamento. Por su parte, la caña de azúcar es procesada en un complejo industrial agroenergético-alimentario para la producción de azúcar, biocombustibles y alimento para el ganado. También existe una importante actividad dedicada a la vitivinicultura y a los cultivos de hortalizas en la zona de Bella Unión.

La minería es otro sector importante, con la extracción de piedras semipreciosas en la zona del Catalán, a 60 km de la ciudad de Artigas, en la zona de los alrededores del km 170 de la Ruta 30. Existen unas 20 empresas dedicadas a la extracción y explotación de amatistas, cuarzos y ágatas, que son vendidas en bruto a China y Brasil o son industrializadas en pequeños talleres de tallado de tipo artesanal y enviadas a Europa, China y Estados Unidos. Esto sitúa a Artigas entre los principales productores mundiales de dichos minerales, con destaque para las amatistas que son bastante valoradas por su coloración violeta intenso, reconocidas a nivel mundial. Se estima que la actividad minera emplea a más de 500 personas en Artigas.

En cuanto a la actividad industrial, Artigas cuenta con el ingenio azucarero de ALUR, el procesamiento de arroz en molinos repartidos por todo el departamento, el tallado de piedras semipreciosas, la presencia de curtiembres y el congelado de frutas y verduras.

El turismo de compras es una actividad que ha cobrado relevancia en los últimos años en Artigas, con la presencia de *Free Shops* ubicados en las ciudades de Artigas y Bella Unión, atrayendo principalmente a turistas provenientes de Brasil. También se destaca en el departamento el Carnaval, que moviliza un número importante de turistas y actividades económicas para asistir al espectáculo de las Escuelas de Samba en las calles.

### **3.1.2 Rivera**

#### ***Ubicación y demografía***

El departamento de Rivera (Figura 1-1) se encuentra en el norte de Uruguay, limitando con Brasil, al Este con Cerro Largo, al Sur con Tacuarembó y al Oeste con Artigas y Salto. Su capital es la ciudad de Rivera. Con una superficie de 9.370 km<sup>2</sup> y una población de 103.493 habitantes según el censo de 2011 del INE, Rivera es el quinto departamento

más densamente poblado del interior del país. Cuenta con localidades importantes en cuanto a población y producción como Minas de Corrales, Tranqueras y Vichadero.

Rivera es una de las principales puertas de entrada entre Uruguay y Brasil y está hermanada con la ciudad brasileña de Santana do Livramento, fusionando dos culturas y dos idiomas para generar políticas de acción binacionales en áreas como la cultura, educación, desarrollo regional y aspectos sociales (sitio web Intendencia Departamental de Rivera, 2017).

### ***Desarrollo económico***

El departamento de Rivera destina gran parte de su superficie para la cría de ganado bovino (588 mil cabezas, 5,5% del total nacional) y ovino (342 mil cabezas, con el rebaño más grande del país). El sector forestal con más de 178 mil hectáreas también se destaca en la región, existiendo una importante producción de madera con mayor valor agregado como es la industrialización de madera sólida. El sector arrocero se destaca por la presencia de grandes inversiones agropecuarias con capitales locales y provenientes de Brasil. Actualmente, el departamento cuenta con 2.296 hás dedicadas al arroz (sitio web Intendencia Departamental de Rivera, 2017).

La exploración y explotación minera y comercial de oro y otros minerales valiosos ha sido punto de origen del municipio de Minas de Corrales y marcó la historia del pueblo que vivió una explotación cíclica relacionada a los hechos macroeconómicos (Chirirco, 2005). Hace 141 años, la Compañía Francesa de Minas de Oro del Uruguay se instaló en Minas de Corrales, explotando oro a cielo abierto y subterráneo durante 60 años. En la década de 1910, la compañía comenzó a producir a déficit, y recién en 1939 cesó su producción. En 1996, la extracción de oro volvió a través del grupo *Uruguay Mineral Exploration* en la Mina de San Gregorio, pero se detuvo en 2022. Sin embargo, esta actividad representó cifras significativas con un promedio de exportaciones al año 1998-2003 de 3,3 toneladas (Estadísticas DINAMIGE, 2003).

El turismo de compras es bastante expresivo, representando un 10% de la economía local. La ciudad de Rivera cuenta con aproximadamente 50 *Free Shops* y recibe un promedio de 20.000 turistas motivados por las compras. El departamento también recibe cerca de 170.000 turistas argentinos en viaje a Brasil y 150.000 brasileños entran a Uruguay por Rivera con destino a atracciones turísticas de Uruguay y Argentina (sitio web Intendencia Departamental de Rivera, 2017).

En 2022 fue firmada el convenio para el desarrollo de la “Ruta del Oro” por parte del “Programa de Desarrollo de Destinos Turísticos Emergentes”, que prevé obras en las galerías subterráneas de Minas de Corrales mejorando el acceso en las bocaminas y los miradores al margen de la ruta 29 (Ministerio de Turismo, 2022).

### **3.1.3 Tacuarembó**

#### ***Ubicación y demografía***

Tacuarembó (Figura 1-1) es el departamento más grande de Uruguay y su capital es la ciudad homónima. Está ubicado en la zona centro-norte del país y tiene una superficie total de 15.438 km<sup>2</sup>, lo que equivale al 8,76% del área total de Uruguay.

Según los datos del reporte departamental de 2020 (DINEM), el departamento de Tacuarembó tiene una población de 92.945 habitantes. Los microdatos de la Encuesta Continua de Hogares 2014 y del Censo 2011 del INE muestran que el 89,3% de la población reside en áreas urbanas.

#### ***Desarrollo económico***

Tacuarembó es centro comercial de una región de estancias ganaderas, con predominio de ganado bovino. La producción agrícola de cereales y oleaginosas, se añade como materia prima que alimenta las industrias de la ciudad: cárnica-frigorífica, moliendas arroceras y harineras. Sobre la base de las formaciones forestales ripícolas subtropicales funcionan varios aserraderos (sitio web Intendencia Departamental de Tacuarembó, 2023)

El departamento presenta diversas opciones de turismo en los alrededores de la localidad, incluyendo un museo dedicado a Carlos Gardel en Valle Edén. También se encuentran a pocos kms del centro bellos espejos de agua, como la Laguna de las Lavanderas y el balneario Iporá, así como la gruta de los helechos gigantes. En la ciudad, se recomienda visitar el Museo del Indio y del Gaucho, así como el Museo de Geociencias. En el mes de marzo, la ciudad alberga el evento folclórico más destacado del país, conocido como "La Patria Gaucha" (sitio web Intendencia Departamental de Tacuarembó, 2023)

### **3.2 Clima**

Uruguay pertenece a la provincia climática Cfa, que corresponde a un clima templado-subtropical sin una estación seca claramente definida (Koeppen, 1918). Este tipo de clima

se caracteriza por una temperatura media del mes más cálido superior a  $22^{\circ}\text{C}$ , mientras que la de los meses más fríos es inferior a  $18^{\circ}\text{C}$ , pero no baja de  $-3^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas medias anuales sobre el país presentan un aumento hacia el norte por la disminución de la latitud (de  $35^{\circ}$  a  $30^{\circ}$ ). En términos de precipitaciones, éstas son constantes a lo largo de todo el año, por lo que no se puede identificar ninguna estación específica como seca. Los valores medios de precipitación anual se sitúan entre 1200 y 1600 mm, con los máximos valores al Noreste (NE) del país.

El área de estudio tiene la temperatura media anual más alta en comparación con otras regiones del país, superando por  $2^{\circ}\text{C}$  a la zona más fría y siendo  $1^{\circ}\text{C}$  menos caliente que la región más al norte, según se puede observar en la Figura 3.1. Además, se encuentra en la parte de la franja con la mayor cantidad de lluvia anual, con una precipitación media de 1400 -1500 mm al año, lo que representa 400 mm más de lluvia al año que las zonas del sur del país que tienen menor cantidad de precipitaciones. A título de ejemplo, los datos de climatología 1991-2020 muestran que la precipitación anual de Montevideo fue de 1164 mm, mientras que la de Rivera es de 1583 mm y Artigas 1524 mm (INUMET).

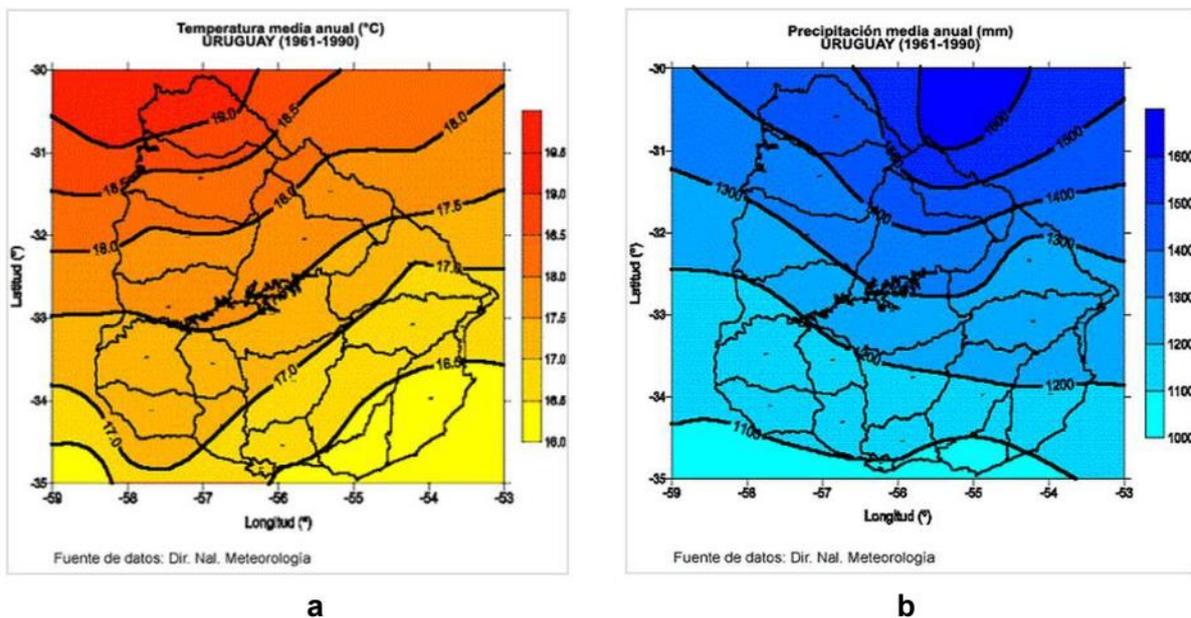


Figura 3-1: Variables Climáticas en Uruguay (a) Temperatura media anual. (b) Precipitación media anual (INUMET).

### 3.3 Geomorfología

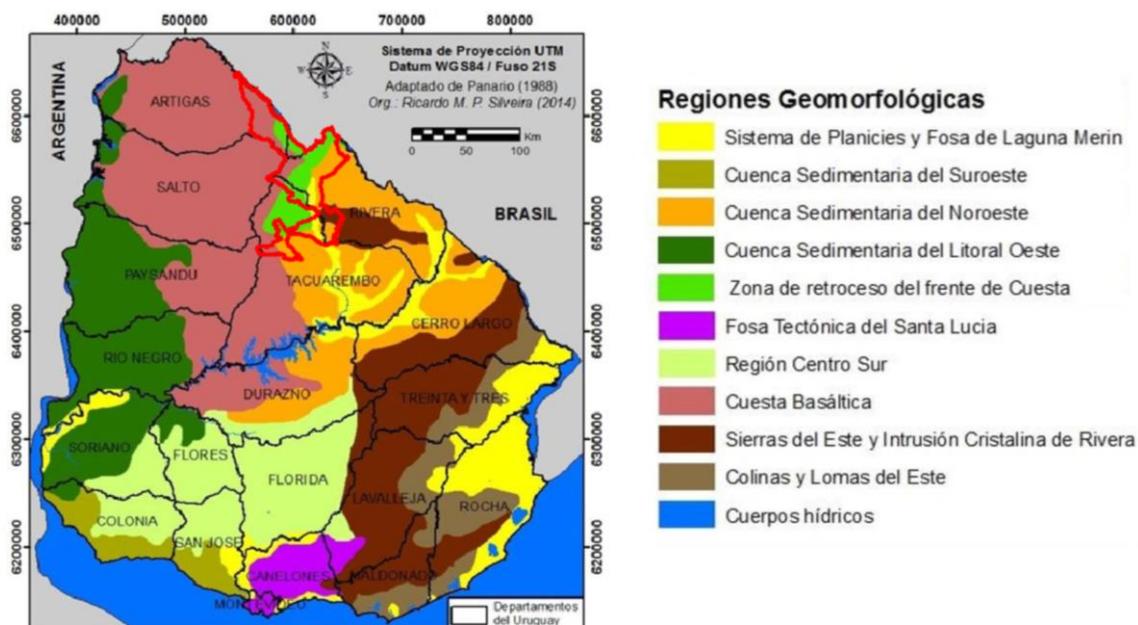


Figura 3-2: Mapa de las regiones geomorfológicas de Uruguay con el área del proyecto Geoparque Minero Botucatu en destaque en rojo (Adaptado de Panario, 1988 en Silveira, 2014).

Uruguay es un país de topografía baja, con una altitud promedio de unos 140 m. La presencia de formas ligeramente onduladas en el paisaje da lugar a amplias planicies en algunos puntos del país. En cuanto a la geografía de Uruguay, no existen accidentes de relevancia, lo que propicia una distribución relativamente homogénea del clima en todo su territorio. Las grandes regiones morfoestructurales se definen a partir de eventos tectónicos de gran magnitud, mientras que, dentro de cada región, la naturaleza de las rocas presentes confiere a cada unidad paisajística un perfil distintivo (Panario, 1988).

El territorio destinado al proyecto Geoparque Minero Botucatu se encuentra distribuido en cuatro regiones geomorfológicas de las definidas por Panario (1988): (i) Cuesta basáltica, (ii) Cuenca Sedimentaria del Noroeste, (iii) Zona de retroceso del frente de Cuesta, (iv) Sierras del Este e Intrusión Cristalina de Rivera (Figura 3-2).

La Cuesta Basáltica surge debido a la acumulación de derrames basálticos, presentando una suave inclinación hacia el Río Uruguay. Esta región geomorfológica desarrolla un característico paisaje plano, de escasa vegetación arbustiva, abundantes pasturas y una homogeneidad topográfica muy regular. En el borde occidental de esta elevación, se comporta como una cuenca sedimentaria, donde se depositan sedimentos de diferentes orígenes, correspondientes a las épocas cretácica y post-cretácica. Por otro lado, en el límite oriental de la cuesta, se encuentra la escarpa o frente de la cuesta (cuchilla de

Haedo). En la zona de transición entre ambas unidades litoestratigráficas, se han formado varios cursos fluviales que favorecen el retroceso de la escarpa (región geomorfológica iii), dando lugar a formas geológicas como los cerros chatos o cerros testigos (Figura 3-3) (Chebataroff, 1935 *en* Panario, 1988).



Figura 3-3: Cerros chatos o cerros testigos presentes en el área de estudio.

La cuenca sedimentaria del Noreste representa un paisaje dominante de sucesivas lomas suaves, colinas onduladas y un gradiente de pendiente muy bajo. En la región en que aflora el basamento pre-devónico, la Isla Cristalina de Rivera, las geformas tienen cumbres relativas de cimas suavizadas y elongadas, con pendientes moderadas en las faldas (Panario, 1988).

### 3.4 Hidrografía

El área de estudio se encuentra distribuida en las cuencas del Río Uruguay y Río Negro (Figura 3-4).

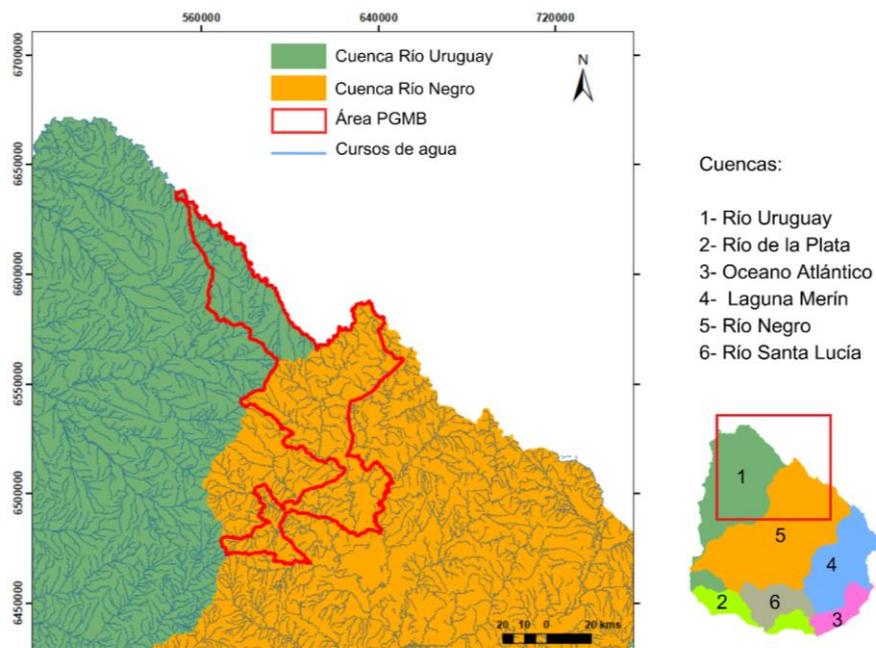


Figura 3-4: Mapa con los cursos de agua y el área destacada de las cuencas Río Uruguay y Río Negro.

### 3.5 Contexto Geológico Regional

El territorio de Uruguay está compuesto principalmente por rocas del basamento cristalino precámbrico y por coberturas fanerozóicas. En el área de estudio, se destacan la Isla Cristalina de Rivera, que es una porción del basamento cristalino, y los depósitos de la Cuenca del Paraná, conocidos como Cuenca Norte Uruguaya (Figura 3-5).

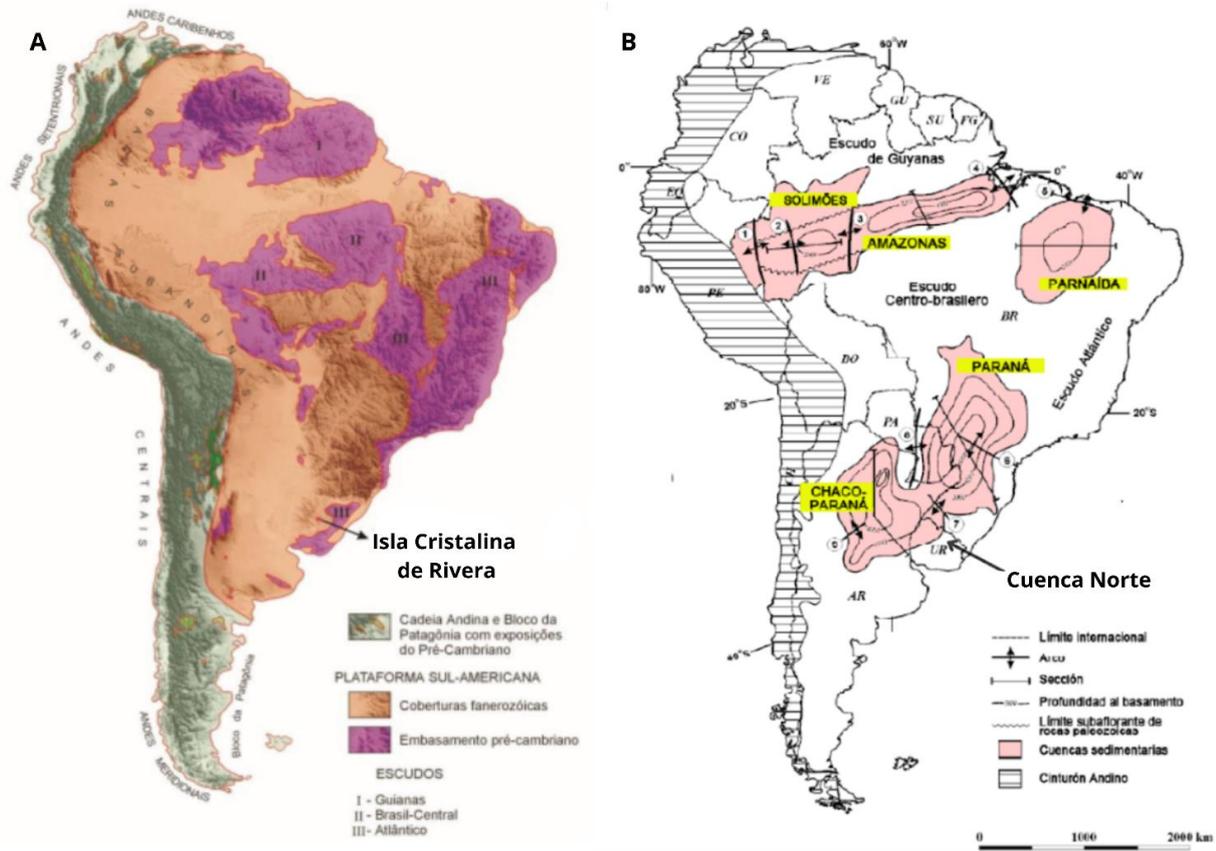


Figura 3-5: (a) Mapa geológico esquemático de Sudamérica con destaque para la Isla Cristalina de Rivera (Modificado de Schobbenhaus *et al.*, 2003 en Aboy, 2016) y (b) cuencas intracratónicas paleozoicas del Basamento Precámbrico sudamericano con destaque de la porción uruguaya de la Cuenca Paraná, la Cuenca Norte (modificado de Milani y Zalán, 1998 en Soto, 2014).

El basamento precámbrico de Uruguay, denominado Escudo Uruguayo, comprende rocas formadas hace más de 541 Ma. Es una combinación de bloques de corteza de diferentes características, edades e historias geológicas, separados por discontinuidades de diversas magnitudes y asociados a magmatismos y rocas supracorticales de diferentes volúmenes. Este conjunto de rocas alcanzó una relativa estabilidad tectónica al final del Ciclo Brasiliano, hace aproximadamente 480 millones de años. El escudo constituye el basamento sobre el cual se desarrollaron las cuencas sedimentarias fanerozóicas, y su área expuesta representa el 44% del territorio nacional (Masquelin, 2006).

Otro aspecto fundamental del Escudo Uruguayo es su abundancia de recursos minerales metálicos y no metálicos, los cuales desempeñan un papel crucial en el desarrollo económico del país (Masquelin, 2006). En este contexto, se destaca la Isla Cristalina de Rivera, un alto de basamento cristalino en medio de depósitos sedimentarios fanerozoicos que se describen en la sección 3.6.1.

### **3.5.1 Cuenca Norte Uruguay (Cuenca Chacoparanaense)**

Como se ha mencionado anteriormente, la porción uruguaya de la Cuenca Paraná se conoce como Cuenca Norte (Figura 3-5) (Ucha & de Santa Ana, 1994). Esta vasta área de acumulación gondwánica, situada al norte de Uruguay, ha acumulado depósitos desde el Devónico hasta el Cretácico Tardío y se extiende sobre un área de aproximadamente 90.000 km<sup>2</sup>, ocupando los departamentos de Artigas, Salto, Tacuarembó, Rivera y Paysandú, y parcialmente en los departamentos de Cerro Largo, Durazno y Río Negro. El registro de esta cuenca se desarrolla en su mayoría al norte del Río Negro, y conserva más de 2.500 m de rocas sedimentarias y vulcano-sedimentarias en sus sectores más profundos. Estas fueron depositadas bajo estilos estructurales diferentes, conformando una sucesión de estratos genéticamente relacionados y limitados en techo y base por discordancias de alcance regional (de Santa Ana & Veroslavsky, 2003) (Figura 3-6).

La estratigrafía de la acumulación gondwánica uruguaya fue estudiada por Walter (1919), Falconer (1931, 1937), Caorsi-Goñi (1958), Bossi (1966), Elizalde (1970), Bossi et al (1975), Ferrando & Andreis, 1986, de Santa Ana & Veroslavsky, 2003, de Santa Ana *et al.* (2006) entre otros.

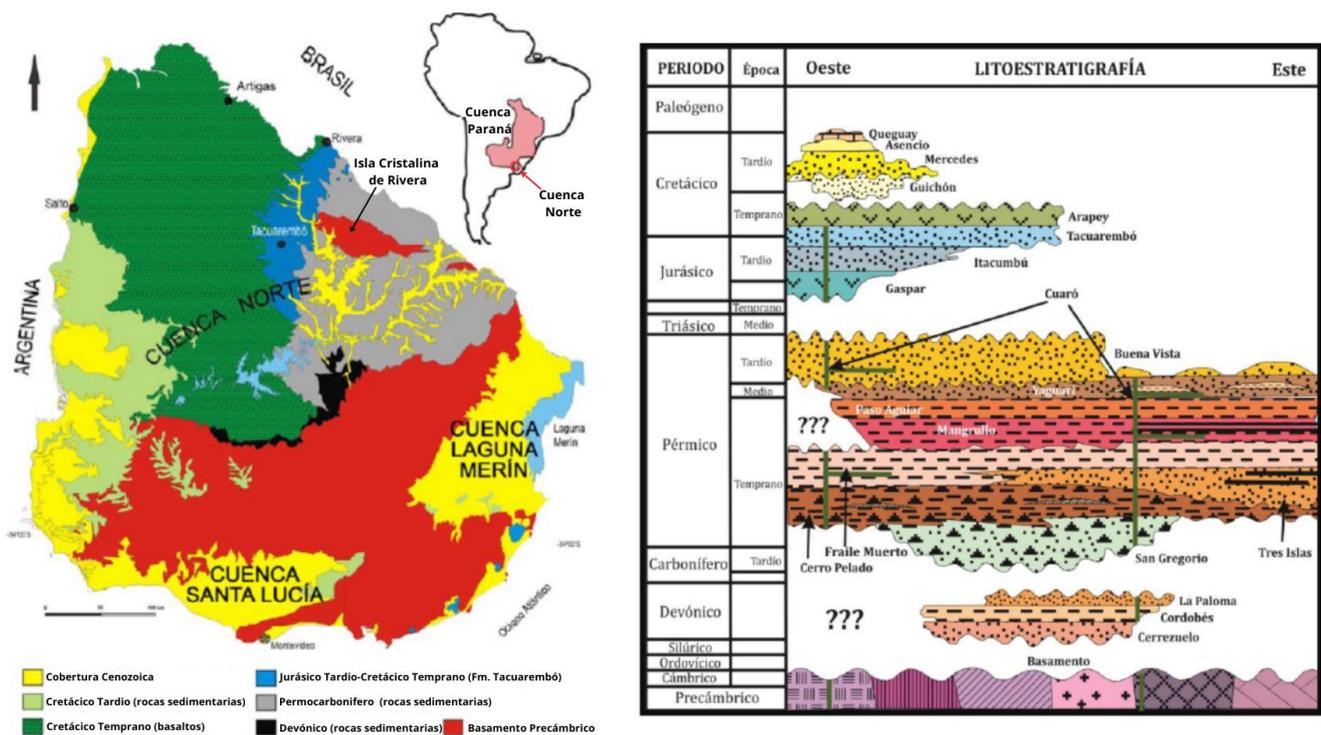


Figura 3-6: Mapa geológico simplificado de la Cuenca Norte (modificado de Perea *et al.* (2009) en Soto 2014) y columna estratigráfica de la Cuenca Norte. (modificado de de Santa Ana *et al.* (2006) en Marmisolle (2015).

Una de las características más notables de la Cuenca Norte es su carácter policíclico, que generalmente acompañó los grandes eventos que marcaron la evolución de la Cuenca Paraná. Sin embargo, existen excepciones locales como resultado de elementos tectónicos que compartimentaron sectores y restringieron las conexiones marinas entre las cuencas.

Su evolución estuvo condicionada y controlada por reactivaciones recurrentes del basamento cristalino del Cratón del Río de la Plata. Inicialmente, estuvo relacionada con eventos de colisión en el margen activo de la placa Gondwana suroccidental, seguida por eventos de naturaleza extensional relacionados con la tectónica de apertura del océano Atlántico Sur (de Santa Ana & Veroslavsky, 2004; Goso, 1965).

Goso *et al.* (1996) y posteriormente de Santa Ana & Veroslavsky (2004) definen cuatro grandes unidades depositacionales que son genéticamente relacionadas y evolutivamente diferentes, limitadas por hiatos, discordancias y concordancias correlativas que fueron implantadas en el basamento cristalino, siendo denominadas: (1) Secuencia Devónica, (2) Secuencia Permo-Eotriásica, (3) Secuencia Juro-Eocretácica y (4) Secuencia

Eocretácica-Paleocénica. Una pequeña parte de la cuenca Norte está cubierta por 3 secuencias cenozoicas de menor orden y de desarrollo restringido (Figura 3-6).

### **3.5.1.1 Secuencia Devónica**

Representada por la secuencia sedimentaria del Grupo Durazno (Bossi, 1966) se trata de una sucesión depositada en ambientes transicionales y marinos poco profundos (Veroslavsky *et al.*, 2006), compuesto de la base al tope por las formaciones Cerrezuelo, Cordobés y La Paloma. Esta secuencia fue la única porción del Gondwana Occidental de registros devónicos que no fue un área de sedimentación Silúrica. A su vez, esta área se ha comportado como un sector positivo desde el Carbonífero hasta al menos, parte del Pérmico inferior (de Santa Ana & Veroslavsky, 2004).

### **3.5.1.2 Secuencia Permo-Eotriásica**

El segundo evento de deposición de la cuenca está representado por una secuencia compuesta por depósitos de tres episodios. El primero corresponde a la implantación del mar pérmico sobre el Escudo Uruguayo, asociado a la glaciación gondwánica, resultante de sucesivas regresiones y transgresiones marinas. Está representado por depósitos que se acumularon por la acción glacial o bajo la fuerte influencia de éstos, habiéndose visto favorecidos los procesos de transporte con fuerte componente gravitacional. Se asocian a este momento de evolución de la cuenca las formaciones San Gregorio y Cerro Pelado (de Santa Ana *et al.*, 2006).

Posteriormente, el mar epicontinental pérmico fue desapareciendo como resultado del levantamiento generalizado de la Plataforma Sudamericana. De ese modo, sistemas deltaicos que progradaban hacia el Noroeste, en un contexto transgresivo (Formación Tres Islas), hacia un mar epicontinental pérmico (Formación Frayle Muerto) son progresivamente desplazados por sistemas de mar restringidos, representados por depósitos de ambientes litorales y lagunares, que están agrupados en las formaciones Mangrullo y Paso Aguiar (Veroslavsky *et al.*, 2006; de Santa Ana *et al.*, 2006; de Santa Ana, 2004).

El último evento de deposición comprende al proceso de continentalización progresiva a las áreas de acumulación marinas, caracterizado por cambios graduales de ambientes costeros a continentales fluviales y eólicos, representados por las formaciones Yaguarí y Buena Vista (de Santa Ana, 2004). Esta continentalización dio paso a un fuerte proceso erosivo que afectó todo el territorio durante el Triásico y buena parte del Jurásico. El

mismo es responsable de la construcción de la discordancia que separa la secuencia Permo-Eotriásica de la tectosecuencia vulcano sedimentaria Jurásica-Eocretácica en la Cuenca Norte. Este levantamiento de las áreas cratónicas tiene como principal causa la deformación que operó en el flanco sudoccidental de Gondwana Occidental (Ubilla *et al.*, 2003).

### **3.5.1.3 Secuencia Juro-Eocretácica**

La Secuencia Juro-Eocretácica es marcada por la reactivación del basamento cratónico en respuesta al desarrollo de un campo de esfuerzo extensivo regional policíclico (Uliana y Biddle, 1988; Uliana *et al.* 1989). La reactivación de las cuencas Santa Lucía, Merín y Punta del Este se originaron durante este período, y también el importante magmatismo y sedimentación en la Cuenca Norte (Ubilla *et al.*, 2003). Esta secuencia está compuesta por rocas sedimentarias de origen continental, fluvial y eólico, las cuales se agrupan en las formaciones Tacuarembó e Itacumbú, y por rocas magmáticas de la Formación Arapey y Gaspar (de Santa Ana *et al.*, 2006).

En la base de la secuencia está la Formación Gaspar (de Santa Ana & Veroslavsky, 2003), que está representada por basaltos de poca profundidad en la cuenca y con un desarrollo limitado. Seguido por la Formación Itacumbú (de Santa Ana & Veroslavsky, 2003). Esta formación tiene una distribución limitada y no aflora en la Cuenca Norte.

La Formación Tacuarembó (*sensu* Bossi, 1966) está compuesta principalmente por areniscas de origen fluvial, fluvio-lacustre y eólico (dunas e interdunas), y se divide en dos miembros: el Miembro Batoví (inferior) y el Miembro Rivera (superior) (*sensu* Perea *et al.*, 2009). El primero está caracterizado por depósitos con una abundancia de psamitas finas y medias, así como por ciclos granodecrecientes interpretados como un sistema fluvial entrelazado (Miall, 1982). En contraste, el miembro superior se distingue por un extenso campo de dunas que se extiende hacia Brasil, marcando un período significativo de desertificación en la cuenca del Paraná (Ferrando & Andreis, 1986). Esta área forma el Paleodesierto Botucatú, que da nombre al proyecto de Geoparque.

Finalmente, la Formación Arapey (Bossi, 1966) está compuesta principalmente por rocas basálticas de grano medio a fino, de naturaleza toleítica relacionada con el gran evento extensional responsable por la formación del Océano Atlántico Sur, pertenecientes a la gran provincia ígnea Paraná-Etendeka (Muzio, 2004).

Asociado espacial y genéticamente a las lavas de la Formación Arapey se desarrollan rocas hipabisales básicas de estructura en filones y *sills*, definida como Formación Cuaró (Preciozzi *et al.*, 1985). Dichas rocas intruyen a unidades del basamento a sedimentos de la Cuenca de Paraná (principalmente Devónicos-Pérmicos) y a las propias lavas de la Fm. Arapey.

#### **3.5.1.4 Secuencia Eocretácica pos-basáltica**

Esta secuencia representa la instalación de un régimen tectónico compresivo. Su desarrollo está relacionado con el aumento de la velocidad de deriva de la Placa Sudamericana hacia el Oeste, que está vinculada a la progresiva aceleración de los procesos orogénicos del borde protoandino, que genera ese régimen compresivo (Ubilla *et al.*, 2003). En Uruguay, este cambio tectónico afectó los registros sedimentarios de las cuencas Punta del Este y Santa Lucía y generó nuevos espacios de acumulación sedimentaria continental durante el Cretácico Tardío en la Cuenca Norte, representado principalmente de sedimentos fluviales de la Formación Guichón (Bossi, 1966). Por encima de ellos, en discordancia, está la Formación Mercedes, seguida por las areniscas de la Formación Ascencio que completan esta secuencia.

#### **3.5.2 Cobertura Cenozoica**

En el tope de la columna estratigráfica y en sectores muy restringidos, se observa la presencia de tres secuencias cenozoicas de orden menor. Representadas por: 1) Formación Fray Bentos; 2) formaciones Salto, Libertad y Sopas; 3) Formación Las Arenas y sedimentos actuales (de Santa Ana *et al.*, 2006)

### **3.6 Contexto geológico local**

En este *item* se presentan de base a tope, las unidades litoestratigráficas que están presentes en el área de trabajo. Un mapa con las unidades se presenta en la Figura 3-7.

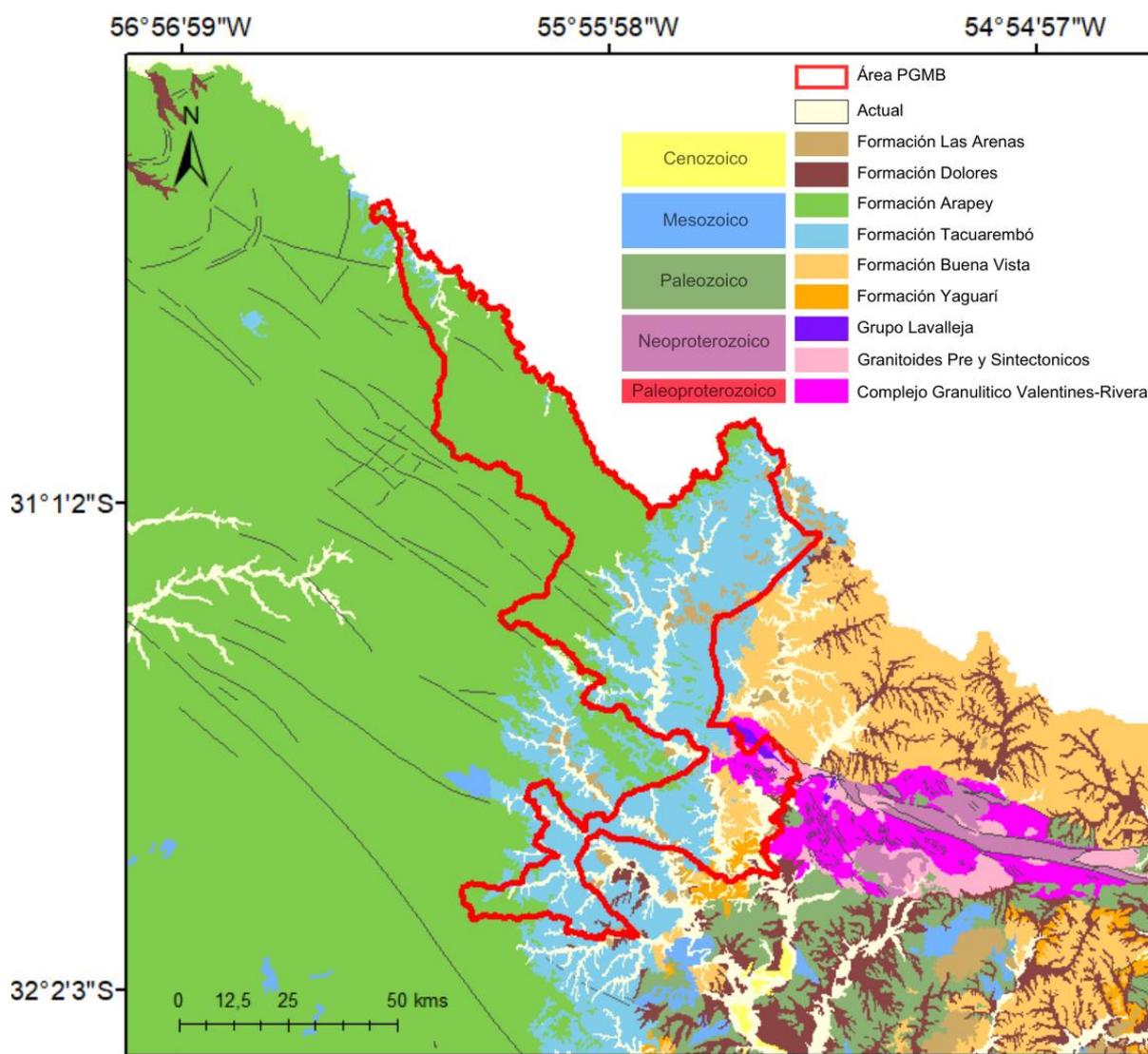


Figura 3-7: Mapa geológico resaltando el contorno del proyecto Geoparque Minero Botucatu y las unidades geológicas que afloran en esta área. Escala 1:500.000.

### 3.6.1 Basamento: Isla Cristalina de Rivera (ICR)

La Isla Cristalina de Rivera constituye un alto de basamento cristalino en medio de depósitos sedimentarios de la Cuenca Norte, por eso la denominación de “isla”. Presenta una estructuración compleja con rocas de edades Arqueanas hasta Cámbricas y una historia tectono-metamórfica marcada por varios eventos orogénicos (Masquelin, 2006). Cubre un 5% del área del proyecto GMB al este.

Esta unidad está fracturada y microfracturada, condición que ha permitido la presencia de variados filones mineralizados, donde es dable encontrar los otrora tan explotados cuarzos auríferos. Arrighetti *et al.* (1981) realizan un mapa geológico y minero de las cercanías de Minas de Corrales (Cartas topográficas 1:50.000 Minas de Corrales y Amarillo), definiendo tres grandes unidades litológicas que fueron descritas por Mac

Millan (1931): (i) un complejo granítico gnéisico, compuesto por paragneises, intercalados con micaesquistos, anfibolitas, ortogneises y metagranitos; (ii) granitos calcoalcalinos intrusivos, a biotita y leucócratas, de grano grueso y diques de microgranito, además de filones de cuarzo, feldespato potásico y pocos máficos; (iii) una serie joven, poco metamórfica, de sedimentitas con estratificación grano-decreciente y estructura regional WNW y buzamientos bajos hacia el NE. Se describen además recortes por diques básicos, ácidos y filones de cuarzo.

Las principales minas se sitúan en el granito, y según Arrighetti *et al.* (1981) están ligados a unidades graníticas y al complejo granito-gnéisico respectivamente en este orden de importancia. Los granitos son leucocráticos, de grano relativamente grueso, caracterizado por una textura corrientemente cataclástica, calco-alcalinos, esencialmente con biotita, a veces con anfíbol de textura homogénea y sin orientación importante.

La ICR ha representado históricamente la región metalogénica más significativa del país en cuanto a áreas prospectivas, abarcando no solo yacimientos de oro, sino también de hierro y manganeso. La actividad minera en la ICR ha sido debidamente documentada desde mediados del siglo XIX (Barrial Posada, 1890). En esta zona se pueden encontrar vestigios de antiguas explotaciones de oro y manganeso.

En la carta geológica de Uruguay disponible en el Geoportal DINAMIGE (Preciozzi *et al.* 1985) (Figura 3-7), las unidades pertenecientes a la Isla Cristalina de Rivera aflorantes en el área son los:

- (i) Granitoides pre y sintectónicos Brasileños (Loureiro, 2008);
- (ii) Complejo Granuítico Valentines-Rivera: gneises oligoclásicos y granulitas, metapiroxenitas, cuarcitas magnetito-augitas y magnetito-anfibolitas (BIF), anfibolitas, migmatitas y granitos autóctonos (Loureiro, 2008);
- (iii) Grupo Lavallega: metasedimentitas y metavolcánicas ácidas y básicas (Loureiro, 2008).

### **3.6.1.1 Historia de la minería en la ICR**

Hacia 1770, los exploradores españoles comenzaron a explorar la región de Cuñapirú-Vichadero en busca de cobre (Godoy *et al.*, 2009 en Aboy, 2016). Es posible que el conocimiento sobre el oro de Los Corrales ya estuviera presente desde finales del siglo XVIII por los jesuitas (Bankart, 1869). Algunos informes hacen referencia a la llegada de bandeirantes y cateadores, cuyos métodos sugieren que podrían haber sido mineros

"empíricos" de oro en placeres (Chirico, 2005). El 20 de julio de 1852, Nin Reyes informó sobre diversas minas entre el Arroyo Cuñapirú y el Arroyo Corrales, y entre el Arroyo Corrales y el Arroyo Yaguarí, así como en las cercanías de Cerros Blancos (Aboy, 2016).

El primer complejo industrial minero se estableció en 1879 con la "Compañía Francesa Minas de Oro del Uruguay", que operó hasta 1914 y explotó 28 minas en la zona de Cuñapirú. En 1881, se inauguró una de las primeras usinas eléctricas del continente en esta área. El auge de la actividad industrial-minera concentró la población principalmente en Santa Ernestina y Cuñapirú. Un Censo en 1895 indicaba una población cercana a los, cuatro mil habitantes. Varias compañías se sucedieron, enfrentando éxitos y fracasos. A medida que comenzó el siglo XX y estalló la Primera Guerra Mundial, la actividad en el cuadrilátero minero conformado por Cuñapirú, Santa Ernestina, San Gregorio y Minas de Corrales se vio interrumpida. En la época de la dictadura de Terra, se intentó revivir la actividad minera a través de la Ley N° 9456, que encomendaba a UTE (Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas) la explotación y la industrialización (Acevedo, 2007 en Aboy, 2016). Sin embargo, esta situación duró casi cinco años y se produjo un intervalo de más de cinco décadas, hasta mediados de la última década del siglo XX, cuando se instaló el proyecto "Minera San Gregorio" (Grupo *Uruguayan Mineral Exploration Inc.*, UME). La Mina de San Gregorio operó hasta el año 2018 (sitio web La Mañana, 2019).

### **3.6.2 Rocas sedimentarias de la Secuencia Permo-Eotriásica**

Los depósitos del fin del Paleozoico cubren un área limitada de la zona de estudio en una franja de dirección N-S de aproximadamente 20 km. Se concentran en la parte este del proyecto Geoparque y está conformada por depósitos de la Formación Yaguarí y Buena Vista, que son históricamente correlacionadas con las formaciones Rio do Rastro y Sanga do Cabral en Brasil, respectivamente (Ernesto, 2020).

A lo largo del tiempo, estas dos unidades han sido objeto de variaciones en su definición y nomenclatura. Falconer (1931) se refirió a las litologías predominantemente areniscosas rojas como Buena Vista. Luego, Caorsi & Goñi (1958) hicieron una división estratigráfica en dos unidades: areniscas y arcillas abigarradas con niveles calcáreos en la base, designadas como Yaguarí, y areniscas rojas en la parte superior, designadas como Buena Vista.

Posteriormente, Bossi (1966) eliminó el término Buena Vista y agrupó ambas unidades bajo la denominación de Formación Yaguarí. Elizalde (1970) separa la Formación Yaguarí en miembros superior e inferior. Bossi *et al.* (1975) mantuvieron la división propuesta por Elizalde (1970). Más tarde, Ferrando & Andreis, (1986) proponen considerar la Formación Yaguarí en el mismo sentido de Elizalde *et al.* (1970) y Falconer (1931), que es una unidad que comienza con la aparición de tonos morados en las pelitas grisáceas. Además, Ferrando & Andreis vuelven a considerar la Formación Buena Vista según los criterios expuestos por Falconer (1931) y separándola de la Formación Yaguarí.

Así, la Formación Yaguarí se caracteriza por pelitas, psamitas finas (y medianas subordinadas) y escasos calcáreos micríticos lenticulares o concrecionales. Los tonos varían desde tonalidades precedentes hasta rojizos, violáceos y borraño, siendo estas últimas dominantes en la parte superior. Estos cambios cromáticos sugieren una gradual modificación hacia condiciones más oxidantes. En la parte inferior, los estratos son tabulares con estructuras internas macizas, laminadas o *flaser*, mientras que, en la parte superior, hay una mayor presencia de areniscas con estratificación más lenticular y estructuras entrecruzadas en artesa de tamaño medio. En esta formación, se encuentran troncos de hasta 5 m de longitud y 20 cm de diámetro, a veces agrupados. Además, se ha registrado una fauna de lamelibranquios en niveles estratigráficamente altos. Aunque no se han encontrado restos de vertebrados en territorio uruguayo, han sido encontrados restos de *Pareiasaurus* (Araujo, 1982) en las cercanías de Aceguá, en el Estado de Rio Grande del Sur, Brasil (Ferrando & Andreis, 1986). Las arenitas de la base con estructuras planares deformadas son interpretadas como de depósito dunal formado en las cercanías de un cuerpo de agua muy somero. Grietas de retracción están ausente, lo que es una prueba a favor de la existencia de aguas permanentes. Basado en estas características, Miall (1982) interpreta un sistema fluvial entrelazado medio-distal.

La Formación Buena Vista se asienta en aparente concordancia sobre las sedimentitas de la Formación Yaguarí. Esta unidad incluye psamitas finas a gruesas, además de cantidades menores de pelitas y psefitas (conglomerados finos con matriz clástica). Estos sedimentos presentan tonalidades rojizas y blancas amarillentas. La estratificación es bien definida, destacándose los estratos lenticulares sobre los tabulares. Los estratos lenticulares muestran una base irregular formada por procesos erosivos, con acumulaciones frecuentes de intraclastos pelíticos que pueden llegar a formar brechas intraformacionales. Además, exhiben estructuras entrecruzadas en forma de artesa,

agrupadas y de tamaño mediano. Los estratos pelíticos, en su mayoría limonitas, son lenticulares y macizos (Ferrando & Andreis, 1986).

### 3.6.3 Formación Tacuarembó

La formación Tacuarembó está correlacionada con la Formación Botucatu en Brasil (França *et al.*, 1995, entre otros). Fue inicialmente descrita e identificada por Walther (1919), Falconer (1931) y Caorsi & Goñi (1958). Bossi (1966) fue el primero en asignarle una denominación litoestratigráfica y posteriormente reconoció y definió dos miembros dentro de esta formación: el miembro inferior y el miembro superior (Bossi *et al.*, 1975). Ferrando & Andreis (1986) propusieron la Formación Cuchilla del Ombú para denominar los depósitos eólicos del miembro inferior, y posteriormente Ferrando *et al.*, (1987) nombraron al Miembro superior como Formación Rivera (consulte a Martínez *et al.*, 1993, para una síntesis). En este trabajo se utilizó la propuesta de Bossi *et al.* (1975) de dividir de la unidad en miembros inferior y superior, los cuales fueron nombrados Miembro Batoví y Miembro Rivera, respectivamente, por Perea *et al.* (2009) (Figura 3-8).

Esta unidad aflora al norte del territorio uruguayo en los departamentos de Tacuarembó y Rivera en forma de una estrecha franja de unos 120 km de largo, con dirección N-S, y se extiende en subsuelo hacia el NW en forma de una cuña clástica. Ocupa un 45% del área del proyecto GMB y comprende asociaciones de facies de canales efímeros, canales perenes del tipo *braided*, dunas eólicas, sábanas de arena y depósitos de *sheet flood* (Amarante *et al.*, 2019)

Esta unidad tiene una edad Jurásico Tardío - Cretácico Temprano, datada por el contenido fósil del Miembro Batoví, que incluye registros de peces (Walter. 1932), conostráceos (Herbest y Ferrando, 1985), tiburones, reptiles del orden *Crocodylia* (Mones, 1978), tortugas, celacantos, dinosaurios terópodos, saurópodos y pterosaurios (Walter. 1932, Sprechmann *et al.*, Perea *et al.* 2001, 2003, 2009, 2018; Perea, 2007; Soto & Perea 2005, 2008, 2010; Soto *et al.*, 2020 entre otros).

El miembro Batoví se encuentra de manera discordante sobre los depósitos lacustres y fluvio-aeólicos de las Formaciones Yaguarí y Buena Vista y de manera concordante sobre la Formación Itacumbú (de Santa Ana y Veroslavsky, 2003). Su límite superior se sitúa de manera concordante al Miembro Rivera (Sprechmann *et al.*, 1981). Está compuesto principalmente por areniscas de tamaño variable, mayoritariamente finas a medianas, ocasionalmente muy finas o gruesas, con presencia de cuarzo y ocasionalmente

subarcólicas o lítico-subarcólicas (Perea *et al.*, 2009). Estas areniscas exhiben tonalidades que van desde el blanco, rojo-anaranjado y verdoso, llegando en algunos lugares a tonalidades violetas (de Santa Ana y Veroslavsky, 2003). Los granos en estas areniscas tienden a ser subredondos a redondos, con una selección variable, que va desde regular hasta buena (Perea *et al.*, 2009).

Conforme a las observaciones de Santa Ana y Veroslavsky (2003), las areniscas que forman parte del Miembro Batoví siempre presentan facies distintivas en la unidad en su totalidad. Estas facies incluyen areniscas de gran escala con estratificación cruzada (tanto en forma de canal como planar), areniscas estratificadas/laminadas horizontales, areniscas estratificadas de grano medio a grueso con estratificación cruzada, areniscas masivas y bioturbadas, así como lutitas laminadas, que fueron depositadas bajo la interacción de procesos fluviales y eólicos (Perea *et al.*, 2009). Según la interpretación de Amarante *et al.* (2019), los depósitos en cuestión se consideran como parte de un sistema fluvial de tipo *braided*.

El Miembro Rivera se asienta en concordancia sobre el Miembro Batoví y está cubierto por los basaltos de la Formación Arapey. Compuesto principalmente por areniscas de tonalidad rojo-marrón a rojo, siendo predominantemente cuarzosas y de grano fino a medio, con una clasificación que varía de buena a muy buena. En este miembro, dos facies son distintivas: (a) areniscas de gran escala con estratificación cruzada de alto ángulo, con flujo interno de granos y estructuras de caída de granos, típicas de dunas eólicas y (b) areniscas estratificadas horizontalmente y subhorizontalmente, internamente con láminas onduladas y/o estructuras de gradación inversa interpretadas como sábanas de arena (eólico húmedo) (de Santa Ana & Veroslavsky, 2004, Perea *et al.*, 2009).

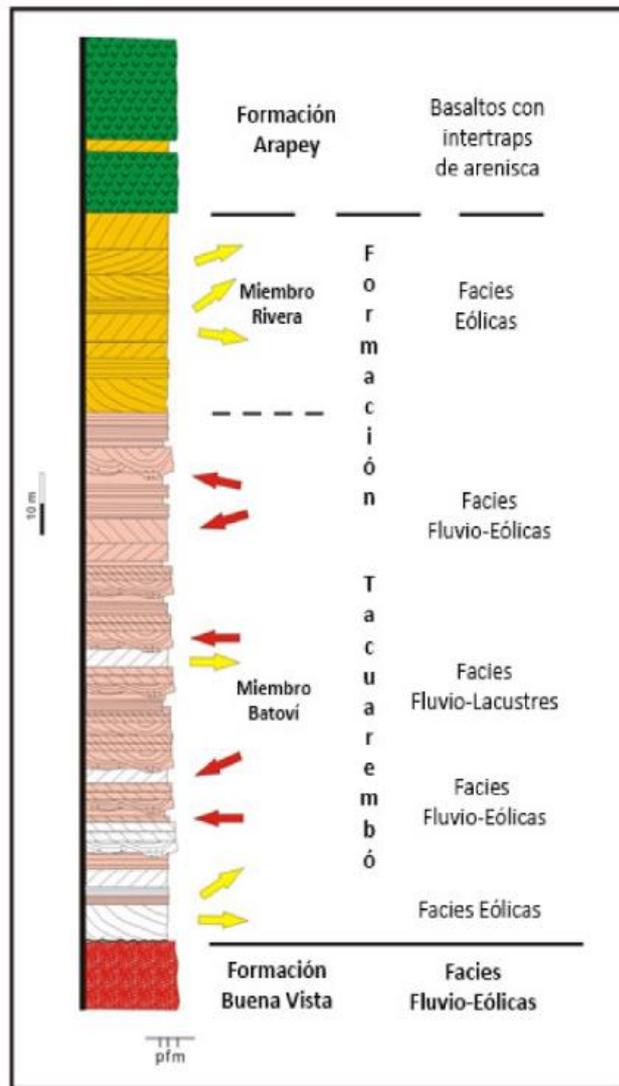


Figura 3-8: Columna estratigráfica generalizada de la Formación Tacuarembó. Flechas indican el rumbo de paleoflujos eólicos y acuáticos (Perea *et al.*, 2009).

### 3.6.4 Formación Arapey

Los basaltos de la Formación Arapey cubren un 35% del área del proyecto GMB, al oeste. Esta Formación hace parte del mayor evento extrusivo de tipo fisural, que ocurrió en el comienzo de la abertura del Océano Atlántico Sur, con volúmenes preservados en el entorno de un millón de kms cúbicos (Peate, 1997) en Brasil, Paraguay, Argentina y Uruguay. Además, registros de este magmatismo son encontrados en Namibia (Gentili y Rimoldi, 1979) y Angola (Marzoli *et al.*, 1999).

Las manifestaciones magmáticas (de naturaleza toleítica y/o alcalina) asociadas a este importante evento tectónico integran el conjunto que se ha dado en llamar “*Large Igneous Provinces*”, perteneciendo los remanentes sudamericanos y africanos a la Provincia Paraná–Etendeka. Estas elevadas tasas de erupción en un periodo de tiempo reducido

(se estima entre 2 y 10 millones de años) demandan una producción de magmas a un ritmo que solo puede ser explicado por procesos rápidos de fusión inducidos por descompresión en el interior de una pluma mantélica, la pluma Tristão da Cunha (Stewart *et al.*, 1996, Peate, 1997).

De acuerdo con Thomaz Filho *et al.* (2000), se pueden distinguir tres fases tectomagmáticas fundamentales en la evolución del Atlántico Sur, con evidencia de actividad magmática en Sudamérica y en la margen occidental africana. La primera fase ocurrió hace aproximadamente 230-170 millones de años, caracterizada por un enfoque en la actividad magmática del Triásico y Jurásico, así como el inicio del proceso de ruptura en las zonas cratónicas ecuatoriales y del sur de la plataforma sudamericana. La segunda fase tuvo lugar entre los 170-120 millones de años, destacando el máximo apogeo de la actividad magmática durante el Neocomiense, y la evolución del proceso de ruptura a lo largo de la costa sureste de Argentina, Uruguay y Brasil. Por último, alrededor de los 90 millones de años, se consumó la separación total entre ambos continentes.

Los basaltos de la Formación Arapey están en la región septentrional del país, asociados a la evolución tectónica de la Cuenca Norte. Comprenden más de 40.000 km<sup>3</sup> de derrames que alcanzan más de 1.000 m de potencia en Salto (Muzio, 2004). Las edades establecidas para esta formación se sitúan alrededor de los 130 millones de años (Creer *et al.*, 1965; Umpierre, 1965 citado *en* Bossi, 1966; Féraud *et al.*, 1999 *en* Muzio, 2004). Walther (1911) denomina a esta unidad como “rocas eruptivas de Serra Geral”. Posteriormente Caorsi y Goñi (1958) las denominaron “las lavas de Arapey”. Bossi (1966) le asignó el rango de Formación que incluye los derrames de basalto toleítico y a los diques de alimentación. Fue redefinida y subdividida por Bossi & Schipilov (1998) en 6 bloques con características internas diferentes. Las lavas de esta unidad sobreponen las “areniscas de Tacuarembó” y se interdigitan con éstas y con los conglomerados de la unidad La California (Muzio, 2004).

Preciozzi *et al.* (1985) subdividieron a los derrames de esta formación según tres zonas:

- (i) región Sur y Sureste, con basaltos olivínicos porfiríticos de grano medio a grueso;
- (ii) región entre Peralta (Tacuarembó) y Artigas, con basaltos equigranulares finos, sin olivina y con términos más diferenciados con hornblenda y cuarzo presentes; y

(iii) región correspondiente al departamento de Salto, con basaltos olivinícos equigranulares de grano medio, con potentes niveles vacuolares y areniscas *intertraps*.

#### **3.6.4.1 Mineralización de ágatas y amatistas**

El magmatismo mesozoico destaca por su importancia en los recursos minerales asociados, particularmente en las explotaciones de ágatas y amatistas relacionadas con los basaltos andesíticos de la Formación Arapey. Los depósitos de ágatas y amatistas en Uruguay (Los Catalanes) y Brasil (Ametista do Sul) son considerados los más importantes del mundo en términos de reservas, calidad y producción (600 toneladas/mes) (Duarte *et al.*, 2009), siendo catalogados como depósitos de clase mundial.

La actividad exploratoria y extractiva se ha concentrado en una pequeña región al sur de la ciudad de Artigas, conocida como "Los Catalanes". Esta área ha sido designada como el Distrito Gemológico Los Catalanes (DGLC) y ha sido objeto de un estudio sistemático por parte del servicio geológico de Uruguay en el Proyecto Ágatas y Amatistas (ver Techera *et al.*, 2007 y 2011). El núcleo central del distrito se encuentra aproximadamente a 50 km al sureste de la ciudad de Artigas, en la cuenca del arroyo Catalán Grande, cerca del poblado de La Bolsa. El distrito cubre un área de aproximadamente 500 km<sup>2</sup> y actualmente concentra toda la producción de geodas de ágatas y amatistas del país. Si bien las piedras preciosas han sido explotadas por más de un siglo, su extracción sistemática y relativamente mecanizada empieza a partir de la década del '70 (Techera *et al.*, 2007) y aproximadamente 25 empresas se dedican a esta actividad (Cámara de Industrias del Uruguay, 2019) (Figura 5.21).

La extracción se lleva a cabo tanto mediante métodos a cielo abierto como subterráneos en 20 a 25 minas activas, con una producción anual de 800 mil kg de amatistas y 16 millones de kg de ágatas (Hartmann *et al.*, 2010). Según los datos más recientes de producción de minerales del Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) y la Dirección Nacional de Minería y Geología (DINAMIGE) para el año 2014, se produjeron 15,6 miles de toneladas de ágatas y amatistas.

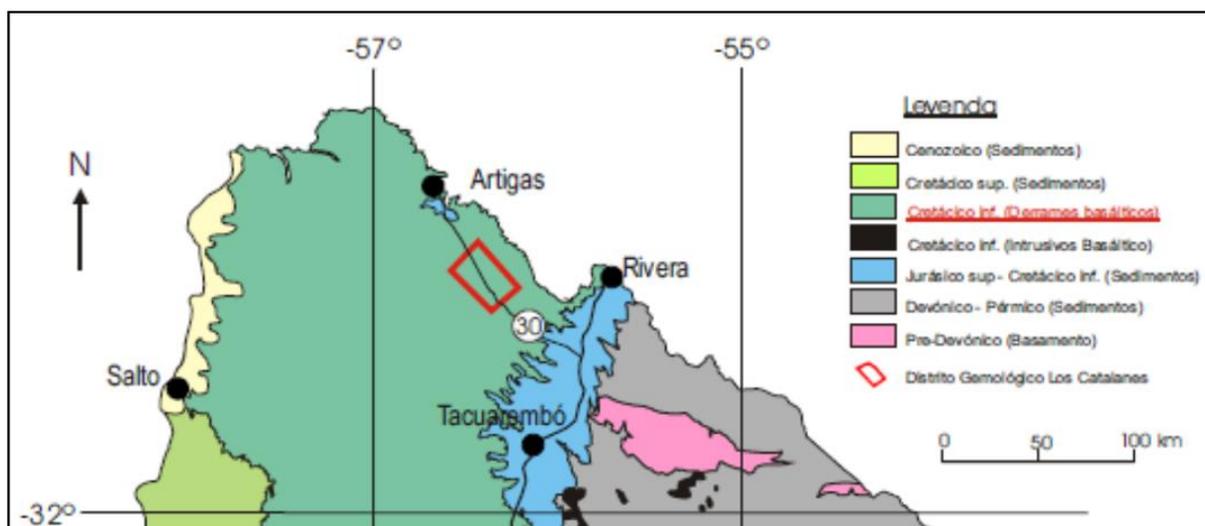


Figura 3-9: Carta geológica simplificada del Uruguay, con la Fm. Arapey, las intrusivas básicas asociadas y el Distrito Gemológico Los Catalanes (adaptado de Techera *et al.*, 2007).

Duarte *et al.* (2009) propone que la mineralización ocurre en geodas parcialmente llenas de ágata, cuarzo incoloro, amatista y  $\pm$  calcita, que se presentan en esta secuencia, desde el borde hasta el centro de las cavidades. Las geodas se originaron como protogeodas a través de burbujas de fluidos ricos en CO<sub>2</sub> derivados del basalto (Morteani *et al.*, 2010). La fuente más probable de sílice, calcio, carbono y elementos menores en el relleno de las geodas es el vidrio intersticial altamente reactivo de los basaltos huéspedes lixiviado por soluciones acuosas pobres en gas de origen meteorítico que ascienden desde el sistema acuífero Guaraní. La temperatura de formación de la amatista se estima, a partir de datos de inclusiones fluidas, entre 50° y 120°C. Los datos de isótopos estables de oxígeno sugieren una temperatura de cristalización de la calcita de aproximadamente solo 24°C (Morteani *et al.*, 2010).

Debido a su importancia económica, estos yacimientos han sido ampliamente estudiados por diversos investigadores como Duarte (2008), Duarte *et al.* (2009, 2011), Hartmann *et al.* (2010, 2012), Pertille *et al.* (2013), Morteani *et al.* (2010), Arduin Rode *et al.* (2022).

### 3.6.5 Cobertura cenozoica

En el área de estudio se identificaron tres unidades de la cobertura cenozoica: el Grupo Las Arenas, la Formación Dolores y la Formación Sopas. A continuación, se proporciona una breve descripción de las dos primeras, mientras que se ofrece una descripción más detallada de la Formación Sopas debido a su relevancia en el presente trabajo.

La Fm. Las Arenas (Preciozzi *et al.*, 1985) está compuesta por arenas sueltas, finas a medias de selección regular de colores blanco, amarillo y rojo. Estas arenas se forman mediante procesos de sedimentación continental, que representan la sedimentación aluvial durante el Cuaternario.

La Fm. Dolores (Preciozzi *et al.*, 1985), por otro lado, se compone de lodos y arenas arcillosas en tonos pardos. La sedimentación de esta formación también ocurre en un entorno aluvial. Los flujos de barro resultantes se depositan en áreas de menor elevación topográfica, generando capas características de esta formación.

### **3.6.5.1 Formación Sopas**

Los depósitos continentales del Pleistoceno tardío, representados por la Formación Sopas (Bossi & Navarro, 1991), presentan una distribución parcheada en los márgenes de ríos, arroyos y cañadas del norte de Uruguay (principalmente en los departamentos de Artigas, Salto, Paysandú y Tacuarembó) y generalmente aflora en una longitud de unos pocos cientos de metros y con un espesor de hasta 12-15 m (Ubilla & Martínez, 2016).

Ubilla *et al.* (2004) y Goso Aguilar y Ubilla (2004) proporcionaron una caracterización litofaciológica de esta unidad que incluye:

- (i) Conglomerado con matriz de arcilla (paraconglomerado), de color rojizo y marrón, con clastos de grava a bloques. La composición es basáltica, cuarzo, arenisca eólica y calcedonia, tanto bien redondeados como angularmente redondeados, aunque la estratificación cruzada es muy común con contacto de base irregular y geometrías canalizadas que están expuestas. Los conjuntos suelen ubicarse en la base de perfiles estratigráficos, tienen un espesor de 0,40 a 1,50 m y pueden tener un rico contenido de restos fósiles de vertebrados y moluscos.
- (ii) Areniscas finas y gruesas con una matriz de limo de unos pocos cm de espesor, mostrando laminación normal y ondulada intercalada con la litología anterior.
- (iii) Arcillas y grauvacas de color marrón. También están presentes clastos de grava intercalados que forman conjuntos de camas delgadas de 3-4 cm de espesor. Esta facies proporciona fósiles de vertebrados, bivalvos, gasterópodos e icnofósiles. Las facies de grauvacas exhiben predominantemente estructuras de tracción.

Estos sedimentos recubren intermitentemente las rocas basálticas de la Formación Arapey y las areniscas eólicas de la Formación Tacuarembó (Ubilla & Martínez, 2016).

Esta rica asociación de fósiles proporciona información útil para interpretar las condiciones climáticas y ambientales implicadas. Ubilla *et al.* (2016) presentan una revisión de los taxones presentes en esta formación y propone hábitats abiertos, sabanas y bosques que incluyen bosques galería y ríos perennes del Río de la Plata; con condiciones climáticas principalmente de climas tropicales a templados, y algunos taxones sugieren ambientes áridos a semiáridos, migrantes e indicadores de estacionalidad.

Esta es una unidad sedimentaria muy fosilífera que incluye rastros fosilizados, representados por algunas estructuras similares a madrigueras cuyo probable productor es un roedor extinto (Ubilla *et al.*, 1999, Ubilla, 2008); también hay estructuras interpretadas como grandes paleocuevas, y coprolitos, que están relacionados con depredadores de tamaño mediano a grande (Verde *et al.*, 2002), propuestos de origen canino (Chimento y Rey 2008). Un tipo de preservación muy único y abundante está representado por estructuras interpretadas como cámaras de estivación de lombrices de tierra producidas en paleosuelos (Verde *et al.*, 2007).

De fósiles de cuerpo están representados restos de madera (Inda y del Puerto 2002; Ubilla *et al.* 2004; Martínez y Ubilla 2004), bivalvos de agua dulce, gasterópodos y algunos caracoles terrestres en varios afloramientos (Martínez y Rojas 2004). Los bivalvos se encuentran con frecuencia con valvas articuladas y los gasterópodos suelen estar completos.

Los vertebrados de la Formación Sopas incluyen algunos reptiles, aves y numerosos mamíferos (Ubilla *et al.* 2004, 2011; Ubilla *et al.* 2016). Entre los vertebrados están grandes tortugas terrestres extintas, el ave no voladora Rhea, la seriema *Cariama* y el ganso de *Magallanes chloephaga* (Tambussi *et al.* 2005). Los mamíferos son el grupo dominante (25 familias en 9 órdenes, que abarcan más de 50 especies) y se registran muchos taxones extintos y especies extintas de géneros existentes. Hay algunos taxones no representados en las comunidades actuales de Uruguay, pero que actualmente viven en otras áreas de América del Sur, como algunos roedores, pecaríes y tapires. Los ungulados (especialmente los ciervos) y los roedores son los grupos más frecuentemente representados en el conjunto de fósiles. Algunos herbívoros de gran tamaño a pequeños, como *Toxodon*, *Macrauchenia*, los caballos *Equus neogaeus* y *Hippidion principale*, el perezoso terrestre *Glossotherium*, *Neolicaphrium*, *Lama*, *Microcavia*, algunos omnívoros

como el oso *Arctotherium* y depredadores de tamaño grande a mediano como el jaguar *Panthera onca*, el puma y el cánido extinto *Procyon*, entre otros, fueron registrados (Ubilla *et al.* 2016).

### **3.7 Sistema Acuífero Guaraní**

El Sistema Acuífero Guaraní (SAG) es un importante sistema hidráulico que se extiende por el subsuelo de parte de los territorios de Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay. Tiene una superficie de aproximadamente 1,2 millones de km<sup>2</sup> y lo constituye un conjunto de rocas sedimentarias arenosas en las cuencas del Paraná y Chacoparanense, que se encuentran entre la discordancia permo-eotriásica y los derrames basálticos de la Formación Arapey del Cretácico Inferior (Gastmans *et al.*, 2012)

En Uruguay, el SAG abarca una extensión de 45.000 km<sup>2</sup>, de los cuales solo el 5% es visible en la superficie, mientras que el resto se encuentra cubierto por espesores variables de basaltos, que en algunos casos puede alcanzar hasta 1000 m de potencia (Pérez *et al.*, 2000). Las areniscas de la Formación Tacuarembó representan el principal reservorio del SAG en Uruguay (Gastmans *et al.*, 2012).

El territorio del proyecto GMB comprende porciones aflorantes del SAG (Formación Tacuarembó), sectores confinados por basaltos y áreas de ventanas en medio del *plateau* basáltico, que funcionan como áreas de recarga locales (Gastmans *et al.*, 2012). Estas ventanas se concentran especialmente en las proximidades de la ciudad de Artigas (Figura 3.9). El SAG es una fuente importante de suministro de agua potable para la población que vive en su área de ocurrencia.

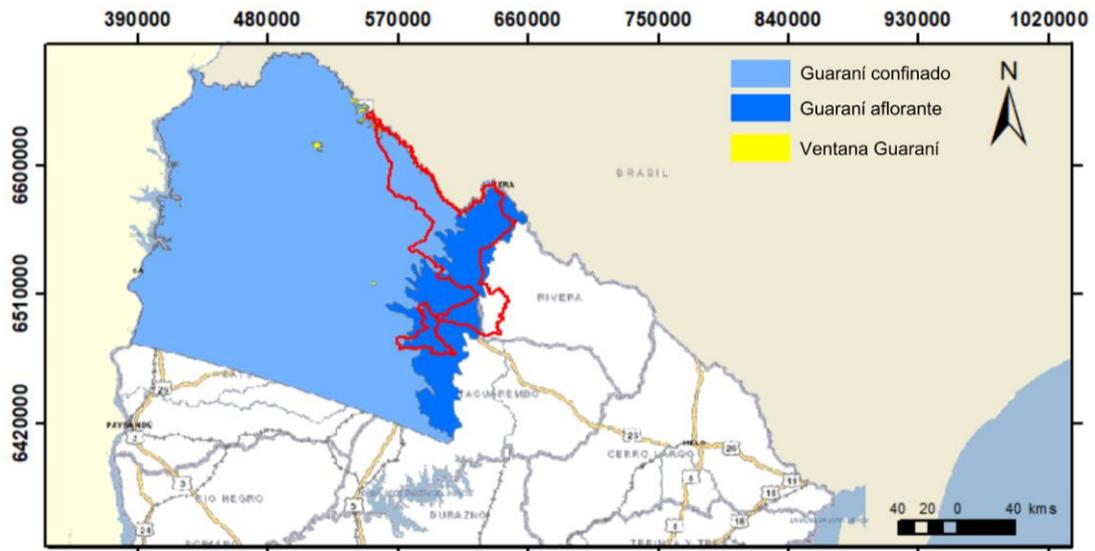


Figura 3-10: Mapa de ubicación de las porciones es del acuífero guaraní confinado, aflorante y de las ventanas con destaque del área del proyecto GMB.

## 4 METODOLOGÍA

En este capítulo se presentan los procedimientos utilizados para llevar a cabo el inventario de los geositos y sitios de geodiversidad presentes en el área propuesta para el proyecto Geoparque Minero Botucatu.

Se describirán las metodologías para la recopilación y análisis de datos, la identificación y evaluación de los geositos y sitios de geodiversidad, y la elaboración de mapas y bases de datos geológicos.

### 4.1 Inventario de geositos y sitios de geodiversidad

Para preparar un territorio para convertirse en geoparque, se proponen varios pasos para hacer una caracterización de la geodiversidad (Brilha, 2016):

- (1) Descripción general de la geodiversidad con una explicación del entorno geológico y geomorfológico del territorio (realizado en el capítulo 3).
- (2) Inventario y evaluación cuantitativa del valor científico y del riesgo de degradación de los geositos.
- (3) Evaluación cuantitativa del potencial educativo y turístico de los geositos.
- (4) Inventario de sitios de geodiversidad.
- (5) Evaluación cuantitativa del potencial educativo y turístico de los sitios de geodiversidad, junto con la evaluación del riesgo de degradación.

En las últimas dos décadas se han desarrollado varias metodologías para realizar inventarios y evaluaciones cuantitativas del patrimonio geológico y de la geodiversidad. Algunos ejemplos son Coratza & Giusti (2005), Pralong (2005), Serrano & González Trueba (2005), Bruschi (2007), Bruchi & Cendrero (2009), Pereira *et al.* (2007), García-Cortés y Carcavilla (2009), Pereira & Pereira (2010), Lima *et al.* (2010), Reynard & Coratza (2013), Brilha (2005; 2016), entre otros.

En esta investigación, el método utilizado para realizar el inventario y la evaluación cuantitativa del Valor Científico (VC), del Potencial Uso Educativo (PUE), del Potencial Uso Turístico (PUT) y del Riesgo de Degradación (RD) fue el propuesto por Brilha (2016), con menores adaptaciones. Este autor hizo una revisión de los diferentes métodos y, combinándolos con su propia experiencia, presentó un enfoque sistemático para los métodos de inventario y cuantificación aplicados a los geositos y sitios de geodiversidad.

A diferencia de los demás métodos propuestos, este autor defendió que, dado que existen criterios distintos para los diferentes valores de los sitios (científico, educativo, turístico), la evaluación cualitativa y cuantitativa debería realizarse por separado.

Para la clasificación de la relevancia de los geositos y sitios de geodiversidad en cuanto a su VC, PUE y PUT, se adoptó la propuesta de la plataforma del Servicio Geológico de Brasil (CPRM), denominada GEOSSIT (referencia digital 1). Los parámetros utilizados en esta plataforma para clasificar la relevancia de un geosito a nivel nacional o internacional, y la relevancia de un sitio de geodiversidad a nivel nacional o local, se basan en las metodologías propuestas por Brilha (2005), Garcia-Cortés y Urquí (2009), y Brilha (2016). La clasificación del Riesgo de Degradación (RD) en bajo, mediano o alto se basa en la propuesta de Brilha (2016).

Antes de iniciar el inventario, deben definirse claramente sus objetivos a partir de cuatro aspectos fundamentales: el tema, el valor, la escala y el uso (Lima *et al.* 2010).

Para este inventario se decidió identificar, seleccionar y evaluar geositos y sitios de geodiversidad (tema) con valor científico, turístico y recreativo (valor), que se encuentran en la porción norte de Uruguay - parte de los departamentos de Tacuarembó, Rivera y Artigas (escala) , como forma de apoyar futuras propuestas de gestión y promoción de esta diversidad natural por parte de los organismos departamentales y nacionales de conservación de la naturaleza y para apoyar el proyecto Geoparque Minero Botucatu (uso).

Para cada valor evaluado (científico, educativo y turístico) existe un conjunto de procedimientos específicos que permiten una selección más precisa de los sitios, que se resumen en la Tabla 4-1 y se detallan a continuación.

Tabla 4-1: Resumen de las etapas de inventario a ser seguidas según el valor a ser evaluado (Modificado de Brilha, 2016).

	GEOSITIOS	SITIOS DE GEODIVERSIDAD	
	VALOR CIENTÍFICO	VALOR EDUCATIVO	VALOR TURÍSTICO
<b>Etapa 1</b>	Revisión de la bibliografía geológica Consulta a expertos que han trabajado en el área Consulta por las categorías temáticas geológicas del área de estudio		
	Lista de sitios potenciales	Revisión de los lugares utilizados para las actividades docentes	Revisión de materiales de publicidad turística
		Lista de sitios de geodiversidad potenciales	
<b>Etapa 2</b>	Trabajo de campo para la identificación de nuevos geositios y para la evaluación cualitativa de cada sitio de la lista	Trabajo de campo para la identificación de nuevos lugares y para la evaluación cualitativa de cada sitio de geodiversidad de la lista de sitios de geodiversidad potenciales	
<b>Etapa 3</b>	Lista final de geositios y con caracterización completa (Brilha, 2016; Fuertes-Gutiérrez y Fernández-Martínez (2010) y SIGEP, 2002)	Lista final de sitios de geodiversidad con caracterización completa (Brilha, 2016; Fuertes-Gutiérrez y Fernández-Martínez (2010), y SIGEP, 2002)	
<b>Etapa 4</b>	Evaluación cuantitativa del Valor Científico (VC) (Brilha, 2016)	Evaluación cuantitativa del Potencial Uso Educativo (PUE) (Brilha, 2016)	Evaluación cuantitativa del Potencial Uso Turístico (PUT) (Brilha, 2016)
	Evaluación cuantitativa del Riesgo de Degradación (RD) (Brilha, 2016)		
<b>Etapa 5</b>	Lista final de geositios de la zona clasificados por VC y RD (Brilha, 2016 y GEOSSIT)	Lista final de sitios de geodiversidad de la zona clasificados por PUE y RD (Brilha, 2016 y GEOSSIT)	Lista final de sitios de geodiversidad la zona clasificados por PUT y RD (Brilha, 2016 y GEOSSIT)
	Evaluación cuantitativa adicional de los PUE y PUT	Evaluación cuantitativa adicional de los PUT	Evaluación cuantitativa adicional de los PUE

#### 4.1.1 Etapa 1: Recopilación de antecedentes bibliográficos, cartográficos y documental

La primera etapa consiste en una revisión de la literatura geológica y se hace para todos los valores evaluados (científico, turístico y educativo). Se consultaron publicaciones científicas, trabajos académicos y la citación de sitios en el norte de Uruguay que contribuyeron y/o son considerados importantes en el conocimiento geológico de la

región. Además, se realizó una recopilación de mapas y bases de datos geológicos existentes, tanto de instituciones gubernamentales como de organizaciones no gubernamentales y universidades. Estos datos se integraron y analizaron utilizando el software ArcMap 10.8 para obtener una visión más completa de la distribución y las características geológicas del área contemplada por el proyecto GMB.

De acuerdo con la propuesta metodológica de Brilha (2016), se lleva a cabo la definición de categorías temáticas para el inventario de geositos en grandes áreas, las cuales se consideran territorios con más de 4.000 km<sup>2</sup>. El área propuesta para el proyecto GMB tiene una extensión de 5.237 km<sup>2</sup>, lo cual la clasifica como una gran área. Aunque, de acuerdo con la propuesta del autor, se sugiere designar coordinadores científicos para cada categoría, en este caso, al tratarse de una tesis de maestría, no se asignaron coordinadores científicos. Es importante mencionar que la definición de categorías temáticas se propone únicamente para el inventario de geositos, y no se aplica originalmente a los sitios de geodiversidad. Sin embargo, dado que este trabajo es prospectivo y tiene como objetivo caracterizar la geodiversidad del proyecto GMB, se adoptó la definición de categorías temáticas para el área de estudio en su totalidad de Faraone (2022). Tanto los geositos como los sitios de geodiversidad se separaron en categorías temáticas con el fin de organizar el trabajo y facilitar su identificación en función de los principales eventos y momentos de la evolución geológica de la región en estudio. Además, esta clasificación conducirá futuras propuestas de inventarios a nivel nacional en Uruguay. Las categorías temáticas detalladas se presentarán en el Capítulo 5.

También se consultó a expertos e investigadores que ya han desarrollado trabajos en el área de estudio. Una selección de geositos (valor científico) debe resaltar las ocurrencias en el área de estudio que representen mejor un determinado material o proceso geológico, que se encuentren en el mejor estado de conservación posible, que muestren características poco comunes y donde se hayan obtenido y publicado datos científicos significativos (Brilha, 2016).

Para el inventario de sitios con valor educativo, la metodología destaca la importancia de reconocer los sitios que ya son utilizados en actividades educativas, por lo tanto, se consultó a profesores de geología, paleontología y otras áreas de conocimiento de la Universidad de la República (UDELAR) que realizan actividades de campo en la región de estudio. Para la selección de sitios de geodiversidad con un alto valor educativo, las

ocurrencias deben tener diferentes características geológicas que puedan ser comprendidas fácilmente por estudiantes de diferentes niveles educativos, con un acceso cómodo y rápido, y donde los estudiantes puedan observar el sitio en buenas condiciones de seguridad (Brilha, 2016).

En el caso del inventario de sitios de geodiversidad con valor turístico, se analizó la documentación sobre el turismo de la zona (folletos, sitios web, postales, etc.) y se consultó operadores turísticos de la región quienes indicaron localidades en las cuales son desarrolladas actividades turísticas a partir de elementos de la geodiversidad. Los sitios de geodiversidad con un alto valor turístico deben presentar una belleza visual disfrutable por la mayoría del público, con características geológicas que puedan ser fácilmente observadas y comprendidas por personas no especialistas en buenas condiciones de seguridad, y con un acceso cómodo y rápido (Brilha, 2016).

#### **4.1.2 Etapa 2: Salidas de campo y análisis cualitativo**

La etapa de trabajo de campo constó de tres momentos distintos, 16/12/2019 al 20/12/2019, 10/02/2020 al 13/02/2020 y 17/04/2023 al 20/04/2023, durante los cuales se visitaron las localidades incluidas en la lista preliminar de geositios y sitios de geodiversidad a ser inventariados, además de visitar nuevos sitios que podrían incluirse en el inventario y realizar reuniones con las intendencias para presentar el proyecto de geoparque.

Durante esta etapa, se realizó una evaluación cualitativa de los sitios según los criterios resumidos en la Tabla 4-2, enfocándose en los aspectos más notables de cada uno. También se llevaron a cabo las descripciones geológicas de cada sitio, describiendo la litología, realizando levantamientos de perfiles estratigráficos y recogiendo muestras para la realización de láminas delgadas que complementarán la descripción geológica de los sitios objeto de estudio. Asimismo, se descartaron aquellas localidades que, por diversas razones, no podían ser consideradas para el inventario, ya fuera por su mal estado de conservación o por problemas de acceso.

Tabla 4-2: Aspectos a observar en los sitios visitados por cada tipo de valor (científico, turístico, educativo).

Valor Científico (VC)	Representatividad	Relacionada con la idoneidad del geositio para ilustrar un proceso o recurso geológico, que aporte una contribución significativa a la comprensión geológica del tema, proceso, recurso o categoría temática geológica
	Integridad	Relacionado con el estado actual de conservación del geositio, teniendo en cuenta los procesos naturales y las acciones humanas
	Rareza	Abundancia de geositios en la región que presenten características geológicas similares
	Conocimiento científico	Existencia de datos científicos ya publicados sobre el geositio
Valor Educativo (VE)	Potencial didáctico	Capacidad de recurso geológico para ser comprendido fácilmente por estudiantes de diferentes niveles educativos (primaria, secundaria y universidad)
	Diversidad geológica	Número de tipos diferentes de elementos de geodiversidad presentes en el mismo lugar
	Accesibilidad	Condiciones de acceso al lugar, en términos de dificultad y tiempo de permanencia a pie para los estudiantes
	Seguridad	Condiciones de visita, teniendo en cuenta el mínimo riesgo para los estudiantes
Valor Turístico (VT)	Belleza escénica	Asociada a la belleza geológica visual de la ocurrencia (paisaje o afloramiento)
	Potencial interpretativo	Relacionado con la capacidad de un recurso geológico para ser comprendido fácilmente por los visitantes
	Accesibilidad	Condiciones de acceso al sitio, en términos de dificultad y tiempo de caminata para el público en general
	Seguridad	Relacionada con las condiciones de visita, teniendo en cuenta el riesgo mínimo para los visitantes

#### 4.1.3 Etapa 3: Caracterización de la lista final de geositios y sitios de geodiversidad

Tras las actividades de campo, se generó un listado final de geositios y sitios de geodiversidad, que fueron caracterizados siguiendo las recomendaciones de la metodología de Brilha (2016), de Fuertes-Gutiérrez y Fernández-Martínez (2010) y SIGEP (2002). Estas recomendaciones y criterios se presentan a continuación.

Según Brilha (2016), cada geositio de la lista final debe ser caracterizado utilizando un formulario que contenga los siguientes datos:

- (i) Nombre del geositio (con el fin de facilitar una identificación rápida y sencilla de todos los geositios, el nombre de un geositio debe incluir la característica geológica principal y una referencia geográfica).

- (ii) Ubicación geográfica (incluyendo coordenadas GPS).
- (iii) Propietario (público o privado).
- (iv) Protección legal
- (v) Accesibilidad
- (vi) Fragilidad y vulnerabilidad (ver "Evaluación cuantitativa del riesgo de degradación").
- (vii) Descripción geológica.
- (viii) Características geológicas más destacadas que justifiquen la consideración del sitio como un geosito.
- (ix) Categoría temática
- (x) Limitaciones eventuales para su uso científico (necesidad de permiso para muestreo, restricciones de acceso estacional debido a nieve, mareas, etc.).

Mientras que cada sitio de geodiversidad debe ser caracterizado utilizando un formulario que contenga los siguientes datos:

- (i) Nombre del sitio de geodiversidad (se recomienda que el nombre de un sitio de geodiversidad incluya el tipo de elemento geológico y una identificación geográfica).
- (ii) Ubicación geográfica (incluyendo coordenadas GPS).
- (iii) Propietario (público o privado).
- (iv) Protección legal (si corresponde).
- (v) Accesibilidad.
- (vi) Fragilidad y vulnerabilidad (ver "Evaluación cuantitativa del riesgo de degradación").
- (vii) Descripción geológica.
- (viii) Características de geodiversidad con potencial educativo y/o turístico.
- (ix) Posibles vínculos con recursos ecológicos y culturales.
- (x) Limitaciones de uso (necesidad de pagar tarifa de entrada, restricciones de capacidad, limitaciones estacionales, etc.).
- (xi) Condiciones de seguridad (condiciones actuales para estudiantes y turistas, teniendo en cuenta su seguridad).
- (xii) Condiciones de observación (de los principales elementos de geodiversidad).

Adicionalmente, cada geosito y sitio de geodiversidad se caracterizó en función de su principal atributo. Para eso se utilizaron las tipologías definidas en el documento de

SIGEP (2002), como se muestra en la Tabla 4-3. El SIGEP (Comisión Brasileña de Sitios Geológicos y Paleobiológico) fue fundada en 1997 con la participación de varias entidades de geociencias en Brasil, con el objetivo de identificar y listar sitios de importancia nacional para su protección y difusión (Schobbenhaus y Winge 2012). Se definieron los atributos principales y secundarios. También se registró atributos más allá de los geológicos, como el interés Arqueológico e Histórico-cultural (Figura 4-1).

Tabla 4-3: Tipos de atributos utilizados para caracterizar los geositos y sitios de geodiversidad.

Astroblema	Geomorfológico	Tectono-estructural	Hidrogeológico
Ígneo	Marino-submarino	Metalogenético	Metamórfico
Mineralógico	Paleoambiental	Paleontológico	Sedimentario
Espeleológico	Estratigráfico	Historia de la geología, minería, paleontología	Otro(s)

Otra información utilizada para caracterizar los geositos y sitios de geodiversidad es el tipo de sitio (punto, sección, área y mirador). Se utilizó la metodología de Fuertes-Gutiérrez y Fernández-Martínez (2010). Las autoras propusieron cinco tipos de sitio, que son:

- (i) Puntos: características aisladas de pequeño tamaño;
- (ii) Secciones: características con desarrollo lineal;
- (iii) Áreas: comprenden sitios de mayor tamaño con un solo tipo de interés;
- (iv) Mirador: pueden incluir una gran área de interés geológico y un observatorio desde donde se puede ver esta área;
- (v) Áreas complejas: sitios de gran dimensión que comprenden más de una tipología

Para cada geosito y sitio de geodiversidad se preparó una ficha de caracterización que resume todas las recomendaciones de informaciones a ser compiladas propuestas por Brilha (2016), los atributos de SIGEP (2002) y tipo de sitio por Fuertes-Gutiérrez y Fernández-Martínez (2010), cuyo modelo se presenta en la Figura 4-1. Las fichas completas para cada geosito y sitio de geodiversidad están en el Anexo A.

En el contexto de los geositos y sitios de geodiversidad, la accesibilidad desempeña un papel crucial en la experiencia y el involucramiento de los visitantes. Una accesibilidad 'fácil' se refiere a que los visitantes pueden llegar y moverse dentro del geosito o sitio de

geodiversidad con facilidad pues este cuenta con una infraestructura adecuada, como carreteras bien mantenidas, estacionamiento accesible y senderos bien señalizados. Por otro lado, una accesibilidad 'media' se caracteriza por algunas limitaciones en la infraestructura o los senderos, que pueden requerir un poco más de esfuerzo o planificación por parte de los visitantes, pero aún son accesibles en la mayoría de los casos. Por último, una accesibilidad 'difícil' ocurre cuando existen restricciones significativas que dificultan o impiden la visita al geosítio o sitio de geodiversidad, como la falta de carreteras adecuadas, senderos peligrosos o una ubicación remota que solo se puede acceder mediante vehículos especiales.

Un buen estado de conservación de un geosítio o sitio de geodiversidad se caracteriza por la preservación completa de sus características geológicas, con pocos signos visibles de degradación. En estos casos, el geosítio o sitio de geodiversidad mantiene sus formaciones rocosas, paisajes y estructuras originales, permitiendo que los visitantes aprecien plenamente su importancia y valor científico. Por otro lado, un estado mediano de conservación puede presentar algunos signos de desgaste o deterioro, como una erosión leve o alteraciones causadas por intervenciones humanas moderadas. Aunque aún es posible reconocer los principales elementos del geosítio o sitio de geodiversidad, puede requerirse un esfuerzo adicional para restaurar o conservar sus características originales. Por último, un mal estado de conservación indica un alto nivel de degradación, con una pérdida significativa de elementos de la geodiversidad clave del geosítio o sitio de geodiversidad. Esto puede incluir daños graves a las formaciones rocosas, destrucción de estructuras o pérdida de características geológicas importantes

En el capítulo 5 se presenta en la Tabla 5-2 un resumen de las características de los geosítios y sitios de geodiversidad. Además, se incluye una descripción más detallada de cada sitio, la cual contiene un mapa de ubicación obtenido mediante el *software ArcMap 10.8*, perfiles estratigráficos realizados con *SedLog 3.0* e imágenes relevantes como fotografías de los elementos de geodiversidad y fotomicrografías de secciones delgadas. Estas imágenes fueron editadas utilizando el *software Canva*.

Los códigos de litofacies empleados para la realización de los perfiles estratigráficos se presentan en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Litofacies definidas para este trabajo. Se muestran los códigos empleados y una descripción resumida de los atributos de cada facies (Miall, 1978 en Mesa, 2016).

<b>Código Litofacies</b>	<b>Descripción</b>
<b>Sm I</b>	Areniscas muy finas a medias, con estructura masiva.
<b>Sm II</b>	Areniscas muy finas a medias, masivas o con laminación poco definida, con evidencias de bioturbación/fluidización/edafización.
<b>Sr</b>	Areniscas finas a medias, con estratificación/laminación cruzada tabular planar.
<b>St I</b>	Areniscas muy finas a medias, a veces con gravas, con estratificación cruzada tangencial/en artesa.
<b>St II</b>	Areniscas muy finas a medias, con estratificación cruzada tangencial/en artesa. Gradación inversa intralámina. Laminación interna de tipo <i>CTR</i> .
<b>SI I</b>	Areniscas finas a medias, con intraclastos pelíticos. Estratificación cruzada de bajo ángulo.
<b>SI II</b>	Areniscas finas a medias, con estratificación cruzada de bajo ángulo. Gradación inversa intralámina. Laminación interna de tipo <i>CTR</i> .
<b>Sh</b>	Areniscas muy finas a medias, con estratificación horizontal.
<b>Sa</b>	Areniscas finas a medias, con laminación horizontal o cruzada de <i>ripples</i> . Estructuras de adhesión eólica.
<b>FI</b>	Pelitas con laminación horizontal o masiva. Subordinadamente, areniscas muy finas a medias, con <i>ripples</i> .
<b>Fm</b>	Pelitas, masivas o con laminación horizontal. Pueden presentar edafización.

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

**2. Valor**

**3. Localización**

Localidad  Coordenadas x

Departamento  y

**4. Tipología**

Astroblema  Espeleológico

Estratigráfico  Geomorfológico

História de la geología, minería, paleontología  Hidrogeológico

Tectono-estructural  Ígneo

Metamórfico  Metalogenético

Paleambiental  Mineralógico

Sedimentario  Paleontológico

Otro(s)

Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural

**5. Categoría temática**

**6. Propietário**  Público  Privado

**7. ¿Se encuentra en un área protegida?**

No  Si ¿Cuál? .....

**8. Accesibilidad**

Fácil  Mediana  Difícil

Descripción

**9. Estado de conservación**

Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado

**10. Tipo de sitio**

Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

**12. Limitaciones de uso:**

No  Si ¿Cuál? .....

**13. Referencias bibliográficas**

Figura 4-1: Ficha de caracterización basada en el método de Brilha (2016), tipologías propuestas por SIGEP (2002) y tipos de sitio (Nascimento *et al.* 2021).

#### **4.1.4 Etapa 4: Evaluación cuantitativa**

Al igual que el inventario que tiene diferentes etapas, según el valor del lugar que se seleccione, la cuantificación también tiene diferentes criterios de evaluación para cada valor.

Es importante recordar que, en todo proceso de inventario, y especialmente en la fase de valoración, siempre existe una componente subjetiva que no puede ser anulada, aunque sí mitigada mediante la aplicación de una metodología apropiada. En este sentido, la definición precisa de los criterios de evaluación minimiza las ambigüedades y contribuye a homogeneizar la manera en cómo se interpretan los distintos parámetros (Brilha, 2016).

##### **4.1.4.1 Evaluación cuantitativa del valor científico (VC)**

Brilha (2016) propuso siete criterios para la evaluación cuantitativa del VC de los geositios:

- A. Representatividad: capacidad de un geositio para ilustrar elementos o procesos geológicos (relacionados con la categoría temática geológica considerada);
- B. Localidad tipo: importancia de un geositio como referencia o modelo para la estratigrafía, la paleontología, la mineralogía, etc.;
- C. Conocimientos científicos: existencia de estudios y publicaciones científicas sobre el geositio (relacionados con la categoría temática geológica considerada);
- D. Integridad: relacionada con el estado de conservación de los principales rasgos geológicos;
- E. Diversidad geológica: elevado número de rasgos geológicos diferentes de interés científico;
- F. Rareza: escaso número de geositios similares en la zona de estudio;
- G. Limitaciones de uso: existencia de obstáculos que puedan resultar problemáticos para el uso científico habitual del geositio.

Los criterios se puntúan con 1, 2 o 4 según los indicadores explicados en la Tabla 4-5 (se puede dar cero a cualquier criterio). El VC final es una suma ponderada del parámetro asignado a cada criterio. Los pesos de cada criterio también se expresan en la tabla mencionada anteriormente.

Tabla 4-5: Criterios, indicadores y parámetros utilizados para la evaluación cuantitativa del valor científico de los geositorios y los pesos de la suma ponderada adaptados de Brilha (2016).

<b>VALOR CIENTÍFICO (VC)</b>		
<b>Criterios/indicadores</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Peso (%)</b>
<b>A. Representatividad</b>		<b>30</b>
El geositorio es el mejor ejemplo en la zona de estudio para ilustrar elementos o procesos, relacionados con la categoría temática geológica en cuestión	<b>4 puntos</b>	
El geositorio es un buen ejemplo en la zona de estudio para ilustrar elementos o procesos, relacionados con la categoría temática geológica en cuestión	<b>2 puntos</b>	
El geositorio ilustra razonablemente elementos o procesos en la zona de estudio, relacionados con la categoría temática geológica en cuestión	<b>1 punto</b>	
<b>B. Localidad clave</b>		<b>20</b>
El geositorio está reconocido como GSSP o ASSP por la IUGS o es un sitio de referencia de la IMA	<b>4 puntos</b>	
El geositorio es utilizado por la ciencia internacional, directamente relacionada con la categoría temática geológica en cuestión	<b>2 puntos</b>	
El geositorio es utilizado por la ciencia nacional, directamente relacionada con la categoría temática geológica en cuestión	<b>1 punto</b>	
<b>C. Conocimientos científicos</b>		<b>5</b>
Existen artículos en revistas científicas internacionales sobre este geositorio, directamente relacionados con la categoría temática geológica en cuestión	<b>4 puntos</b>	
Existen documentos en publicaciones científicas nacionales sobre este geositorio, directamente relacionados con la categoría temática geológica en cuestión	<b>2 puntos</b>	
Existen resúmenes presentados en eventos científicos internacionales sobre este geositorio, directamente relacionados con la categoría temática geológica en cuestión	<b>1 punto</b>	
<b>D. Integridad</b>		<b>15</b>
Los principales elementos geológicos (relacionados con la categoría temática geológica en cuestión) están muy bien conservados	<b>4 puntos</b>	
El geositorio no está tan bien conservado, pero los principales elementos geológicos (relacionados con la categoría temática geológica en cuestión) se conservan todavía	<b>2 puntos</b>	
Geositorio con problemas de conservación y con los principales elementos geológicos (relacionados con la categoría temática geológica en cuestión)	<b>1 punto</b>	

muy alterado o modificado

<b>E. Diversidad geológica</b>	<b>5</b>
Geositio con más de tres tipos de características geológicas distintas con relevancia científica	<b>4 puntos</b>
Geositio con tres tipos de características geológicas distintas de relevancia científica	<b>2 puntos</b>
Geositio con dos tipos de rasgos geológicos distintos de relevancia científica	<b>1 punto</b>
<b>F. Rareza</b>	<b>15</b>
El geositio es el único caso de este tipo en la zona de estudio	<b>4 puntos</b>
En la zona de estudio hay dos o tres ejemplos de geositios similares	<b>2 puntos</b>
En la zona de estudio hay cuatro o cinco ejemplos de geositios similares	<b>1 punto</b>
<b>G. Limitaciones de uso</b>	<b>10</b>
El geositio no tiene limitaciones (permisos legales, barreras físicas, etc.) para el muestreo o el trabajo de campo	<b>4 puntos</b>
Es posible recoger muestras y realizar trabajos de campo tras superar las limitaciones	<b>2 puntos</b>
El muestreo y el trabajo de campo son muy difíciles de realizar debido a las limitaciones difíciles de superar (permisos legales, permisos físicos, etc.).	<b>1 punto</b>
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

En la evaluación del valor científico, los criterios de diversidad geológica y conocimientos científicos son los criterios con menor peso asignado en la sumatoria (5). La inexistencia de publicaciones científicas sobre un geositio puede ser consecuencia de que se encuentre en una zona sin tradición en estudios geológicos o con pocos equipos de investigación operando en ella, o incluso significar que se trata de un descubrimiento reciente y aún no se ha publicado ningún estudio.

Un geositio tiene un VC máximo cuando es la mejor representación de un rasgo geológico o de un hito geológico determinado, y cuando es una referencia internacional rara y conocida con publicaciones sobre ella, y cuando presenta varios rasgos geológicos bien conservados con relevancia científica y que están fácilmente disponibles para futuras investigaciones. El geositio evaluado puede obtener una puntuación máxima de 400. Los valores científicos se clasifican según su relevancia (internacional o nacional).

#### **4.1.4.2 Evaluación cuantitativa del potencial uso educativo (PUE) y potencial uso turístico (PUT)**

La evaluación cuantitativa del PUE está basada en 12 criterios, mientras que el PUT se analiza con 13 criterios. Los diez primeros (A-J) se comparten entre ellos y son:

- A. Vulnerabilidad: existencia de elementos geológicos que pueden ser destruidos por los visitantes;
- B. Accesibilidad: entre los medios de transporte de que dispone el lugar, el acceso más fácil y corto es a pie;
- C. Limitaciones de uso: existencia de obstáculos que puedan resultar problemáticos para el desarrollo de actividades educativas y/o turísticas;
- D. Seguridad: cuando la actividad de campo puede realizarse en condiciones de bajo riesgo para los alumnos y cuando pueden ser visitados por turistas en condiciones de bajo riesgo;
- E. Logística: existencia de instalaciones para recibir a los visitantes, como alojamiento, comida y aseos;
- F. Densidad de población: existencia de pueblos/ciudades cerca del lugar como fuente potencial de visitantes que aumenta su valor turístico;
- G. Asociación con otros valores: existencia de otros elementos naturales o culturales asociados al sitio que puedan justificar clases de campo interdisciplinarias;
- H. Paisaje (belleza escénica): representa la belleza de los elementos geológicos que podrían estimular el interés de los visitantes por el sitio;
- I. Singularidad: se refiere a la singularidad y rareza del elemento de geodiversidad que podría fomentar el interés de los visitantes por el lugar;
- J. Condiciones de observación: condiciones para observar todos los elementos de geodiversidad del lugar;

Para la evaluación del PUE los otros dos criterios (K-L) son:

- K. Potencial didáctico: uso didáctico del sitio por parte de alumnos de distintos niveles educativos;
- L. Diversidad geológica: elevado número de elementos de geodiversidad diferentes con potencial didáctico.

Para la evaluación del PUT los otros tres criterios (K-M) son:

- K. Potencial interpretativo: relacionado con la capacidad de un recurso de geodiversidad para ser comprendido fácilmente por personas con escasos o nulos conocimientos geológicos;
- L. Nivel económico: el alto nivel de ingresos de las personas que viven cerca del sitio sugiere una mayor probabilidad de ser visitado;
- M. Proximidad a zonas recreativas: la visita turística a un sitio puede beneficiarse de la existencia de atracciones turísticas conocidas de los alrededores.

Los criterios se puntúan de 1 a 4 según los indicadores explicados en las Tablas 4-6, 4-7 y 4-8 (se puede dar cero a cualquier criterio), y el potencial uso educativo final y el potencial uso turístico final es la suma ponderada del parámetro asignado a cada criterio (Tabla 4-9).

Algunos criterios fueron modificados a fines de adecuarse a la realidad del tamaño de Uruguay y su población. Las distancias en el criterio “D” (seguridad) se aumentaron en 2x en comparación con el valor original, una vez que las distancias relativas en el área de estudio son mayores dado que Uruguay tiene casi el doble de área que Portugal, país en el cual la metodología de Brilha (2016) fue pensada. El criterio “F”, de densidad de población, fue ajustado para 10% del valor sugerido por la metodología, de lo contrario todas las localidades se iban a puntuar de manera igual. Las distancias del criterio “G” (asociación con otros valores) fueron ajustadas en 2x. La misma alteración en el criterio “F” se aplicó para el riesgo de degradación, que también utiliza ese criterio en su evaluación.

Tabla 4-6: Criterios, indicadores y parámetros utilizados para la evaluación cuantitativa de los posibles usos educativos y turísticos. Diez criterios (A-J) se comparten entre estos dos tipos de usos. Se utilizan otros dos criterios (K-L) para evaluar la PUE (Tabla 4-7) y tres (K-M) para el PUT (Tabla 4-8).

<b>USO EDUCATIVO POTENCIAL (PUE) Y USO TURÍSTICO POTENCIAL (PUT)</b>	
<b>Criterios/indicadores</b>	<b>Parámetro</b>
<b>A. Vulnerabilidad</b>	
Los elementos geológicos del sitio no presentan un posible deterioro debido a la actividad antrópica	<b>4 puntos</b>
Existe la posibilidad de deterioro de los elementos geológicos secundarios debido a la actividad antrópica	<b>3 puntos</b>

Existe la posibilidad de deterioro de los principales elementos geológicos debido a la actividad antrópica **2 puntos**

Existe la posibilidad de deterioro de todos los elementos geológicos por la actividad antrópica **1 punto**

### **B. Accesibilidad**

Sitio situado a menos de 100 m de una carretera asfaltada y con aparcamiento para autocares **4 puntos**

Sitio situado a menos de 500 m de una carretera pavimentada **3 puntos**

Sitio accesible en autobús, pero a través de un camino de grava **2 puntos**

Sitio sin acceso directo por carretera, pero situado a menos de 1 km de una autopista accesible en autobús **1 punto**

### **C. Limitaciones de uso**

El sitio no tiene limitaciones para el uso de estudiantes y turistas **4 puntos**

El sitio puede ser utilizado por estudiantes y turistas, pero sólo ocasionalmente **3 puntos**

El sitio puede ser utilizado por estudiantes y turistas, pero sólo después de superar las limitaciones (legales, permisos, físicas, mareas, inundaciones, ...) **2 puntos**

El sitio puede ser utilizado por estudiantes y turistas, pero sólo después de superar las limitaciones (legales, permisos, físicas, mareas, inundaciones, ...) **1 punto**

### **D. Seguridad**

Sitio con instalaciones de seguridad (escaleras, escaleras mecánicas, pasillos, etc.), cobertura de telefonía móvil y situado a menos de 10 km de los servicios de emergencia **4 puntos**

Sitio con instalaciones de seguridad (escaleras, escaleras mecánicas, pasillos, etc.), cobertura de telefonía móvil y situado a menos de 50 km de los servicios de emergencia **3 puntos**

Sitio sin instalaciones de seguridad, pero con cobertura de telefonía móvil y situado a menos de 100 km de los servicios de emergencia **2 puntos**

Sitio sin instalaciones de seguridad, sin cobertura de telefonía móvil y situado a más de 100 km de los servicios de emergencia **1 punto**

### **E. Logística**

Alojamiento y restaurantes para grupos de 50 personas a menos de 15 km del sitio **4 puntos**

Alojamiento y restaurantes para grupos de 50 personas a menos de 50 km del sitio **3 puntos**

Alojamiento y restaurantes para grupos de 50 personas a menos de 100 km del sitio **2 puntos**

Alojamiento y restaurantes para grupos de menos de 25 personas y a menos de 50 km del sitio **1 punto**

## **F. Densidad de población**

Sitio situado en un municipio con más de 100 habitantes/km <sup>2</sup>	<b>4 puntos</b>
Sitio situado en un municipio con 25-100 habitantes/km <sup>2</sup>	<b>3 puntos</b>
Sitio situado en un municipio con 10-25 habitantes/km <sup>2</sup>	<b>2 puntos</b>
Sitio situado en un municipio con menos de 10 habitantes/km <sup>2</sup>	<b>1 punto</b>

## **G. Asociación con otros valores**

Presencia de varios valores ecológicos y culturales a menos de 5 km del sitio	<b>4 puntos</b>
Presencia de varios valores ecológicos y culturales a menos de 10 km del sitio	<b>3 puntos</b>
Ocurrencia de valor ecológico y cultural en un radio de 10 km del sitio	<b>2 puntos</b>
Ocurrencia de valor ecológico o cultural a menos de 10 km del sitio	<b>1 punto</b>

## **H. Paisaje**

Sitio utilizado actualmente como destino turístico en las campañas nacionales	<b>4 puntos</b>
Sitio utilizado ocasionalmente como destino turístico en campañas nacionales	<b>3 puntos</b>
Sitio utilizado actualmente como destino turístico en las campañas locales	<b>2 puntos</b>
Sitio utilizado ocasionalmente como destino turístico en campañas locales	<b>1 punto</b>

## **I. Singularidad**

El sitio presenta características únicas e inusuales teniendo en cuenta este país y los países vecinos	<b>4 puntos</b>
El sitio tiene características únicas e inusuales en el país	<b>3 puntos</b>
El sitio presenta características comunes en esta región, pero no en otras regiones del país	<b>2 puntos</b>
El sitio presenta características bastante comunes en todo el país	<b>1 punto</b>

## **J. Condiciones de observación**

Todos los elementos geológicos están en buen estado	<b>4 puntos</b>
Hay algunos obstáculos que dificultan la observación de algunos elementos geológicos	<b>3 puntos</b>
Hay algunos obstáculos que dificultan la observación de los principales elementos geológicos	<b>2 puntos</b>
Hay algunos obstáculos que casi impiden la observación de los principales elementos geológicos	<b>1 punto</b>

Tabla 4-7: Criterios y parámetros para la evaluación del Potencial uso Educativo (PUE).

<b>POTENCIAL USO EDUCATIVO (PUE)</b>	<b>Parámetro</b>
<b>K. Potencial didáctico</b>	
El sitio presenta elementos geológicos que se enseñan en todos niveles de la enseñanza	<b>4 puntos</b>
El sitio tiene elementos geológicos que se enseñan en la escuela primaria	<b>3 puntos</b>
El sitio tiene elementos geológicos que se enseñan en la escuela secundaria	<b>2 puntos</b>
El sitio tiene elementos geológicos que se enseñan en la universidad	<b>1 punto</b>
<b>L. Diversidad geológica</b>	
Hay más de 3 tipos de elementos de geodiversidad en el sitio (mineralógico, paleontológico, geomorfológico, etc.)	<b>4 puntos</b>
Hay 3 tipos de elementos de geodiversidad en el sitio	<b>3 puntos</b>
Hay 2 tipos de elementos de geodiversidad en el sitio	<b>2 puntos</b>
Sólo hay 1 tipo de elemento de geodiversidad en el sitio	<b>1 punto</b>

Tabla 4-8: Criterio para la evaluación del Potencial uso Turístico (PUT)

<b>POTENCIAL USO TURÍSTICO (PUT)</b>	<b>Parámetro</b>
<b>K. Potencial de interpretación</b>	
El sitio presenta los elementos geológicos de forma muy clara y expresiva para todo tipo de público	<b>4 puntos</b>
El público debe tener cierta formación geológica para entender los elementos geológicos del sitio	<b>3 puntos</b>
El público debe tener una base geológica sólida para comprender los elementos geológicos del sitio	<b>2 puntos</b>
El sitio presenta elementos geológicos sólo comprensibles para los expertos en geología	<b>1 punto</b>
<b>L. Nivel económico</b>	
El sitio está situado en un municipio con una renta familiar inferior al doble de la media nacional	<b>4 puntos</b>
El sitio está situado en un municipio con una renta familiar superior a la media nacional	<b>3 puntos</b>
El sitio se encuentra en un municipio con una renta familiar similar a la media nacional	<b>2 puntos</b>
El sitio está situado en un municipio con una renta familiar inferior a la media nacional	<b>1 punto</b>
<b>M. Proximidad a zonas recreativas</b>	
Sitio situado a menos de 5 km de una zona de recreo o una atracción turística	<b>4 puntos</b>
Sitio situado a menos de 10 km de una zona de recreo o una atracción turística	<b>3 puntos</b>
Sitio situado a menos de 15 km de una zona de recreo o una atracción turística	<b>2 puntos</b>
Sitio situado a menos de 20 km de una zona de recreo o una atracción turística	<b>1 punto</b>

Un lugar tiene un alto PUT cuando los elementos geológicos tienen una relevancia estética notable (normalmente los elementos geomorfológicos son los que tienen un mayor potencial para ser por el público en general) y pueden ser fácilmente entendidos por personas sin formación geocientífica, además de estar asociados a bajos riesgos de degradación por la actividad antrópica (baja vulnerabilidad) (Brilha, 2016).

Un lugar tiene un PUE más alto cuando los elementos de la geodiversidad son resistentes a una eventual destrucción causada por los visitantes (baja vulnerabilidad) y cuando pueden ser observados de todos los niveles escolares (desde los alumnos de primaria hasta los universitarios). Este tipo de lugares también son de fácil acceso para los medios de transporte y ofrece condiciones de seguridad. Los valores de potencial educativo y turístico también se clasifican según su relevancia (internacional, nacional o local).

Tabla 4-9: Pesos para los criterios de evaluación utilizados en la suma ponderada para el cálculo del PUE y

PUT

<b>USO EDUCATIVO POTENCIAL (PUE)</b>		<b>USO TURÍSTICO POTENCIAL (PUT)</b>	
<b>Criterios/indicadores</b>	<b>Peso (%)</b>	<b>Criterios/indicadores</b>	<b>Peso (%)</b>
A. Vulnerabilidad	10	A. Vulnerabilidad	10
B. Accesibilidad	10	B. Accesibilidad	10
C. Limitaciones de uso	5	C. Limitaciones de uso	5
D. Seguridad	10	D. Seguridad	10
E. Logística	5	E. Logística	5
F. Densidad de población	5	F. Densidad de población	5
G. Asociación con otros valores	5	G. Asociación con otros valores	5
H. Paisaje	5	H. Paisaje	15
I. Singularidad	5	I. Singularidad	10
J. Condiciones de observación	10	J. Condiciones de observación	5
K. Potencial didáctico	20	K. Potencial de interpretación	10
L. Diversidad geológica	10	L. Nivel económico	5
		M. Proximidad de las áreas recreativas	5

De forma complementaria, también se evaluaron los valores PUT y PUE de los geositos utilizando los mismos parámetros y criterios de clasificación descritos anteriormente. Se evaluaron el PUE y el PUT de todos los sitios de geodiversidad, ya que muchos comparten ambos valores.

#### 4.1.4.3 Evaluación del riesgo de degradación (RD)

Otro aspecto que debe evaluarse es el riesgo de degradación, que es una evaluación complementaria e importante para la preparación y aplicación de los planes de gestión.

Un lugar tiene un RD máximo cuando sus principales elementos geológicos característicos tienen una alta probabilidad de ser dañados por factores naturales o antrópicos, cuando el lugar no está bajo protección legal y cuando está situado cerca de una zona o actividad potencialmente dañina.

La evaluación del riesgo de degradación se basa en cinco criterios:

- A. Deterioro de elementos geológicos: refleja la posibilidad de pérdida de elementos geológicos en el sitio como consecuencia de (i) su fragilidad, es decir, sus características intrínsecas (tamaño del elemento geológico, facilidad de obtención de muestras, resistencia de la roca) y acciones naturales (susceptibilidad a la erosión, intensidad de los agentes erosivos) y (ii) su vulnerabilidad a acciones antrópicas (turismo, agricultura, urbanismo, vandalismo, etc.).
- B. Proximidad a zonas/actividades con potencial para causar degradación: minería, instalaciones industriales, zonas recreativas, carreteras, zonas urbanas, etc.
- C. Protección jurídica: relacionada con la ubicación del sitio en una zona con algún tipo de protección jurídica (directa o indirecta). El control del acceso se refiere a la existencia de obstáculos, como restricciones por parte del propietario, vallas, necesidad de pagar derechos de entrada, actividades mineras.
- D. Accesibilidad: Refleja las condiciones de acceso al recinto para el público en general (sin tener en cuenta a las personas con discapacidad). Un sitio de fácil acceso tiene más probabilidades de sufrir daños por el mal uso de los visitantes que uno de difícil acceso.
- E. Densidad de población: revela el número de personas que viven cerca del lugar y que pueden causar un deterioro potencial del lugar debido a un uso inadecuado y avance de la urbanización.

Cada criterio se puntúa entre 1 y 4 puntos (también es posible el cero) y los resultados finales del RD se obtienen a partir de la suma ponderada de las puntuaciones y los pesos asignados a cada criterio (Tabla 4-10). Los criterios "D" (accesibilidad) y "E" (densidad de

población) se utilizan tanto en la evaluación del valor educativo como turístico de los sitios, sin embargo, en RD, estos criterios se consideran de forma diferente.

Tabla 4-10: Criterios/indicadores, parámetros y pesos utilizados para la evaluación cuantitativa del riesgo de degradación (RD) de los sitios (Brilha, 2016, p.13).

<b>RIESGO DE DEGRADACIÓN (RD)</b>		
<b>Criterios/indicadores</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Peso</b>
<b>A. Deterioro de los elementos geológicos</b>		<b>35</b>
Posibilidad de deterioro de todos los elementos geológicos	<b>4 puntos</b>	
Posibilidad de deterioro de los principales elementos geológicos	<b>3 puntos</b>	
Posibilidad de deterioro de los elementos geológicos secundarios	<b>2 puntos</b>	
Menor posibilidad de daños en los elementos geológicos secundarios	<b>1 punto</b>	
<b>B. Proximidad a zonas/actividades con potencial de degradación</b>		<b>20</b>
Sitio situado a menos de 50 m de una zona/actividad potencialmente degradante	<b>4 puntos</b>	
Sitio situado a menos de 200 m de una zona/actividad potencialmente degradante	<b>3 puntos</b>	
Sitio situado a menos de 500 m de una zona/actividad potencialmente degradante	<b>2 puntos</b>	
Sitio situado a menos de 1 km de una zona/actividad potencialmente degradante	<b>1 punto</b>	
<b>C. Protección jurídica</b>		<b>20</b>
Sitio situado en una zona sin protección legal y sin control de acceso	<b>4 puntos</b>	
Sitio situado en una zona sin protección legal, pero con control de acceso	<b>3 puntos</b>	
Sitio situado en una zona con protección legal, pero sin control de acceso	<b>2 puntos</b>	
Sitio situado en una zona con protección legal y control de acceso	<b>1 punto</b>	
<b>D. Accesibilidad</b>		<b>15</b>
Sitio situado a menos de 100 m de una carretera asfaltada y con aparcamiento para autocares	<b>4 puntos</b>	
Sitio situado a menos de 500 m de una carretera pavimentada	<b>3 puntos</b>	
Sitios con acceso en autobús por un camino de grava	<b>2 puntos</b>	
Sitio sin acceso directo por carretera, pero situado a menos de 1 km de una autopista accesible en autobús	<b>1 punto</b>	
<b>E. Densidad de población</b>		<b>10</b>
Sitio situado en un municipio con más de 100 habitantes/km <sup>2</sup>	<b>4 puntos</b>	
Sitio situado en un municipio con 25-100 habitantes/km <sup>2</sup>	<b>3 puntos</b>	
Sitio situado en un municipio con 10-25 habitantes/km <sup>2</sup>	<b>2 puntos</b>	
Sitio situado en un municipio con menos de 10 habitantes/km <sup>2</sup>	<b>1 punto</b>	
<b>Total</b>		<b>100</b>

#### 4.1.5 Etapa 5: Clasificación

Considerando que el patrimonio geológico sólo es justificable por su valor científico, su relevancia sólo puede ser nacional o internacional, ya que no existe "ciencia local" (Brilha, 2016). Para el proyecto GMB, se ha empleado la clasificación presentada en la Tabla 4-11 para identificar la relevancia de los geositos con base en el total ponderado de la evaluación cuantitativa del VC:

Tabla 4-11: Clasificación según su relevancia para el VC (GEOSSIT).

<b>Total ponderado del VC</b>	<b>Relevancia</b>
≥ 200	Nacional
>300	Internacional

La clasificación de los sitios de geodiversidad se fundamenta en la evaluación cuantitativa del PUE y PUT. Aquellos lugares cuyo valor principal radica en el turismo son clasificados en base al total ponderado del PUT, mientras que los sitios de geodiversidad con un valor educativo se clasifican utilizando el total ponderado del PUE. En el caso de aquellos sitios que poseen tanto un valor educativo como turístico, la clasificación se realiza tomando en cuenta la media aritmética de los totales ponderados del PUE y PUT. Los intervalos utilizados para la clasificación de los sitios de geodiversidad se presentan en la Tabla 4-12

Tabla 4-12: Clasificación de los sitios de geodiversidad según su relevancia con base en el total ponderado del PUT o PUE (GEOSSIT).

<b>Total ponderado del PUT o PUE</b>	<b>Relevancia</b>
<200	Local/regional
200-300	Nacional

Para su uso como herramienta de gestión, el RD de los geositos y sitios de geodiversidad se clasifica en bajo, moderado y alto según los valores del total ponderado presentados en la Tabla 4-13.

Tabla 4-13: Clasificación del riesgo de degradación (Brilha, 2016).

<b>Total ponderado</b>	<b>Riesgo de degradación (RD)</b>
<200	Bajo
210-300	Moderado
310-400	Alto

Es importante tener en cuenta que cualquier inventario de geositos y sitios de geodiversidad siempre es dinámico y requiere actualizaciones periódicas. A medida que se avanza en el conocimiento científico, un geosito que alguna vez fue valioso puede perder importancia o, por otro lado, un nuevo descubrimiento puede ser categorizado como geosito (Brilha, 2016). Del mismo modo, nuevos sitios de geodiversidad pueden ser descubiertos y agregados al inventario.

Los resultados de la evaluación cuantitativa sólo pueden ser utilizados con fines comparativos en un conjunto de sitios que se encuentren en el área de estudio. Por lo tanto, es esencial realizar un análisis crítico y detallado de los resultados obtenidos para que el inventario sea útil y efectivo. Aunque un número pueda ser el resultado final de una evaluación cuantitativa, no significa que no se requiere una reflexión adicional sobre los resultados obtenidos. En ocasiones, el resultado final puede ubicar a un sitio en la parte inferior de la lista, pero el responsable por el inventario puede intuir que ese mismo sitio es significativo para el área de estudio. Esas contradicciones deben ser explicadas e interpretadas para evitar interpretaciones erróneas.

Finalmente, el responsable por el inventario debe tener la última y definitiva palabra sobre la lista ordenada de sitios para el área en cuestión, para asegurar que los resultados obtenidos sean confiables y precisos.

## 5 RESULTADOS

Este capítulo presenta los resultados obtenidos a partir de las etapas de inventario de geositios y sitios de geodiversidad del proyecto Geoparque Minero Botucatu. Se subdivide en tres subcapítulos y sigue el orden de estas etapas:

5.1 Caracterización de los geositios y sitios de geodiversidad;

5.2 Evaluación cuantitativa;

5.3 Clasificación

### 5.1 Caracterización de los geositios y sitios de geodiversidad

Esta sección presenta la caracterización de los geositios y sitios de geodiversidad inventariados. La lista preliminar de sitios a evaluarse se construyó tras una entrevista con agentes turísticos locales, investigadores de la Facultad de Ciencias que estudian las unidades geológicas de la zona de estudio y mediante una revisión de los materiales que divulgan los atractivos turísticos de la región. La lista inicial de sitios de geositios y geodiversidad estaba compuesta por 23 localidades, que se redujeron a 20 después de las excursiones a campo realizadas.

Entre las razones de la reducción de esta lista está la destrucción de sitios para la construcción de rutas, explotación minera (materiales industriales), localidades con elementos de geodiversidad poco preservados o que estaban mejor representados en otro sitio del inventario y dificultades de acceso. Con el objetivo de ordenar y facilitar la identificación de los sitios en relación a los episodios o momentos clave en la historia geológica o geomorfológica de la región, se han definido categorías temáticas (Tabla 5-1). La definición de las categorías temáticas fue basada en las unidades tectono-estratigráficas de Uruguay publicadas en la Carta Geológica de Uruguay (Preciozzi *et al.* 1985) y los criterios planteados personalmente por el Lic. Mauricio Faraone, en distintas oportunidades con motivo de su tesis de maestría Faraone (2022). Para esto, se tomó como base la metodología empleada por García *et al.* (2018) para el inventario del Estado de San Pablo (Brasil), donde se definieron 11 categorías temáticas que reflejan los principales eventos/momentos geológicos de la región. Como Uruguay y Brasil comparten sus evoluciones geológicas, se decidió basarse en esa metodología, que utiliza como referencia a Brilha (2016).

### 5.1.1 Categorías temáticas

Como se mencionó anteriormente, se han adoptado 6 categorías temáticas (Faraone *com pers*) para el área de estudio (Tabla 5-1). Aunque no se designaron coordinadores para cada categoría, como se propone en la metodología de Brilha (2016), se optó por realizar esta clasificación temática como un ejercicio y una contribución para futuras investigaciones sobre el tema en Uruguay.

Las categorías mencionadas reflejan la diversidad geológica y los momentos clave de la evolución geológica del área de estudio. Cada categoría temática agrupa diferentes sitios que comparten características geológicas y geodiversidad específicas.

La categoría de **Mineralizaciones Metálicas Precámbricas** (MMP) se centra en los lugares que muestran exposiciones de rocas y procesos asociados con las mineralizaciones metálicas, incluyendo tanto las rocas mineralizadas como las rocas que han experimentado alteración hidrotermal. Para la categoría de **Cuencas Gondwánicas**, se consideran los registros relacionados con la evolución de la Cuenca Norte, lo que abarca diversas formaciones geológicas y procesos de sedimentación ocurridos durante el tiempo en que esta cuenca se desarrolló. La categoría de **Magmatismo Mesozoico** agrupa los sitios que contienen registros del magmatismo relacionados con la apertura del océano Atlántico, lo que incluye diferentes tipos de rocas ígneas y asociadas.

Los registros continentales cuaternarios se enmarcan dentro de la categoría temática **Megafauna Pleistocena**, que incluye aquellos sitios que tienen un valor relevante para la comunidad científica debido a la presencia de restos de megafauna y otras evidencias de la época Pleistocena. La categoría de **Unidades Geomorfológicas y Formas de Relieve** destaca aquellos sitios que exhiben geoformas y características del relieve que se formaron en etapas posteriores de su deposición o formación geológica.

Finalmente, la categoría **Sistema Acuífero Guaraní** engloba lugares de importancia en este sistema acuífero, incluyendo áreas de recarga, zonas de confinamiento y ventanas donde aflora el agua de este acuífero, el cual es de gran importancia para el abastecimiento de agua potable en la región.

Tabla 5-1: Categorías temáticas del Norte de Uruguay según los principales eventos de la evolución geológica (Farone *com pers*).

CATEGORÍA TEMÁTICA	SIGLA
Mineralizaciones Metálicas Precámbricas	MMP
Cuencas Gondwánicas	CG
Magmatismo Mesozoico	MM
Megafauna Pleistocena	MP
Unidades Geomorfológicas y Formas de Relieve	UGyFR
Sistema Acuífero Guaraní	SAG

La Figura 5-1 muestra las ubicaciones de los geositios y sitios de geodiversidad dentro del territorio definido para el proyecto GMB sobre el mapa geológico. Los iconos están enumerados y también se proporciona una lista con los nombres de cada uno de ellos.

La Tabla 5-2 resume la información sobre geositios y sitios de geodiversidad. La lista se presenta en orden ascendente. La tabla se ha estructurado a partir de la ficha de caracterización propuesta en el capítulo 4 (Figura 4-1).

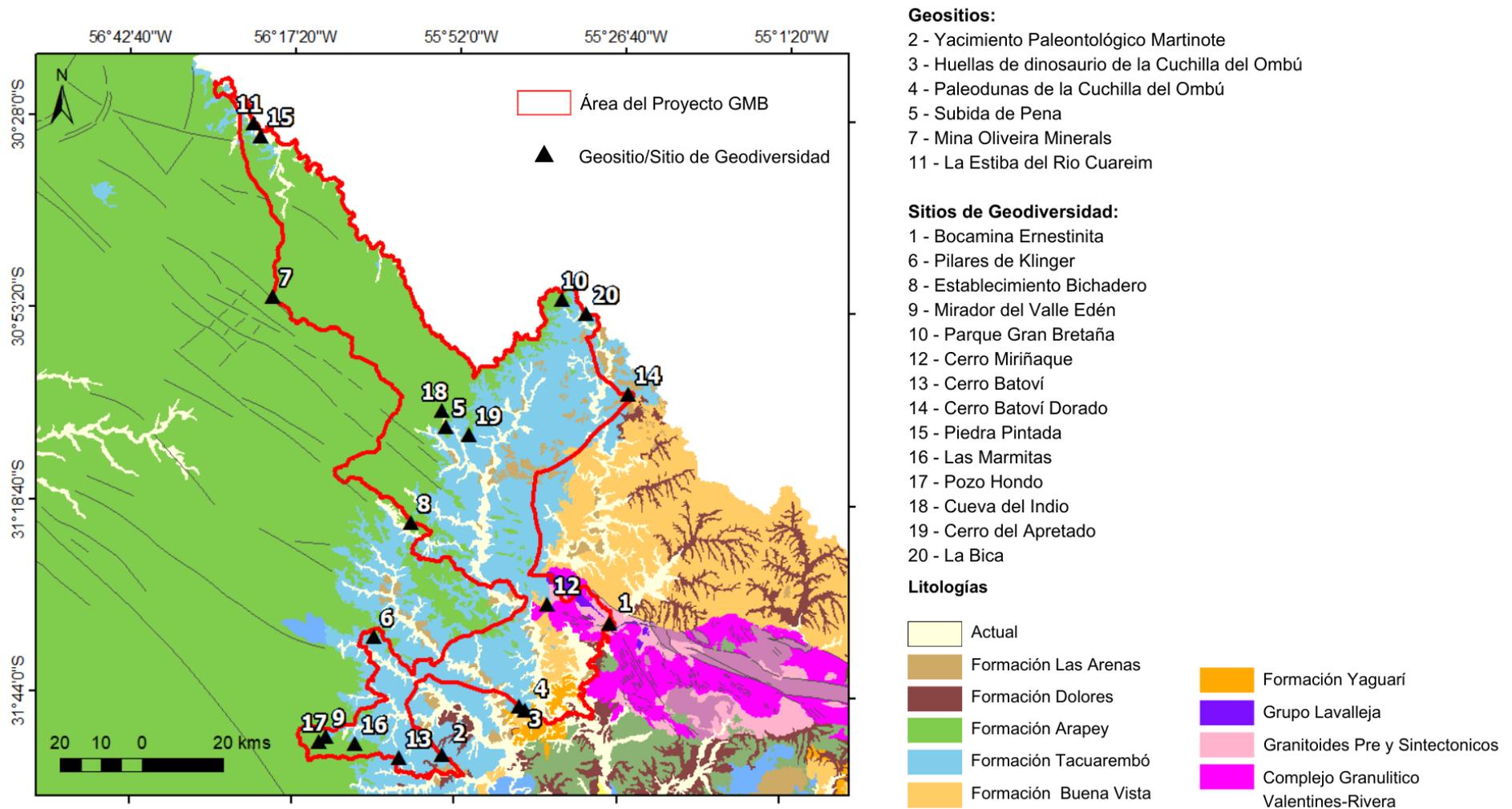


Figura 5-1: Mapa geológico del área de estudio, del contorno del proyecto GMB, del área protegida Valle del Lunarejo, y de ubicación de los geositos y sitios de geodiversidad.

Tabla 5-2: Resumen de las características de cada sitio de interés geológico evaluado.

Categoría temática	Id	Nombre del sitio	Coordenadas		Atributo principal	Valor	Tipo de sitio	Propietario	Protección legal	Accesibilidad	Estado de conservación
			Latitud	Longitud							
MMP	1	Bocamina Ernestinita	31°34'36.86"S	55°28'8.37"O	Historia de la minería	Turístico / Educativo	Punto	Privado	No	Fácil	Buen estado
CG	2	Yacimiento Paleontológico Martinote	31°52'8.03"S	55°53'50.84"O	Paleontológico	Científico	Área	Público	No	Fácil	Buen estado
CG	3	Huellas de dinosaurio de Cuchilla del Ombú	31°45'37.35"S	55°41'59.77"O	Paleontológico	Científico	Punto	Público	Si	Fácil	Medianamente alterado
CG	4	Paleodunas de Cuchilla del Ombú	31°46'9.02"S	55°41'3.03"O	Sedimentario	Educativo / Científico	Sección	Público	Si	Fácil	Buen estado
UGyFR	5	Subida de Pena	31° 8'55.02"S	55°53'49.97"O	Sedimentario	Turístico / Educativo	Sección	Público	Si	Fácil	Buen estado
CG	6	Pilares de Klinger	31°36'42.26"S	56° 4'40.52"O	Geomorfológico	Turístico	Área	Privado	No	Mediana	Buen estado
MM	7	Mina Oliveira Minerals	30°51'49.58"S	56°20'44.51"O	Mineralógico	Científico	Área	Privado	No	Fácil	Buen estado
MM	8	Establecimiento Bichadero	31°21'34.99"S	55°59'5.57"O	Geomorfológico	Turístico / Educativo	Área	Privado	No	Mediana	Buen estado

MM	9	Mirador del Valle Edén	31°49'56.50"S	56°12'1.50"O	Ígneo	Turístico	Mirador	Público	No	Fácil	Buen estado
MM	10	Parque Gran Bretaña	30°51'54.06"S	55°36'5.11"O	Ígneo	Turístico	Área	Privado	Si	Fácil	Buen estado
MP	11	La Estiba del Río Cuareim	30°29'2.02"S	56°23'45.01"O	Paleontológico	Científico	Área	Público	No	Fácil	Buen estado
UGyFR	12	Cerro Miriñaque	31°32'11.75"S	55°37'54.75"O	Geomorfológico	Turístico	Área	Privado	Si	Fácil	Buen estado
UGyFR	13	Cerro Batoví	31°52'33.11"S	56° 0'41.77"O	Geomorfológico	Turístico / Educativo	Área	Privado	No	Fácil	Buen estado
UGyFR	14	Cerro Batoví Dorado	31° 4'19.47"S	55°25'42.56"O	Geomorfológico	Turístico / Educativo	Área	Privado	No	Fácil	Buen estado
UGyFR	15	Piedra Pintada	30°30'42.51"S	56°22'43.79"O	Sedimentario	Turístico / Educativo	Punto	Privado	No	Fácil	Medianamente alterado
UGyFR	16	Las Marmitas	31°50'50.15"S	56° 7'33.98"O	Geomorfológico	Turístico / Educativo	Área	Privado	No	Fácil	Buen estado
UGyFR	17	Pozo Hondo	31°50'36.17"S	56°13'5.92"O	Geomorfológico	Turístico	Área	Privado	No	Mediana	Buen estado
UGyFR	18	Cueva del Indio	31° 6'48.02"S	55°54'23.00"O	Geomorfológico	Turístico	Área	Privado	Si	Mediana	Buen estado
UGyFR	19	Cerro del Apretado	31° 9'54.43"S	55°50'15.69"O	Geomorfológico	Educativo	Área	Privado	No	Fácil	Buen estado
SAG	20	La Bica	30°53'45.83"S	55°32'21.91"O	Hidrogeológico	Turístico / Educativo	Punto	Privado	Si	Fácil	Buen estado

## 5.2 Descripción de los geositos y sitios de geodiversidad

A partir del inventario, se identificaron 6 geositos, de los cuales 3 presentan además un potencial uso educativo y uso turístico. Las otras 14 localidades inventariadas son sitios de geodiversidad con distintos potenciales de usos educativo y turístico. Se presenta a continuación una descripción de cada sitio de interés geológico inventariado en el presente estudio ordenados por categoría temática. La descripción está basada en una revisión bibliográfica específica de los geositos y sitios de geodiversidad, con datos levantados durante las salidas de campo y análisis petrográficos de muestras de rocas colectadas con ese propósito. Los materiales de apoyo considerados relevantes para futuras investigaciones o estrategias de geoconservación para el proyecto Geoparque Minero Botucatu se encuentran en el Anexo C.

### 5.2.1 Mineralizaciones Metálicas Precámbricas

#### N°1: Sitio de Geodiversidad Bocamina Ernestinita

Este sitio se refiere a un antiguo túnel de explotación de oro que se encuentra por debajo del poblado de Minas de Corrales, con acceso por una Senda de Paso junto al Arroyo Minas de Corrales. Se localiza a unos 100 m del llamado "Polvorín", que son los restos de una construcción que era utilizada como depósito de explosivos (Figura 5-2). Su atributo principal está relacionado con la historia de la minería y como secundario su atributo litológico y metalogénico. Al estar ubicado en el pueblo de Minas de Corrales, está cerca de otros puntos de interés histórico y cultural relacionados con la minería en esa región.



Figura 5-2: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Bocamina Ernestinita

Se trata de un túnel de unos 300 m de largo, con aproximadamente 3 m de ancho y 2 m de altura, donde es posible adentrarse sin dificultades en los primeros 100 m. En los primeros 50 m posee baldosones de cemento que facilitan el acceso. Se encuentra bien preservado y relativamente limpio y existe un cartel informativo en su entrada que comenta brevemente sobre una red de antiguos túneles mineros por debajo de la ciudad de Minas de Corrales que fueron explotados a finales del siglo XIX por la compañía inglesa *The Gold Fields of Uruguay Ltd.*, el mismo está disponible en tres idiomas: español, portugués e inglés y posee un código QR que actualmente no funciona (Figura 5-3).



Figura 5-3: (a) Vista panorámica del relieve en el área de la bocamina (la entrada está destacada por la flecha roja); (b) cartel informativo en la entrada de la bocamina; (c) detalles de los primeros 50 m del túnel y (d) de la porción más interna de la bocamina.

La roca en la que se excavó el túnel es un granito leucocrático homogéneo, de textura granular mediana a gruesa, coloración rosada, compuesto de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita. Este se encuentra fracturado en varias direcciones. Existen porciones del afloramiento, especialmente a unos 150 m de la entrada de la mina, que la alteración de la plagioclasa en sericita verde le otorga esas tonalidades sobre el fondo

rosado (Figura 5-4b). El granito está cortado por filones de cuarzo de hasta 2 cm de ancho (Figura 5-4c).

Se realizaron láminas delgadas de muestras recolectadas próximas a la entrada de la mina. Se trata de una roca de coloración verde claro por la alteración, de textura granular fina compuesta por cristales de cuarzo (22%), plagioclasa (51%), clorita (12%) y anfíbol (10%) como minerales principales, pirita y otros minerales negros (4%) como secundarios y apatita de accesorio (1%). Los cristales de plagioclasa presentan en su mayoría evidencias de sericitización (Figura 5-5).

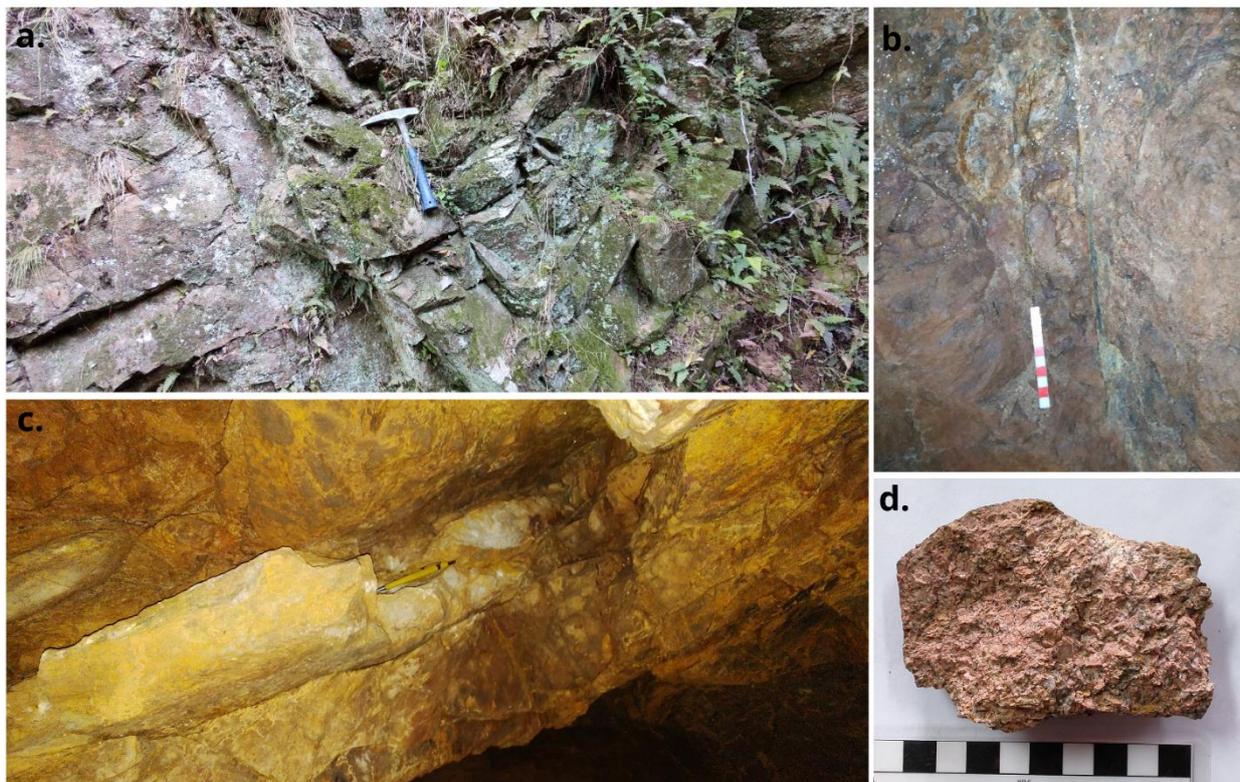


Figura 5-4: (a) Vista panorámica de la roca caja de la mineralización; (b) Vista en detalle del aspecto verdoso del granito - alteración hidrotermal; (c) Vista del filón de cuarzo de aproximadamente 20 cm de ancho por 2 m de largo y (d) detalle del granito leucocrático.

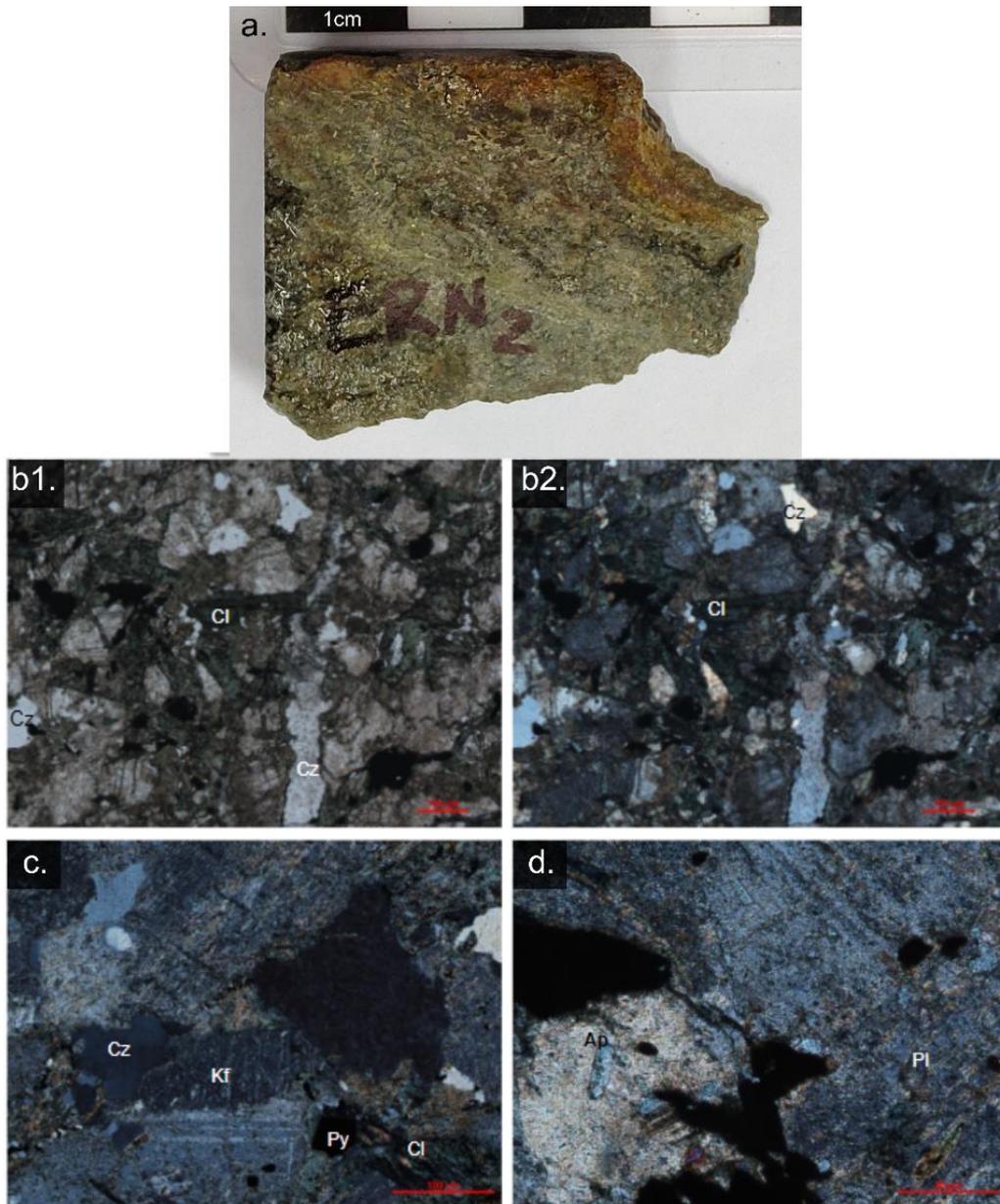


Figura 5-5: (a) Vista en detalle de muestra de mano de la Bocamina Ernestinita; (b1) Fotomicrografía de la roca en NP y (b1) NX, (c) detalle de la plagioclasa alterada a sericita y (d) apatitas. Roca caja con alteración hidrotermal.

## 5.2.2 Cuencas Gondwánicas

Esta categoría temática reúne 3 geositos y 1 sitios de geodiversidad. La mayoría de los lugares inventariados se concentran en el Sur del territorio propuesto al proyecto Geoparque Minero Botucatú (Figura 5-1).

## N°2: Geosito Yacimiento Paleontológico Martinote

Este geosito se ubica a 26 km de la ciudad de Tacuarembó, y comprende una sección que se extiende por unos 4 km sobre la Ruta N°59 (607154 E, 6470874 S - 601093 E, 6477139 S) correspondiendo esos afloramientos rocosos a la Formación Tacuarembó (sensu Bossi, 1966). Se trata de areniscas predominantemente finas, cuarzosas, moderadamente a bien seleccionadas, en desmontes de la ruta que tienen de 30 a 120 m de longitud con buenas exposiciones y extensión superficial.

En este sitio se han descrito varios ejemplares de la fauna del Miembro Batoví (sensu Perea *et al.*, 2009). Se han encontrado en los bancos osarios restos de peces, dientes de tiburón, restos de moluscos y dientes de terópodos, lo que lo convierte en un sitio importante para los estudios paleontológicos, donde se llevan a cabo actividades de investigación sobre el Jurásico Tardío-Cretácico Temprano (Mones & Figueira, 1981; Ferrando *et al.*, 1987; Perea *et al.*, 2001; entre otros).



Figura 5-6: Mapa de ubicación de las localidades en las cuales fueron levantados los perfiles (flechas rojas).  
Pin amarillo indica la coordenada UTM de referencia.

Una característica de este sitio es la gran cantidad de litofacies, siendo dominante las facies arenosas, con intercalaciones de sedimentos finos. La alternancia de litofacies que fueron depositadas por la acción fluvial de energía variable, evidencia el pasaje de condiciones diferentes dentro de un mismo ámbito sedimentario. Entre las estructuras se destacan la estratificación masiva, cruzadas tangencial, laminación de *ripples* y horizontal. Fueron levantados varios perfiles estratigráficos que son presentados por, Mesa (2016) y

do Amarante *et al.* (2019) mostrando los procesos e interpretando el ambiente deposicional para esas secciones.

En la sección de referencia se observan areniscas masivas que indican que hubo una acción de flujos subacuáticos densos y muy concentrados en sedimentos que se depositaron durante la desaceleración de flujos (Allen & Leeder, 1980 en do Amarante *et al.*, 2019). A su vez, la intercalación de litofacies algo más finas muestran las variaciones entre transporte tractivo y suspensivo, y facies de origen eólico.

Asimismo, se encuentran intraclastos pelíticos dispersos y bancos osarios o *bonebeds* (Figura 5-7d), que fueron descritos por primera vez en 1999 (Perea, 2007). Los fósiles predominantes son escamas ganoides y secundariamente dientes aislados de tamaño milimétrico a centimétrico de peces (tiburones, holósteos, peces pulmonados) y tetrápodos (crocodyliformes y dinosaurios terópodos) (Perea, 2007). Esos restos se concentran en niveles de espesor máximo de 5 cm sin orientación preferencial y con evidencias de transporte, indicado por la fragmentación y por la ausencia de restos articulados - un 25% aproximadamente estaban fragmentados antes de la deposición según Perea (2007). Según este mismo autor, esa circunstancia estaría indicando una alta energía del sistema fluvial.

También ha sido descriptas en las mismas sucesiones fluvio-eólicas fragmentos de peces y restos de valvas desarticulados de *T. caorsi.*, apoyando la idea de un flujo turbulento. La presencia de peces pulmonados podría indicar un sistema fluvial perenne con grandes variaciones de energía y de caudal, pero que raramente se encontraría totalmente sin agua, posibilitando sustentar la vida acuática (Mesa, 2016).

Areniscas finas de unos 3 m de espesor, con estratificación cruzada y gradación inversa intralámina están presentes en este geosito, lo que permite inferir procesos cambiantes con momentos secos suficientes para permitir la acción exclusiva del viento. También se observan depósitos dunares eólicas, relacionados con paquetes horizontales correspondientes a sábanas de arena en interdunas. La recurrencia de momentos más húmedas, está dado por la presencia de estructuras de adhesión en las areniscas con estratificación horizontal, (Anexo C -I: Perfil Ruta 59 II - Mesa, 2016).

Esa asociación de facies permitió la interpretación de un sistema fluvial efímero que se desarrolló en ambiente desértico, bajo condiciones climáticas semiáridas a áridas, con arena seca disponible para generar dunas aisladas, separadas por zonas de interdunas, y

sábanas de arena eólicas, pero con una buena disponibilidad de agua (Mesa, 2016) (Figura 5-8).

En cuanto a las paleocorrientes, los vientos parecen haber tenido una dirección predominantemente hacia el N-NE, mientras que las corrientes fluviales muestran tendencia hacia el SSE y SSW. La mayoría de los estratos son horizontales y subhorizontales y ocupan la cota topográfica de 140-170 m (do Amarante *et al.*, 2019 y Mesa, 2016).

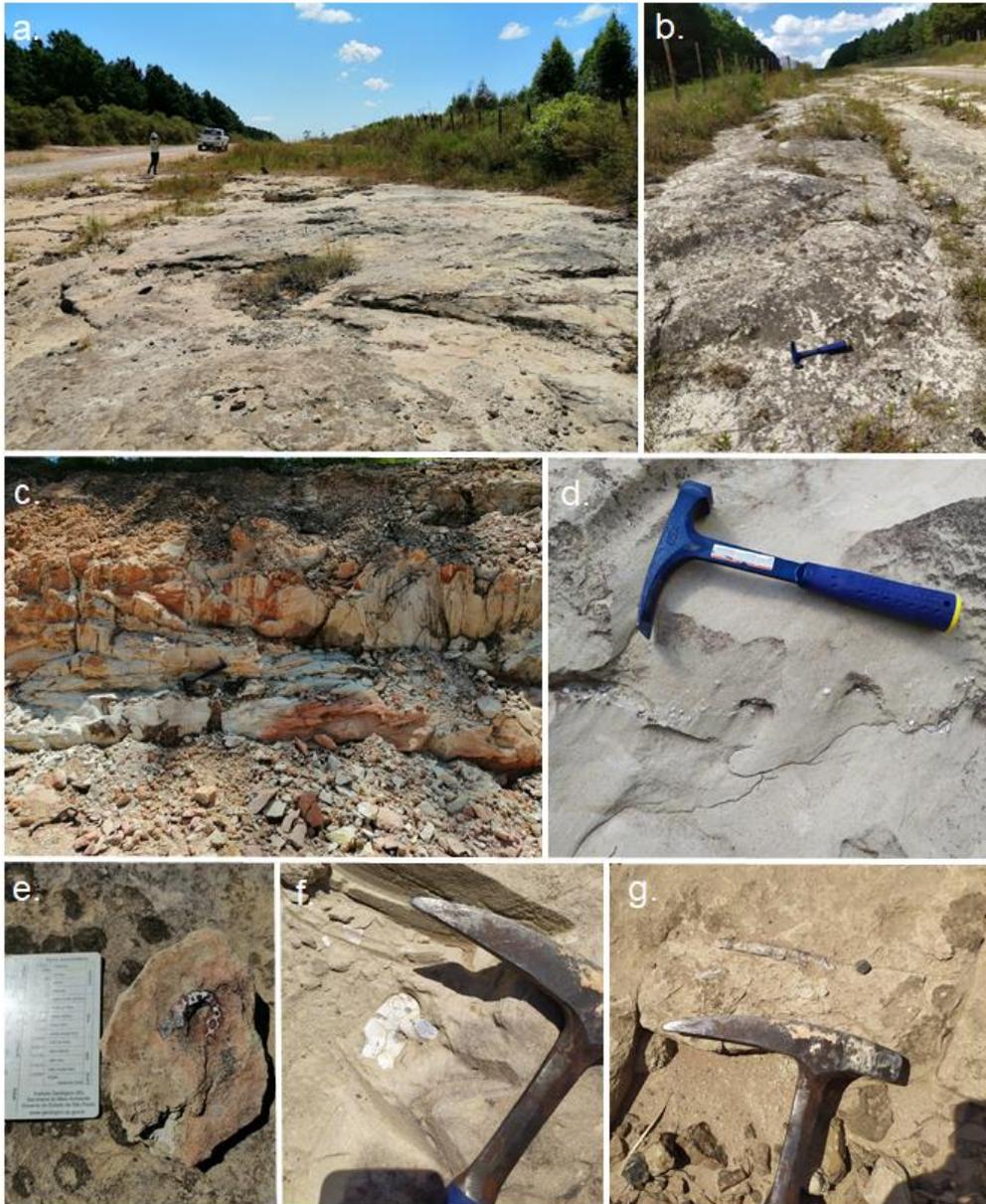


Figura 5-7: (a) y (b) Vistas en detalle de areniscas de la Formación Tacuarembó en afloramientos de la ruta 59; (c) Facies areniscas macizas; (d) *Bonebed* de aproximadamente 3 cm de espesor; (e), (f) y (g) areniscas con fósiles.

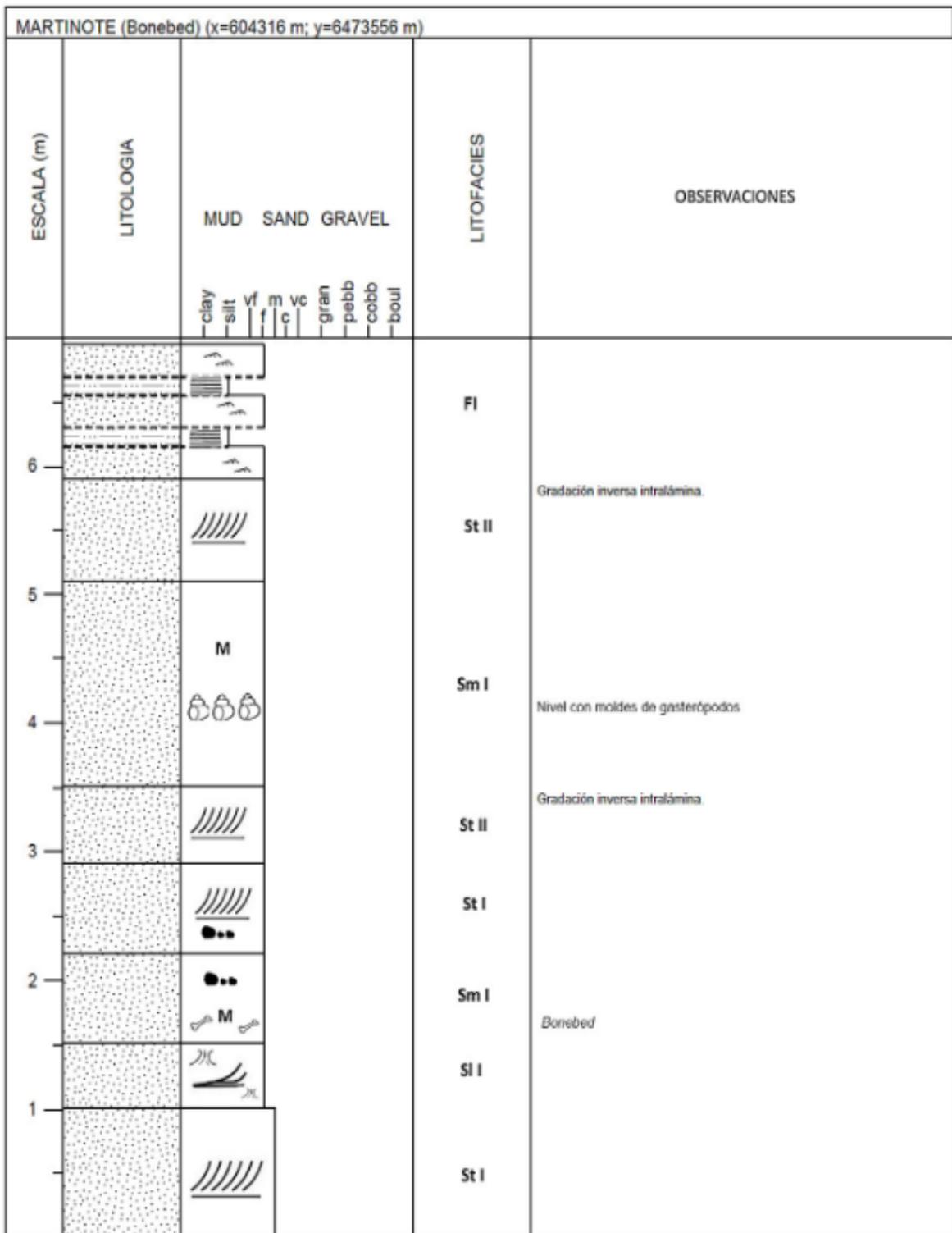


Figura 5-8: Perfil sedimentológico a escala 1:100 del Yacimiento Paleontológico Martinote (Mesa, 2016).

### N°3: Geosito Yacimiento Paleontológico Huellas de Dinosaurios de Cuchilla del Ombú

Este geosito está ubicado al Sur de la Ruta 26 a la altura del kilómetro 262,5, muy próximo a la localidad Cuchilla del Ombú (623121 E, 6485389 S) (Figura 5-9).

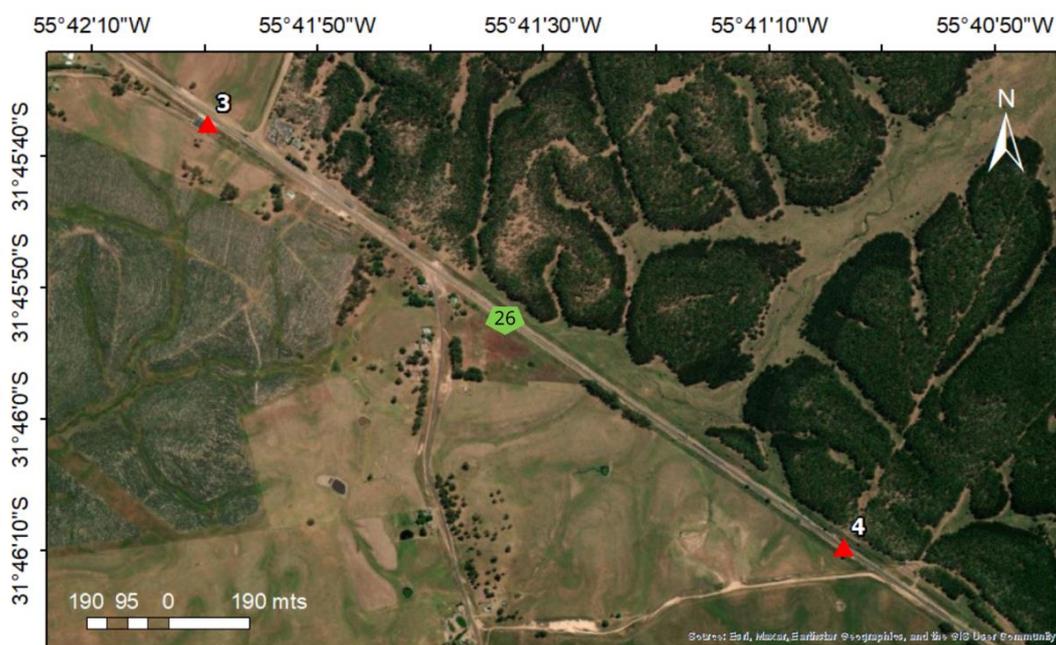


Figura 5-9: Mapa de ubicación de lo geosito Yacimiento Paleontológico Huellas de Dinosaurios de Cuchilla del Ombú (N°3). El sitio de geodiversidad Paleodunas de Cuchilla del Ombú también aparece en la imagen (N°4).

Se trata de un afloramiento que tiene aproximadamente 100 m de largo, y que puede ser dividido en dos localidades debido a la ocurrencia separada de sus contenidos icnofósiles. La Localidad I (km 262,5), más al SE, cubre aproximadamente 800 m<sup>2</sup> de superficie, y la Localidad II (km 262,4), porción más al NW, cubre un área aproximada de 70 m<sup>2</sup> (Figura 5-10). Está compuesto por una sucesión de areniscas correspondientes al Miembro Batoví de la Fm. Tacuarembó. Específicamente son areniscas de color amarillento-blancuecino a rosada muy finas a finas y bien seleccionadas, compuestas predominantemente por cuarzo y feldespatos en menor proporción, con estratificación plano-paralela horizontal que presentan estratos de aproximadamente 10 cm de espesor e inclinación subhorizontal (3° hacia SE). Estos depósitos fueron interpretados como originados por sedimentación eólica húmeda (Perea *et al.*, 2009; Mesa, 2012).

Sobre estas areniscas se encuentran el primer registro de pisadas fósiles (icnofósiles) tanto de vertebrados como de dinosaurios para el Uruguay, motivo por el cual fue declarado Monumento Histórico Nacional.

“DECLÁRASE Monumento Histórico Nacional el área definida por un polígono de 2 km de longitud por 70 m de ancho, ubicado en la ruta 26 entre los kms. 261 y 263, localidad de Cuchilla del Ombú, departamento de Tacuarembó, involucrando los terrenos públicos a ambos lados de dicha ruta, con el fin de preservar el sitio paleontológico constituido por huellas de dinosaurio y su contexto.” Resolución N°810/013 (Ministerio de Educación y Cultura

La “Localidad I” está compuesta por dos pistas (conjunto de huellas consecutivas dejadas por el mismo animal) interpretadas como pertenecientes a saurópodos (Pistas A y B) y una huella aislada de ornitópodo (Huella C), los hallazgos fueron informados por Mesa (2012), Mesa y Perea (2010) y Mesa *et al.* (2011), y descritos preliminarmente (sin detalles) en Dentzien-Dias *et al.* (2012).

En la “Localidad II” se encuentra una pista (Pista E1-E1) y una huella (Huella D) que son interpretadas como pertenecientes a terópodos (Mesa & Perea, 2015) (Figura 5-11).

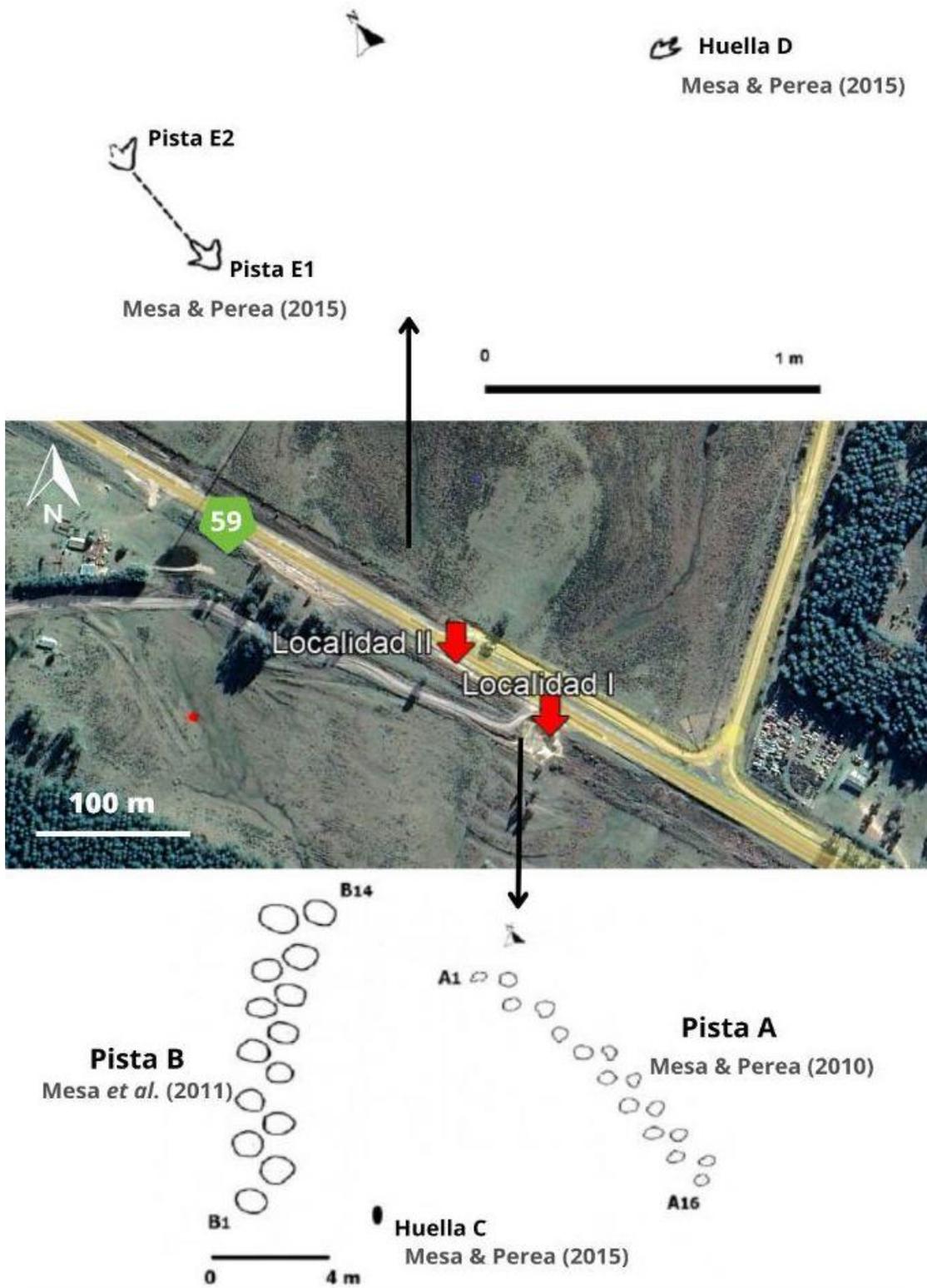


Figura 5-10: Esquema que indica las dos localidades en que se descubrieron las pistas y huellas aisladas de dinosaurios presentes en el geosito (Modificado de Mesa & Perea, 2015).



Figura 5-11: (a) Vista de pista E1-E2 observadas en planta, con un estado de preservación muy pobre afectadas por la meteorización y el pasaje de máquinas y autos- terópodo; (b) Vista en detalle de la Huella D - terópodo; (c) parte de las pistas de la “Localidad I” observadas en planta, su estado de preservación es variable debido a que se hallan en más de un nivel; (d) reconstrucción de fotografías de la Pista A con (e) detalle de la huella A13 - saurópodo; y (f) huella tridáctila aislada interpretada como de una icnita ornitópada (Fotografías obtenidas de Mesa (2012) Mesa & Soto (2015)).

Con financiación del Ministerio de Educación y Cultura, y ejecutado por el gobierno local, se ha construido recientemente una estructura de metal para cubrir las pistas A y B, las

cuales actualmente se encuentran moderadamente alteradas, lo que dificulta su reconocimiento visual. Además, de la estructura de protección existe un cartel informativo que indica el tipo de dinosaurio (saurópodos) que dejó estas pistas. El afloramiento expone un perfil de aproximadamente 40 cm de espesor areniscas finas de color beige con niveles rosados, compuestas por granos subredondeados de cuarzo y, secundariamente, feldespato (ver 5-12-d y perfil en 5-13).



Figura 5-12:(a) Vista panorámica de la estructura de metal construida para proteger las huellas; (b) detalle de la posición de las pistas A y B, las cuales están rodeadas por una cerca de alambre; (c) detalle del cartel informativo y (d) perfil de 40 cm de arenisca.

Este geositio representa el único registro de huellas fósiles de tetrápodos y dinosaurios (saurópodos) en Uruguay. Existe otro registro de una edad similar que muestra una variedad similar de huellas en la Formación Guará de Brasil. Allí, también se han descrito huellas de saurópodos, ornitópodos y terópodos (Dentzien-Dias *et al.*, 2007, 2008). La Formación Guará ha sido correlacionada litoestratigráficamente con el Miembro Batoví de

la Formación Tacuarembó (Scherer y Lavina, 2006; Perea *et al.*, 2009). A diferencia de la Formación Guará, el registro fósil del Miembro Batoví tenía un abundante registro de fósiles corporales. Estos descubrimientos en la Formación Tacuarembó proporcionan un rico registro de huellas fósiles en el Miembro Batoví, lo que brinda una oportunidad para comprender las características paleoecológicas de esa región durante la era Mesozoica, en la transición del Jurásico Tardío al Cretácico Temprano (Mesa y Perea, 2015), siendo hallazgos importantes para los investigadores que estudian las faunas de vertebrados del Gondwana Sudoccidental.

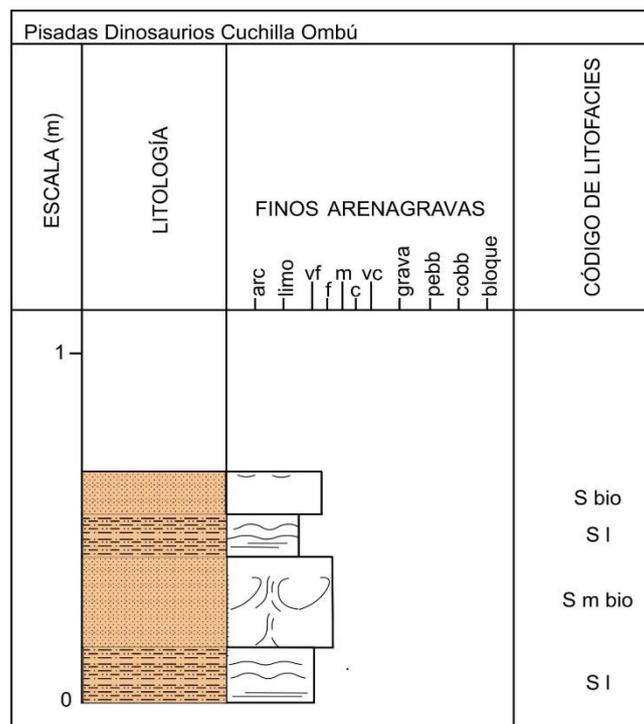


Figura 5-13: Perfil estratigráfico en un pequeño corte del geositio mostrando la sucesión de facies de areniscas muy finas laminadas, intercaladas con areniscas finas bioturbadas.

#### N°4: Geositio Paleodunas de Cuchilla del Ombú

A 1200 m de distancia de las huellas de dinosaurios, también sobre la Ruta 26, en el km 263, es posible observar una sección de corte de ruta de aproximadamente 90 m de largo que comprende al dicho contexto geológico protegido por la Resolución N°810/013. En esta localidad afloran facies eólicas del Miembro Batoví, que comprende areniscas blanca-beiges finas a medias, subredondeadas de composición cuarzo-feldespática con algo de líticos. La primera facies comprende un paquete de 1,8 m de areniscas con laminación por flujo, con estratificación entrecruzada y con gradación inversa intralámina, que son interpretadas como representativas de depósitos de dunas eólicas, con dirección de viento N85° (Oeste hacia Este). Por encima de ésta, se depositan facies métricas de

areniscas finas a medias con estratificación entrecruzada y gradación inversa intralaminar, donde se observan laminación de lúticos y tinción de hierro en láminas que concentran arenas más gruesas. Hacia el tope se ven marcas de adhesión representativas de la interacción con el nivel freático y laminación horizontal deformada, probablemente por acción de una carga (posiblemente un dinosaurio según Mesa, 2016) y afectada por fluidización. La transición entre las facies está marcada por una superficie horizontal clara. Se sugiere que la segunda facies pudo haber sido afectada por un aumento en el contenido de agua debido a un ascenso del nivel freático (Figura 5-14 y Figura 5-15).

El perfil geológico parece reflejar parte de un ciclo *upward-wetting* (Scherer & Lavina, 2005 en Mesa, 2016) aunque no se encuentra representado en su totalidad en este sitio, que comprendería a las primeras dos sucesiones de facies de dunas eólicas y sábanas de arena. Por otro lado, en posiciones estratigráficas semejantes, en las cercanías de Martinote (Ruta 59), se describen las facies fluviales que completan el ciclo ( 5-16).

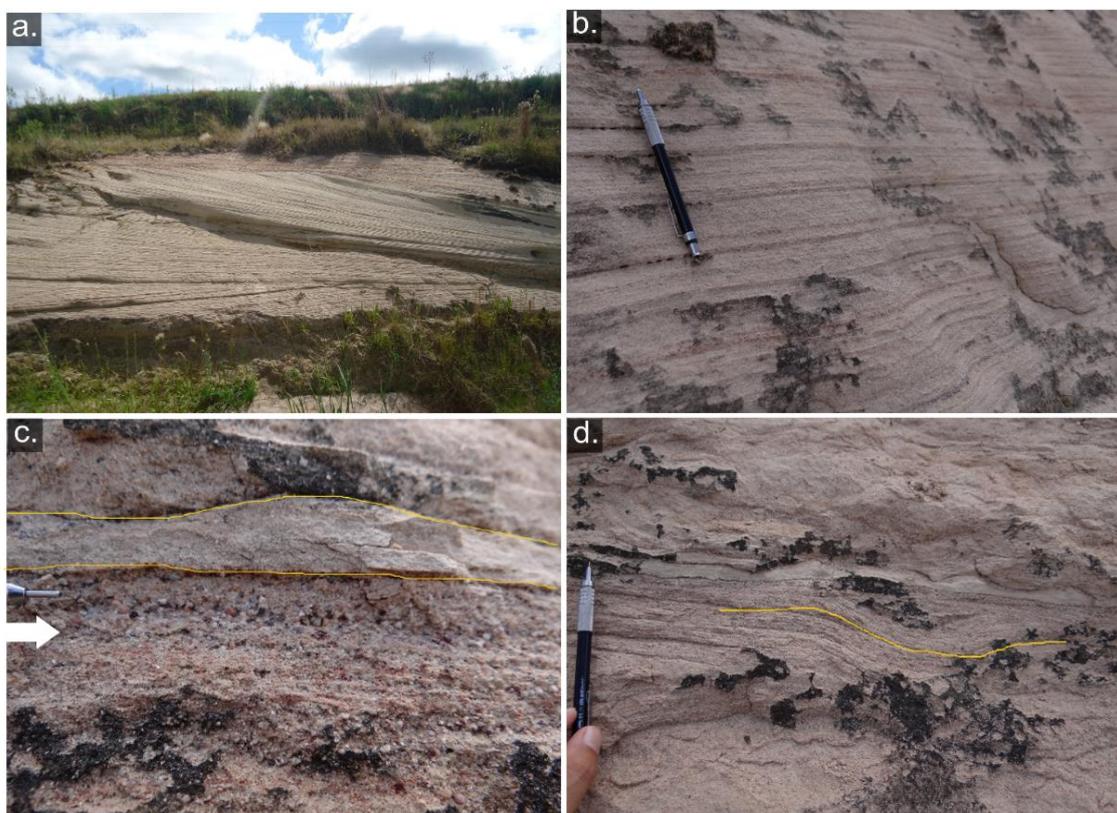


Figura 5-14: (a) vista panorámica del afloramiento de areniscas en la Ruta 26 con estratificación entrecruzada alto ángulo, (b) vista en detalle de laminación horizontal (c) detalle de la gradación inversa intralámina y ripples (d) litofacies de areniscas finas con laminación horizontal deformada, posiblemente por acción de carga (Fotografías: César Goso).

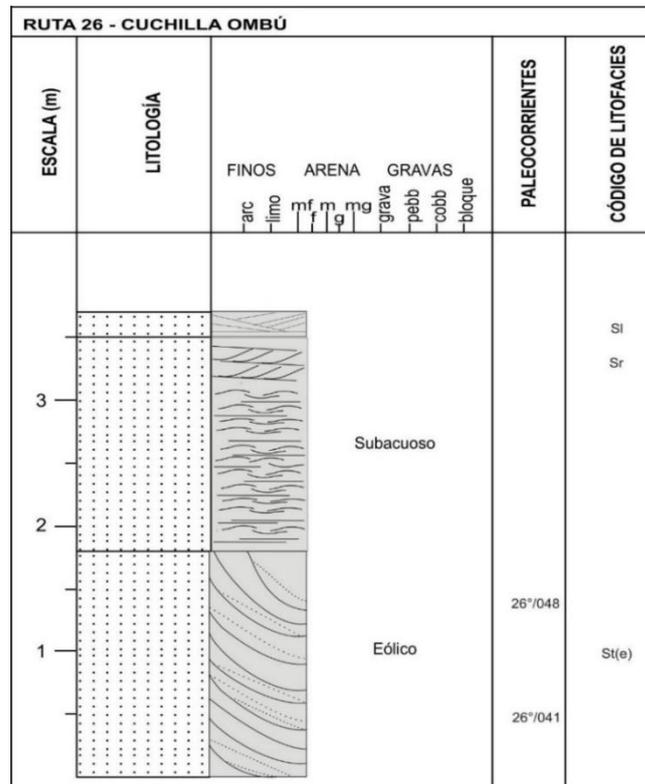


Figura 5-15: Perfil estratigráfico del geositio Paleodunas de Cuchilla del Ombú (Gentileza: Adriano Domingo dos Reis).

Mesa (2016) realizó una reconstrucción ambiental sobre el Miembro Batoví y posicionó esquemáticamente las localidades Martinote y Cuchilla del Ombú. A partir de esta interpretación es posible visualizar el ambiente de interduna de Cuchilla del Ombú y el ambiente fluvial efímero de Martinote, que estaría en una porción más distal del sistema fluvial del tipo *braided* (5-16).

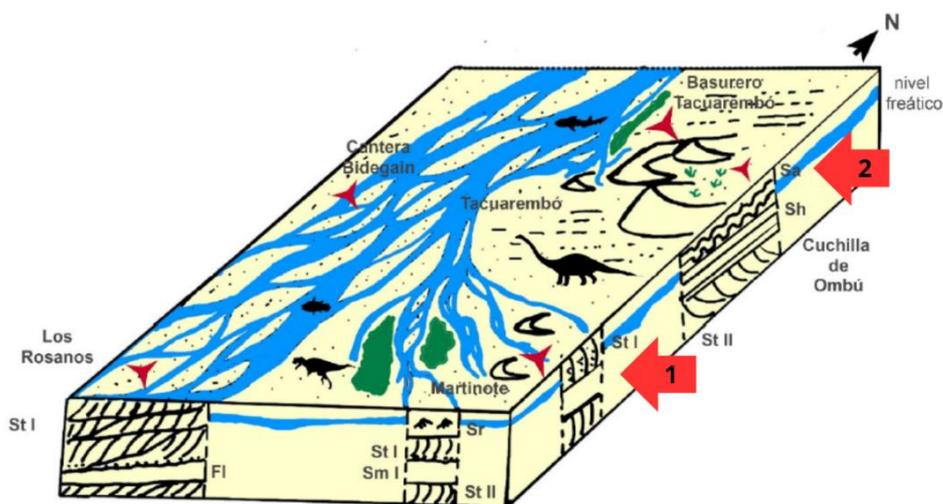


Figura 5-16: Reconstrucción paleoambiental esquemática para la Formación Tacuarembó (geositios indicados con flechas rojas: (1) Yacimiento Paleontológico Martinote y (2) Yacimiento Paleontológico Pisadas de Dinosaurios Cuchilla del Ombú (modificado de Mesa, 2016).

## N°6: Sitio de Geodiversidad Pilares de Klinger

Este sitio se encuentra a 17 km al Oeste de la ciudad de Tacuarembó, en el Campo Militar N°2 "Zapará". La zona de los pilares dista aproximadamente 2 km de la base del Campo Militar. El acceso es restringido y se puede visitar en automóvil hasta cierto punto, luego la visita se realiza por un sendero a pie de aproximadamente 1 km.

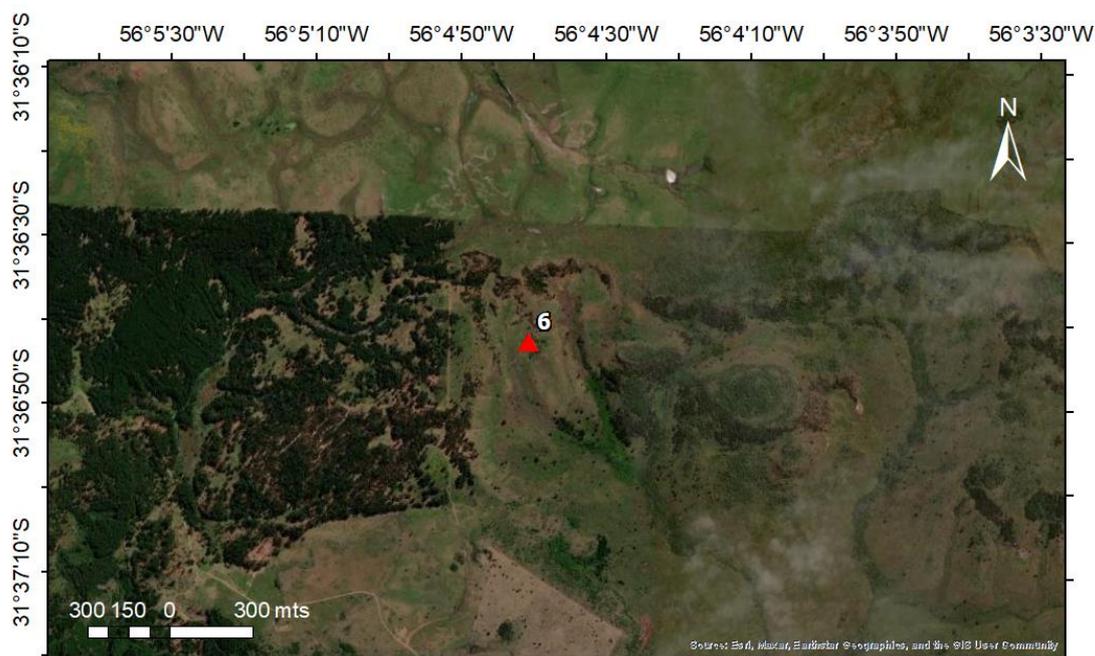


Figura 5-17: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Pilares de Klinger.

Se trata de un área algo mayor a 1 há, en la cual afloran decenas de pilares de altura métrica, de 5 a 13 m, los que muestran areniscas rojizas, cuarzo-feldespáticas, finas a medianas con estratificación entrecruzadas, cruzadas tabular planar y cruzadas tangenciales, pertenecientes al Miembro Rivera de la Fm. Tacuarembó. Allí, se observan estructuras de flujo y caída de granos, y marcas de adhesión, lo que evidencia una sucesión de depósitos eólicos (dunas) con interacciones temporarias con el nivel freático (sábanas de arena con deformación por freáticas de interdunas) (Figura 5-19).

La forestación de pinos en esta localidad crece de manera natural, y en cierta medida representan una amenaza a los pilares, una vez que el crecimiento de las raíces entre las fracturas de los mismos hace que se fragmenten (intemperismo mecánico inducido por un vegetal). La gestión del Campo Militar viene trabajando en el control de los árboles para evitar que los elementos de la geodiversidad sean destruidos (Figura 5-18c).

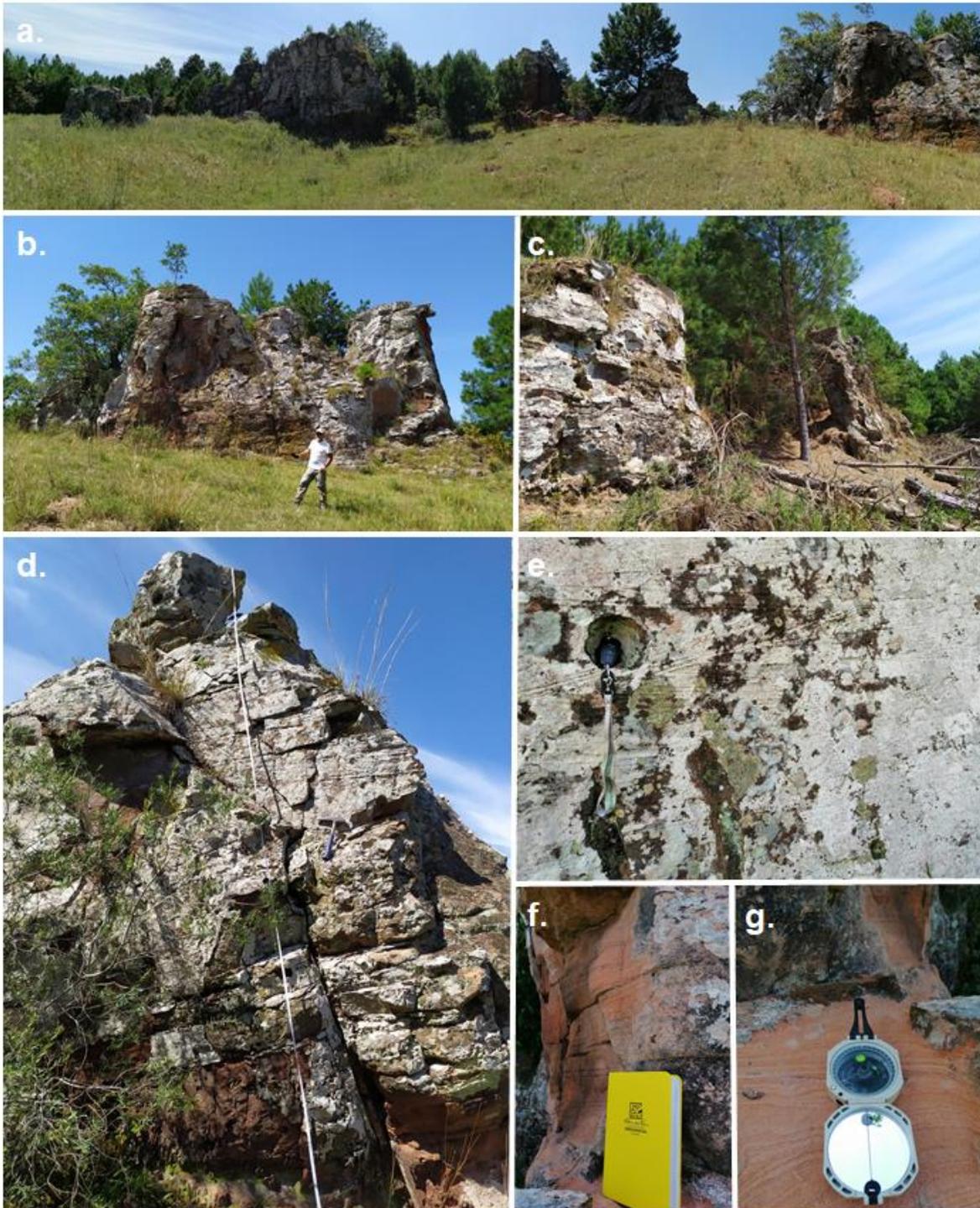


Figura 5-18: (a) vista panorámica de los pilares; (b) detalle de un pilar de unos 6 m de altura; (c) vista de la vulnerabilidad del sitio por crecimiento de especies de pinos entre los pilares; (d) pilar de 7 m de altura que muestra una intercalación de estratificaciones entrecruzadas y horizontales de areniscas rojizas; (e) vista en detalle de las estratificaciones entrecruzadas; (f) y (g) detalle de las areniscas medias a finas, cuarzo-feldespáticas, y rojizas.



Minerals como el geositio dentro del distrito. El acceso es por la ruta 30, en el km 175, al Suroeste por el camino Meneses, que lleva al pueblo de La Bolsa (Figura 5-20).

Este geositio se destaca por sus atributos mineralógicos, en el cual se encuentran depósitos de amatistas de alta calidad debido a su intensa coloración violeta y al tamaño de las geodas. La mineralización ocurre en geodas parcialmente rellenas por ágata, cuarzo incoloro, amatista y calcita, que cristalizan en ese orden, de afuera para el centro de las cavidades que se hallan en los basaltos andesíticos de la Formación Arapey (Techera *et al.*, 2007; Hartmann y Techera, 2010).

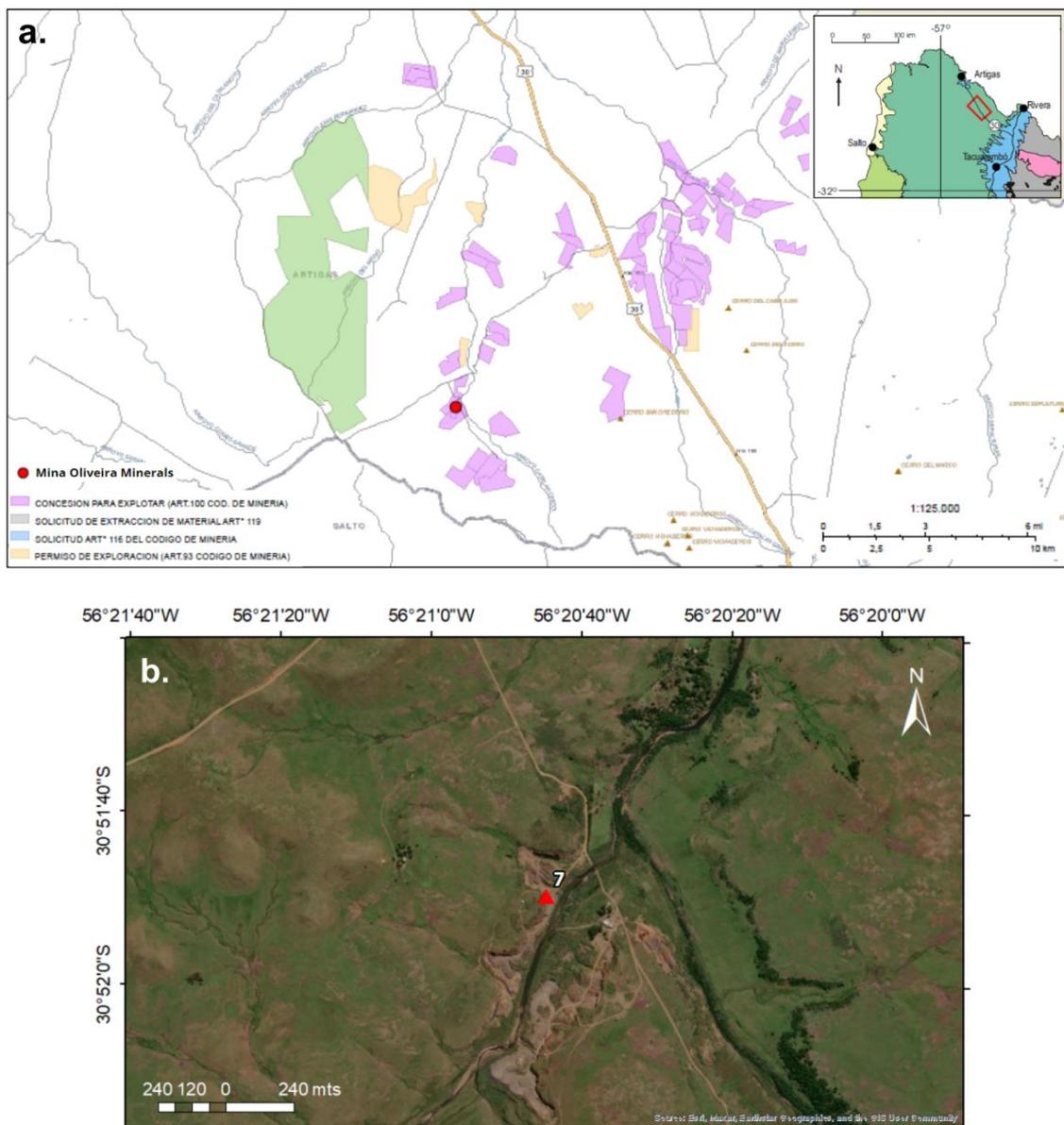


Figura 5-20: (a) Mapa del Distrito Gemológico Los Catalanes con el punto rojo indicando la ubicación de la Mina Oliveira *Minerals* (generado por el visualizador Geominero DINAMIGE) y (b) imagen de satélite con detalle de la ubicación de la Mina Oliveira *Minerals*.

La Mina Oliveira Minerals se trata de una mina en desuso acondicionada para recibir visitantes y con algunas galerías en actividad de explotación. La mina consiste en una serie de galerías excavadas en un basalto gris fino con geodas de hasta 30 cm en las paredes de basalto fino masivo. Estas geodas representan menos del 20% de la dispersión en la roca. Se pueden encontrar geodas rellenas de ágata o cuarzo, y geodas con la típica secuencia de mineralización de ágata, cuarzo de amatista (Figura 5-21e).

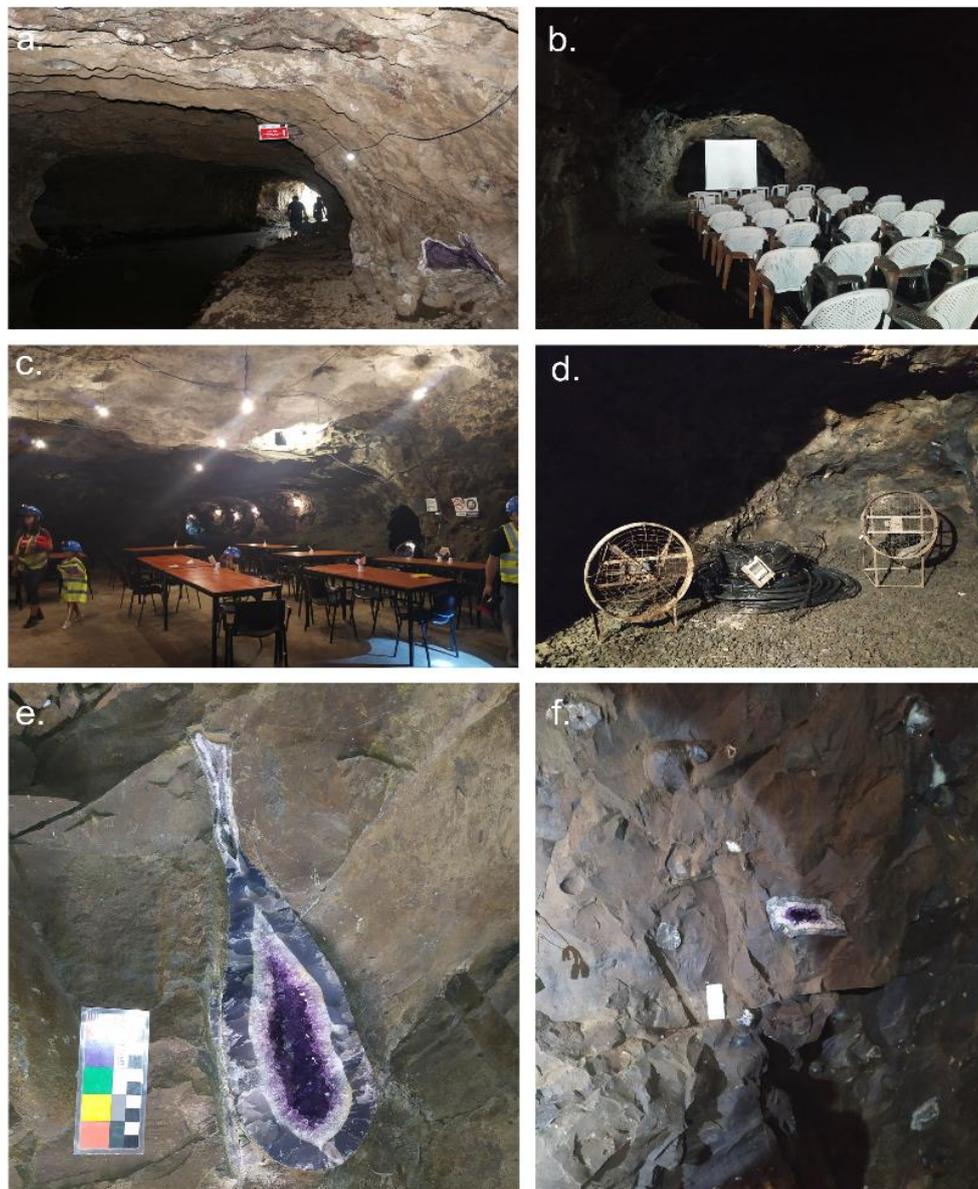


Figura 5-21: : (a) vista de las galerías que tienen aproximadamente 5 m de largo y 3 m de altura; (b) espacio acondicionado en la mina desactivada para talleres/conferencias; (c) espacio acomodado para ser un restaurante; (d) exposición de herramientas utilizadas e en la explotación; (e) geoda en la pared de la mina desactivada, mineralización del borde al centro de ágata, cuarzo y amatista en un basalto gris y (f) detalle de la pared de la mina desactivada.

Fuera de la mina desactivada pueden verse bloques métricos de escombros de mina. Estos bloques son de un basalto fino de color gris en los cuales también pueden verse vesículas, amígdalas y fragmentos de geodas.

La propuesta turística desarrollada en este geosítio por el Hotel Casino San Eugenio incluye una visita guiada a estas antiguas galerías, en las que se ha adaptado una sala de conferencias, una sala de restaurante y galerías con algunas geodas métricas expuestas aún *in situ* o *ex situ* y parte de los equipos utilizados para la explotación de las geodas (Figura 5-21).

Inmediatamente después de visitar la mina, los turistas tienen la oportunidad de explorar los escombros mineros para prospectar sus propias muestras (algunas ya están sueltas en el suelo y eventualmente se proporcionan lupas y martillos para esta actividad) (Figura 5-22).



Figura 5-22: Bloques métricos de escombros de la minería de basalto gris fino con geodas con cuarzo, ágata y eventuales amatistas.

Cerca de esta mina desactivada se encuentran las galerías con hasta 3 m de alto en explotación donde decenas de personas trabajan extrayendo bloques de materia prima, que se envían a los talleres donde se someten a un proceso de corte, limpieza y pulido (Figura 5-23). En esta galería activa se encuentran megageodas que tienen un formato elíptico con orientación horizontal, algunas con más de 4 m de largo. En los talleres también se reciben a los visitantes.

Para visitar las minas se debe reservar con anticipación, uno de los lugares que ofrece este tipo de visitas es el Hotel Casino San Eugenio, en la atracción turística denominada “Safari Minero”.

Debido a su importancia económica, estos yacimientos han sido ampliamente estudiados en términos de su mineralogía, génesis y tamaño de depósito por diversos investigadores, tales como Duarte *et al.* (2009), Hartmann *et al.* (2010, 2012), Pertille *et al.* (2013), Morteani *et al.* (2010) y Duarte *et al.* (2011).

Arduin Rode *et al.* (2022) distingue tres etapas en el proceso de formación de las geodas. En la primera, se materializa la cristalización de minerales como celadonita, zeolita, calcedonia, calcita, cuarzo microcristalino, pirita y calcopirita. En la segunda etapa, se encuentra cuarzo macrocristalino incoloro y amatista. Por último, en la tercera, se presenta calcita tardía y fluorita de forma esporádica. Mediante el estudio de inclusiones fluidas en muestras de amatista, cuarzo incoloro y calcita, la autora pudo determinar las características de los fluidos presentes en las geodas. Se encontró que predominaba un líquido monofásico y se midieron temperaturas de homogeneización que oscilaban entre 10 y 130 °C en el cuarzo y la amatista, y entre 20° y 90 °C en la calcita. Estas mediciones se realizaron mediante la aplicación de pulsos láser para estimular la nucleación de burbujas en el líquido. Estos datos indican que las geodas se formaron a bajas temperaturas y presentan bajas concentraciones de sal. Esto sugiere una interacción entre la lava y el agua meteorizada durante el proceso de formación de las geodas.

Además de sus atributos mineralógicos, esta región está relacionada con importantes hallazgos arqueológicos, y es conocida como la Región Arqueológica Catalanes Nacientes Arapey (RACNA). Esta zona ha servido como abastecimiento de ágatas, siendo la segunda materia prima lítica más utilizada en los contextos residenciales de cazadores-recolectores tempranos (aproximadamente 11000 años), después de la arenisca silicificada. Los lugares arqueológicos encontrados en esta región se convertirán en referencia en la arqueología sudamericana, aportando elementos a la discusión del poblamiento continental (Suaréz, 2010; Suárez, 2017).



Figura 5-23: (a) vista panorámica de una mina activa donde es posible observar dos entradas de galerías con aproximadamente 3 m de alto; (b) bloques de basalto gris con parte de geodas de amatista cortadas para pulimento y (c) geodas clasificadas por tamaño e intensidad de color listas para la comercialización.

### **N°8: Sitio de Geodiversidad Establecimiento Bichadero**

Este sitio se encuentra a 60 km de la ciudad de Tacuarembó y a 88 km de Minas de Corrales. El acceso es por caminería vecinal, que conectan a este lugar con los pueblos de Tranqueras y Laureles. Se trata de una propiedad rural dedicada a la ganadería, junto con algunos proyectos de producción responsable y ecoturismo orientados a la conservación de la biodiversidad que se encuentra ubicada en la Cuchilla de Laureles, estando en la zona central de la región comprendida por las Quebradas del Norte, entre los arroyos Las Cañas y Laureles (Figura 5-24).

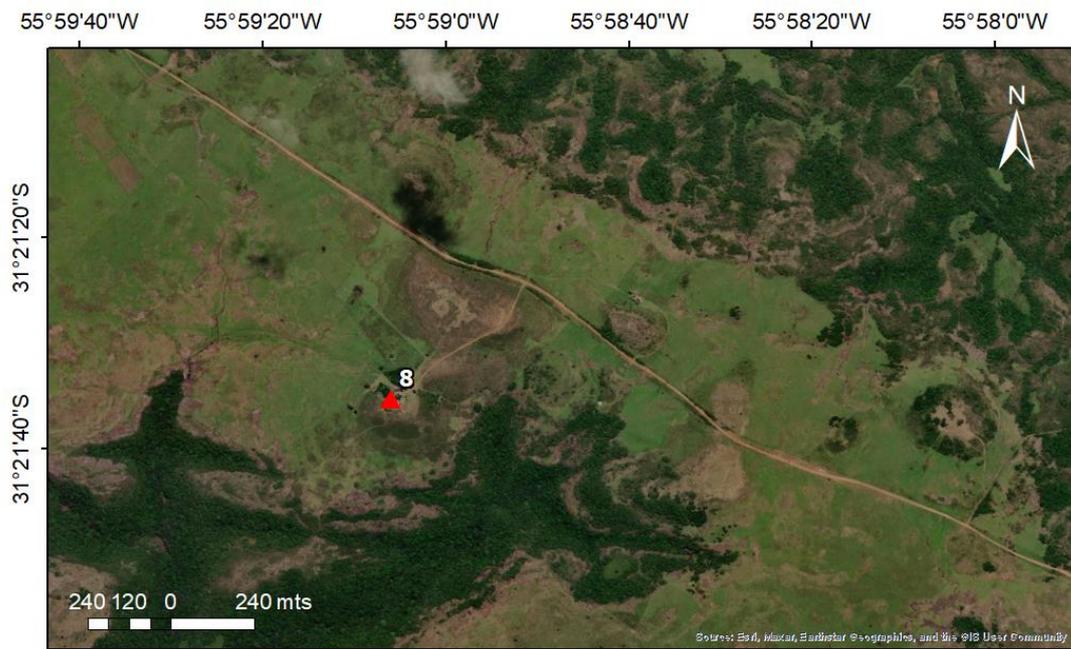


Figura 5-24: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad establecimiento Bichadero.

En este sitio existe un sector de 50 hás de monte de quebrada que es manejado como reserva desde el año de 2009 y está contemplado en la propuesta de la nueva área SNAP Laureles-Cañas, que aún está en trámites de aprobación. Estos montes de características subtropicales presentan especies de helechos, aves y otros elementos de la biodiversidad, que fueron estudiados por distintos autores, entre ellos Rivero & Azpiroz (2018) y Tabakian (2017), el que realizó un estudio sobre plantas medicinales vinculadas a tradiciones indígenas en el norte uruguayo y recolectó muestras en este sitio.

La propiedad cuenta con alojamientos y oferta gastronómica, biblioteca y una pequeña colección de elementos arqueológicos colectados en el lugar por los dueños. (Figura 5-25). Tiene un alto potencial de uso turístico y educativo.

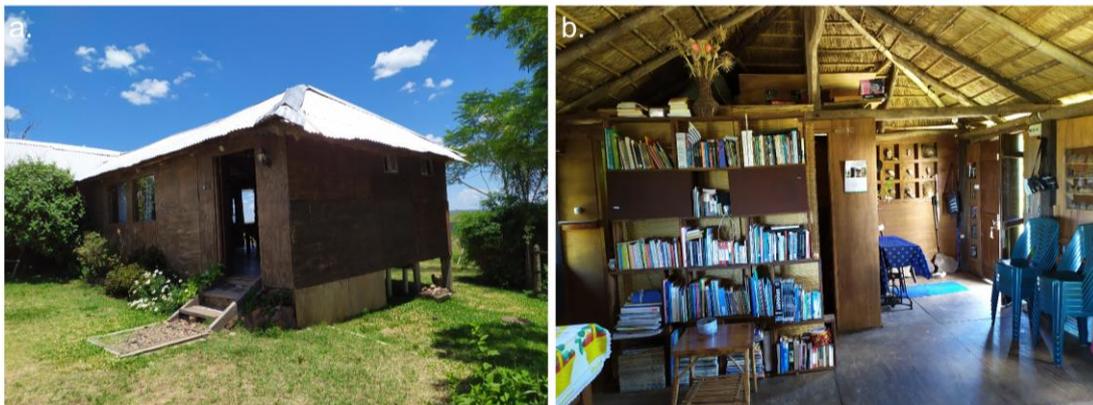


Figura 5-25: Alojamiento e infraestructura en Establecimiento Bichadero con destaque para el material bibliográfico sobre la fauna, flora, geología y arqueología de la región.

A lo largo del arroyo Las Cañas, donde los cursos de agua produjeron importantes entalles, es posible observar areniscas finas de coloración rojiza. La misma litología también aflora en los bosques que están próximos del curso del agua, y comprende exposiciones de hasta 2 m (Figura 5-26), pertenecientes al Miembro Rivera de la Formación Tacuarembó.



Figura 5-26: (a) exposición de arenisca cuarzo-feldespática rojiza en el camino para en curso de agua; (b) afloramiento de arenisca cuarzo-feldespática rojiza en la porción lateral inferior del curso de agua.

Aguas arriba por los cursos afloran escarpes de basalto masivo de color gris en exposiciones de hasta 20 m, por donde corre el agua y generan pequeñas caídas (Figura 5-27a). En la base de estas exposiciones es posible observar basaltos gris masivos, recortados por diques clásticos de unos 2 cm de espesor de areniscas finas rojizas (Figura 5-27b e Figura 5-28).

En las proximidades de las escarpas de basalto masivo aparecen varios bloques centimétricos a métricos, de hasta 3 m de ancho y 1.5 m de alto, de basalto vesicular englobados por una matriz muy fina y de color rojizo. Las vesículas, que varían de 5 mm a 2 cm están llenadas por calcedonia (Figura 5-27c y Figura 5-29).



Figura 5-27: (a) exposición de basalto gris masivo con más de 15 m de espesor; (b) dique clástico de 2 cm de arenisca entre las dos líneas rojas y (c) detalle del basalto vesicular con vesículas llenas por material silíceo.

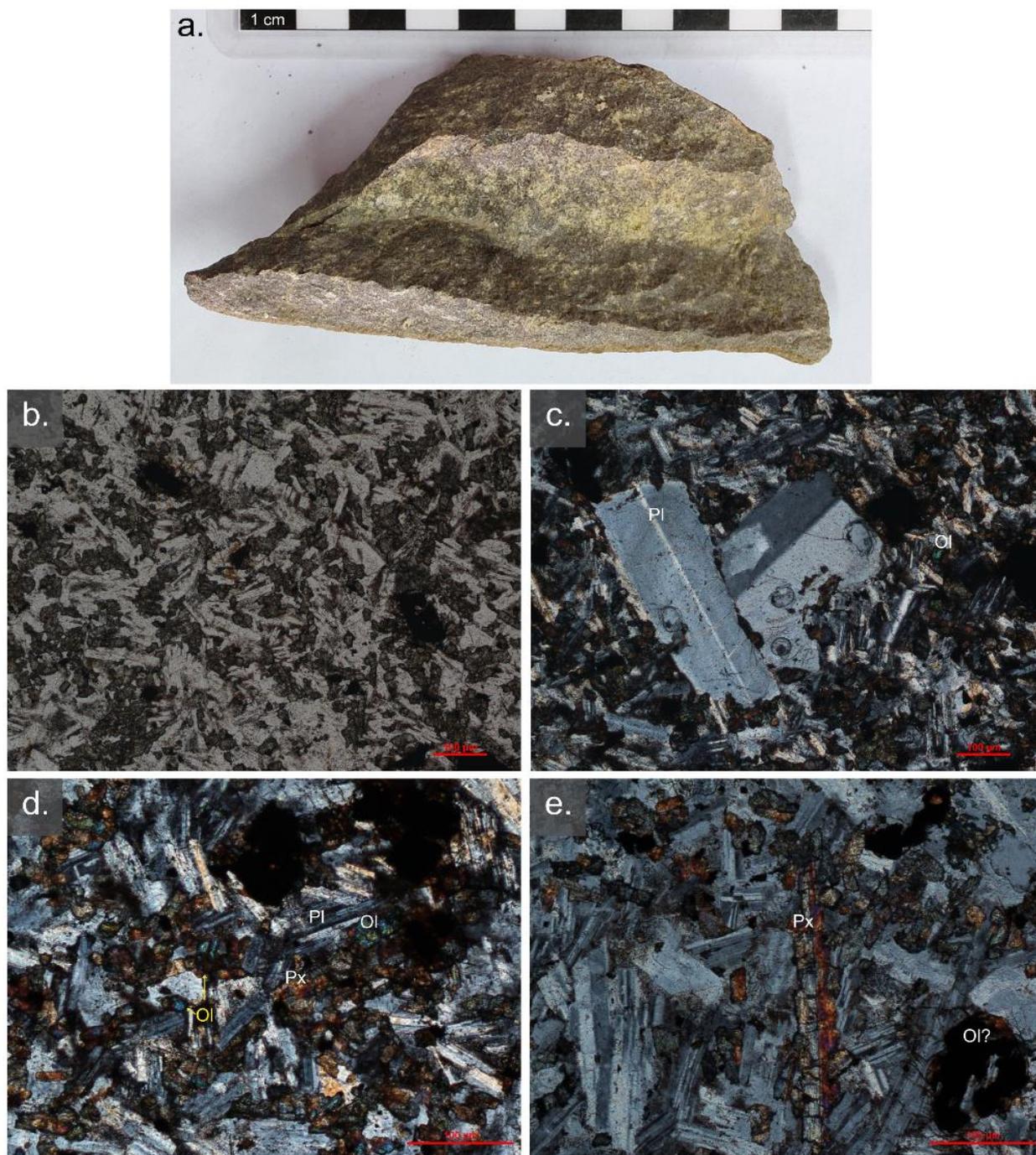


Figura 5-28: Muestra de mano (a) y fotomicrografías de la lámina delgada H1, representativa del basalto masivo. Basalto holocristalino, intergranular con escasos fenocristales y matriz formada principalmente por plagioclasa, piroxeno y olivino. Los fenocristales de plagioclasa son de composición An<sub>54</sub>-An<sub>56</sub> (Labradorita) de un tamaño variable entre 0.2 y 0.4 mm de eje mayor y suelen poseer maclado del tipo Carlsbad, Albita y combinada Albita-Carlsbad. Los fenocristales de piroxeno son de un tamaño variable entre 0.1 y 0.3 mm de eje mayor y suelen presentar macla simple. Presenta minerales opacos tardíos y fenocristales de 0.1 mm de olivino alterado (iddingsita?).

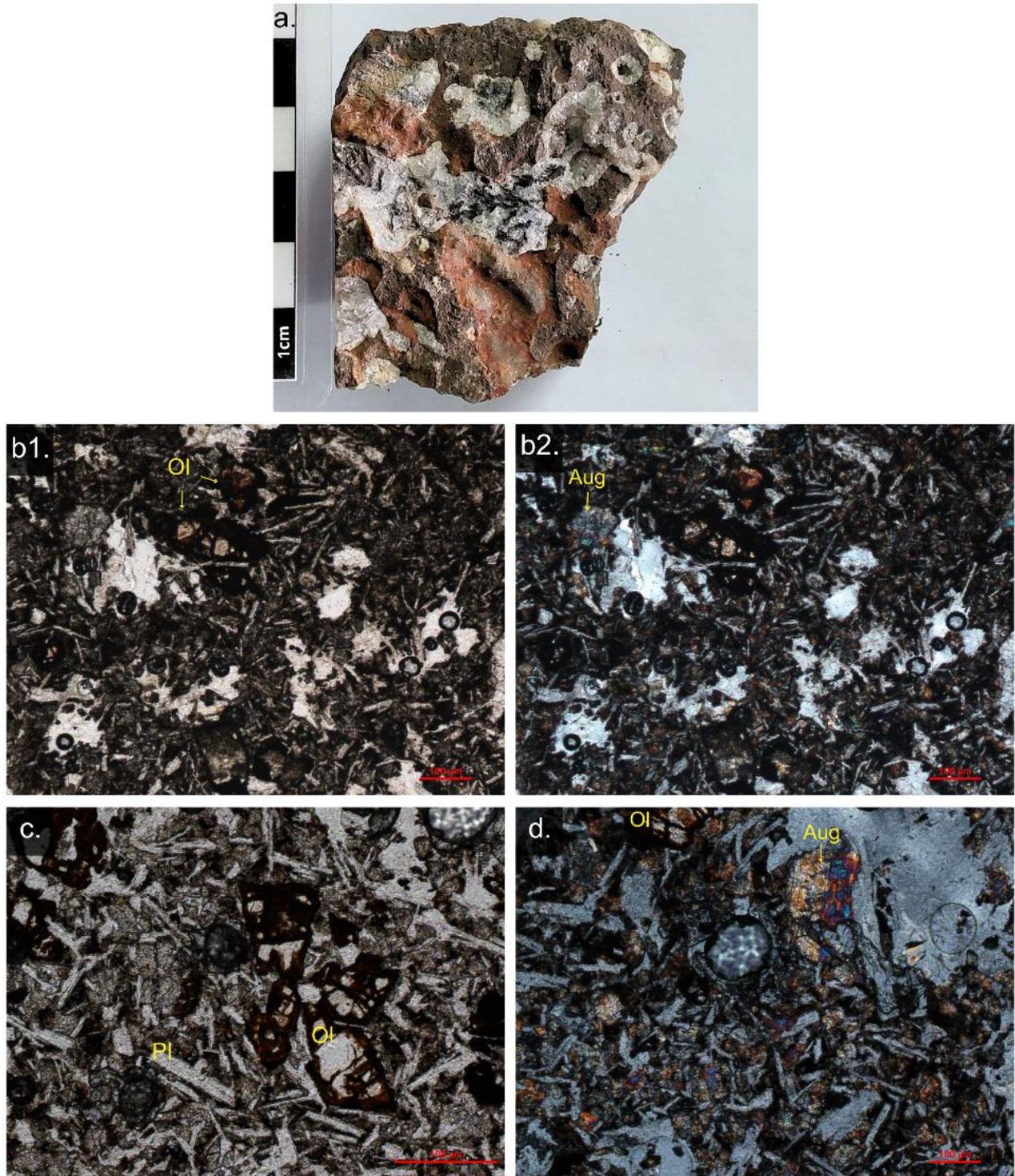


Figura 5-29: Muestra de mano (a) y fotomicrografías de la lámina delgada H2, representativa del basalto vesicular. Es una roca hipocristalina, formada por fenocristales de plagioclasa de 0,2 mm, piroxenos de 0,1 mm y olivino-iddingsita de 0,1 mm - 0.2 mm. Matriz formada por plagioclasas, piroxenos y abundante mesostasis marrón (vidrio). Las vesículas están rellenas de cuarzo y calcedonia. La mayoría de los minerales opacos son puntuales tardíos.

## N°9: Sitio de Geodiversidad Mirador Valle Edén

El Valle Edén está ubicado en el kilómetro 208 de la Ruta 26, a 23 km al Oeste de la ciudad de Tacuarembó y a 18 km al Este del pueblo de Tambores. El mirador está en lo alto de la cuesta basáltica, en el camino que va a la localidad de Tambores desde el Museo Carlos Gardel, próximo a la Cueva del Chivo (Figura 5-30).



Figura 5-30: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Mirador del Valle.

Es un lugar panorámico desde donde se puede observar los escarpes de basalto de más de 30 m de alto, correspondientes a los derrames de la Fm. Arapey. Desde este punto también se pueden ver las Quebradas del Norte (cuesta basáltica). En los alrededores del mirador a nivel de afloramiento es posible observar diferentes litologías asociadas al magmatismo mesozoico, como basaltos grises de textura masivas, que se exponen en afloramientos métricos del tipo lajoso (Figura 5-32), basaltos vesiculares con intercalaciones de areniscas *intertrapp*, basaltos vesiculares, con vesículas centimétricas (0,5 - 2 cm) y amígdalas milimétricas a centimétricas rellenas por material silíceo (Figura 5-31).

Esta región ha sido citada como referencia ilustrativa de la formación de las quebradas de la cuesta basáltica: “La acción de los arroyos obsecuentes, tributarios directos o indirectos del río Tacuarembó, han creado allí, encajonándose y retrogradando progresivamente hacia el Oeste, valles profundos en formas de quebradas, entre las cuales se destaca el Valle Edén por su singular belleza” (Chebataroff, 1975).

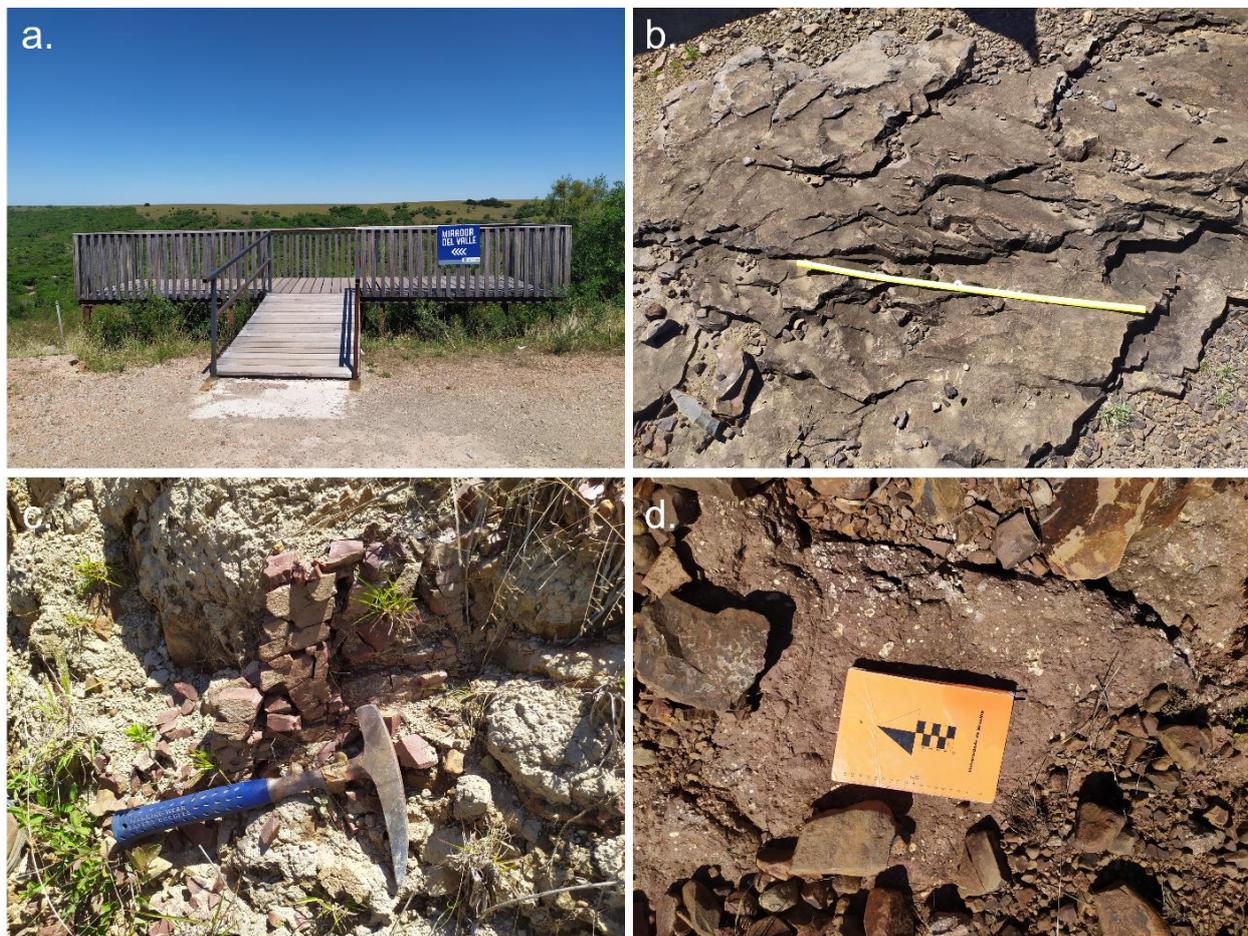


Figura 5-31: (a) vista del mirador del Valle Edén; (b) afloramiento de basalto gris lajoso; (c) basalto vesicular bien alterado (color más blanquecino) con diques de areniscas en dos planos; y d) basalto vesicular de color marrón rojizo con vesículas parcialmente rellenas por material silíceo.

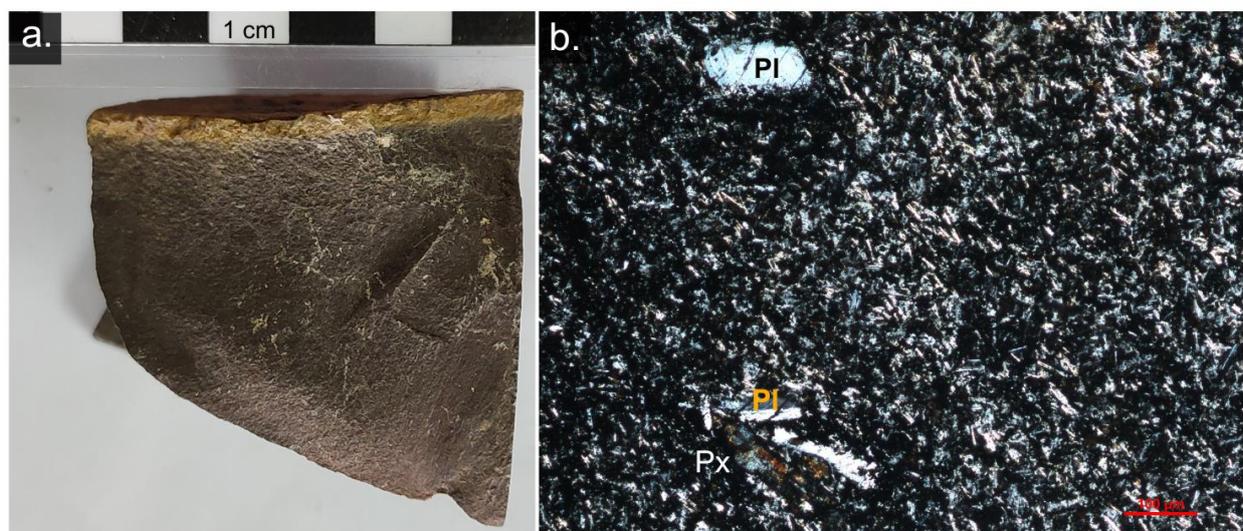


Figura 5-32: Basalto hipocristalino, afanítico compuesto por una matriz de plagioclasa, piroxenos y abundante mesostasis marrón (vidrio). En las microfotografías se observan fenocristales de plagioclasa de 0,05 mm - 0,1 mm en el eje mayor y piroxeno de tamaños similares.

## N°10: Sitio de Geodiversidad Parque Gran Bretaña

El Parque Gran Bretaña es un parque municipal ubicado a 7 km al Oeste de la ciudad de Rivera (Figura 5-33). Este parque es conocido por sus características naturales y por ser un lugar popular para la recreación y el esparcimiento de los riverenses en la región. Su nombre es en homenaje al embajador británico en Uruguay Sir Millington Drake, quien en nombre del gobierno del Reino Unido donara el predio. Inaugurado el 5 de septiembre de 1939, el Parque Gran Bretaña fue declarado Monumento Histórico Nacional en 1981 (Ley 14.040 - Resolución N°2163/981).

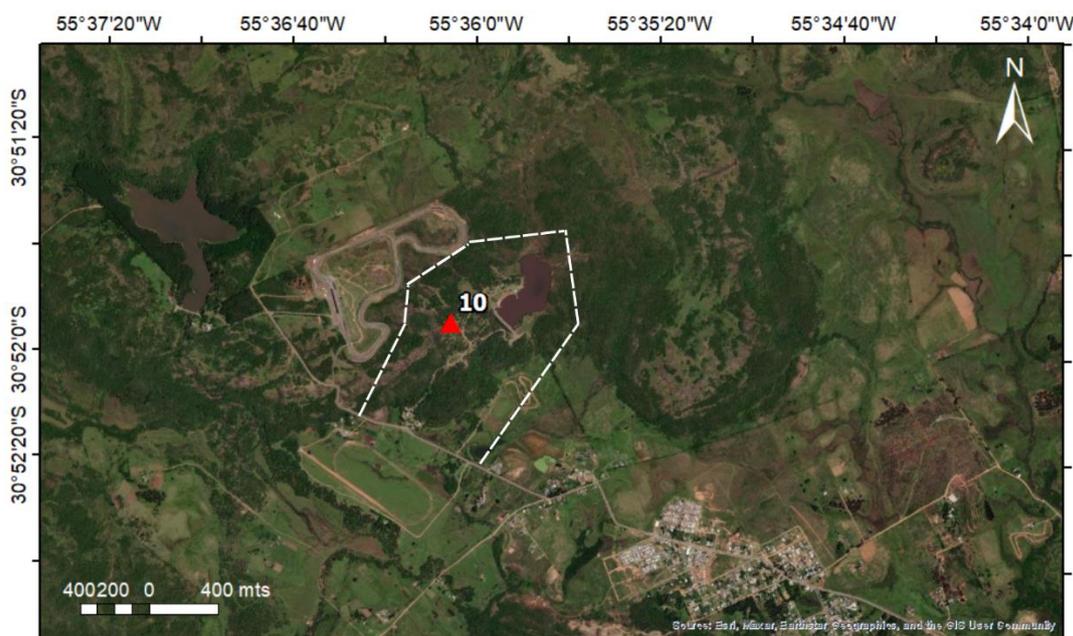


Figura 5-33: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Parque Gran Bretaña.

Comprende 50 hács agrestes sobre la Cuchilla Negra conformada por basaltos de la Formación Arapey. Cuenta con variedad de flora autóctona, cascada natural, rincón infantil con numerosos juegos, casona alojamiento para delegaciones, cantina, servicio de vigilancia las 24 horas, área de *camping* con parrilleros, gabinetes higiénicos, duchas, servicio telefónico y línea de ómnibus permanente.

Los basaltos que afloran en este sitio son del tipo masivo, gris oscuros y se exponen en lajas o en bloques que ocupan áreas extensas. Es posible observar algunas estructuras de flujo magmático, así como un sistema de fracturas en distintas escalas y direcciones (Figura 5-34).



Figura 5-34: (a) Vista panorámica del afloramiento de basaltos en lajas; (b) vista de afloramiento de bloques de basaltos; (c) detalle de los basaltos fracturados en diferentes direcciones y escala con estructuras de flujo; (d) afloramiento de los basaltos masivos.

#### 5.2.4 Megafauna Pleistocena

Fue seleccionado apenas un geosítio para esta categoría temática a orillas del río Cuareim.

##### N°11: Geosítio La Estiba (Río Cuareim)

El sitio conocido como La Estiba corresponde a un área de 6 há de barrancos rocosos y sedimentarios expuestos a lo largo de las orillas del Río Cuareim. El acceso es por la Ruta 30 y caminos vecinales, a una distancia de unos 10 km al Sur de la ciudad de Artigas (Figura 5-35).

El sitio presenta una exposición decamétrica que en los 5 m basales muestra una sucesión de areniscas finas y muy finas, de color beige y rojizas, con granos subredondeados, con moderada a buena selección, cuarzo feldespáticas y muy escasos

fragmentos líticos. Ocasionalmente, presenta gradación inversa intralaminar, característica de depósitos eólicos pertenecientes a la Formación Tacuarembó. También se observaron algunas superficies delgadas de costras de óxidos de hierro (Figura 37a)



Figura 5-35: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Parque Gran Bretaña.

Sobreyacen a éstas, en un contacto discordante y erosivo basal una capa de conglomerados con matriz de arcilla (paraconglomerado), de color beige rojizo, con clastos de tamaño guijarro a cantos, principalmente de 10-15 cm (Figura 5-37c). La composición de los megaclastos es basáltica, cuarzos, de areniscas eólicas y calcedonias, tanto redondeados como angulares. Por encima de éstos, se observan en contacto discordante unos 2,5 m de limos-arcillosos marrón claro, con muy escasa arena fina, con pedotúbulos y geometrías lobuladas. Todos estos depósitos se los atribuye a los sedimentos cuaternarios de la Formación Sopas (Antón, 1975). En la parte superior del perfil se observa una capa de unos 3 m de suelo de color marrón oscuro a negro (Figura 5-36 y Figura 5-38).

En el nivel de los limos arcillosos marrones de la Formación Sopas se han reportado numerosos restos fósiles pertenecientes a la megafauna del Pleistoceno, que han sido descritos por Ubilla (2004), Ubilla *et al.* (2004) y Ubilla *et al.* (2016). Este contenido fosilífero fue ampliamente difundido a nivel internacional, lo que confiere su valor científico. Entre los vertebrados encontrados, destacan los ungulados, especialmente los ciervos, y los roedores, que son los grupos más frecuentemente representados en el conjunto de fósiles. Se han identificado herbívoros de gran tamaño a pequeños, como el *Toxodon*, el *Macrauchenia*, los caballos *Equus neogaeus* y *Hippidion principale*, el

perezoso terrestre *Glossotherium*, *Neolicaphrium*, *Lama* y *Microcavia*. Además, se han descrito algunos omnívoros, como el oso *Arctotherium*, y depredadores de tamaño grande a mediano, como el jaguar *Panthera onca*, el puma y el cánido extinto *Procyon*, entre otros, tal como lo describen Ubilla *et al.*, (2004), Ubilla (2004) y Ubilla *et al.* (2016). Cabe consignar que en la ciudad de Artigas está en fase de finalización la construcción del Museo departamental, donde una parte de estos materiales fósiles serán parte de la colección de esa institución.



Figura 5-36: (a) Vista panorámica del afloramiento ubicado en las orillas del río Cuareim, donde afloran desde la base hasta la parte superior areniscas de tonos beige rosado, seguidas por limos arcillosos marrones y una capa de suelo de color marrón oscuro a negro. Se observa cómo los afloramientos de la Formación Sopas se exponen en barrancos a lo largo de las orillas del río.



Figura 5-37: (a) vista en detalle de areniscas con láminas de arenas gruesas y líticas; (b) contacto entre las areniscas de la Fm. Tacuarembó con los conglomerados basales y los limos arcillosos de la Fm. Sopas; (c) conglomerado de matriz beige rojiza y guijarro de basalto alterado de la Fm, Sopas.

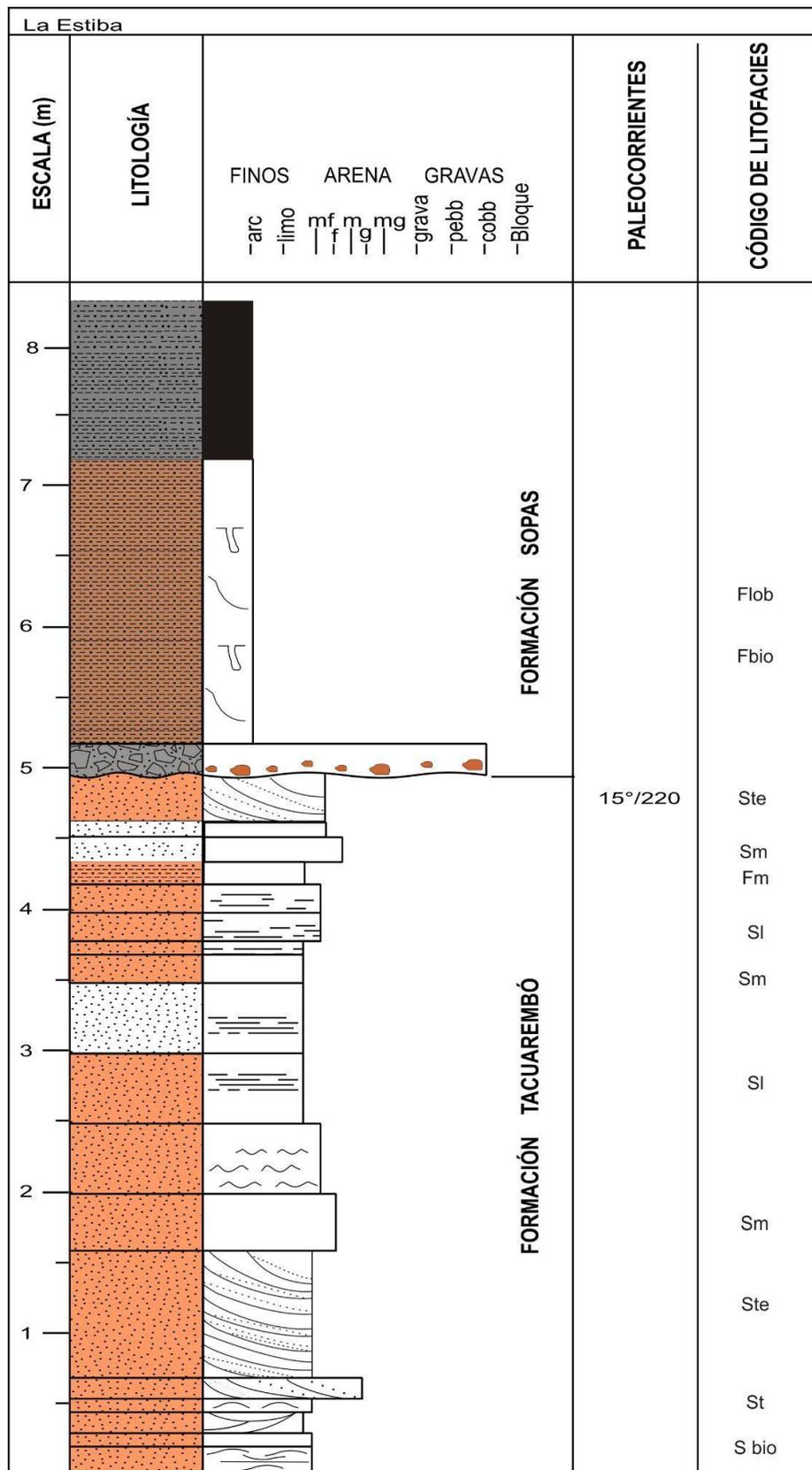


Figura 5-38: Perfil estratigráfico de afloramiento en La Estiba (costa del río Cuareim). Fm Sopas sobre la Fm. Tacuarembó.

### **5.2.5 Unidades Geomorfológicas y Formas de Relieve**

Gran parte de las formas de relieve que caracteriza el territorio uruguayo han sido producidas por el modelado fluvial sobre los materiales meteorizados durante el Cuaternario, período marcado por la alternancia de las glaciaciones y los retrocesos glaciares, lo que provocó situaciones con períodos más lluviosos y de mayor vegetación (interglacial), intercalados con períodos relativamente más secos (semiáridos) durante los ciclos glaciares y por lo tanto con menor vegetación, donde la denudación y erosión fue predominante. Entre las formas de relieve que fueron generadas por la erosión fluvial están los valles y las cuchillas. Estas últimas son ondulaciones relativamente complejas, pero de pendientes suaves y lomas alargadas que direccionan el escurrimiento superficial de las aguas orientándolas hacia cuencas fluviales distintas (Chebataroff, 1975). La dureza y la resistencia de las rocas a la erosión han sido factores importantes en la forma de las cuchillas, y en el norte de Uruguay, debido a las características de deposición horizontal, las cuchillas son mesetiformes, dando también lugar a los característicos “cerros testigos” del norte del país.

Se han inventariado uno geosito y ocho sitios de geodiversidad para esta categoría temática que se describen a continuación.

#### **N°5: Geosito Subida de pena**

La “Subida” o “Bajada” de Pena está ubicada a 65 km al Oeste de la ciudad de Rivera y a 22 km al Oeste de Tranqueras, sobre la ruta N°30. Es un sitio de fácil acceso, buena conectividad, que tiene valor educativo y turístico (Figura 5-39). Se encuentra dentro del Área Paisaje Protegido (SNAP) Valle del Lunarejo y a 2 km del Centro de Visitantes del parque. Fue declarada Monumento Histórico Nacional en 1981 (Ley 14.040; Resolución N° 2163/981).



Figura 5-39: Mapa de ubicación del geosítio Subida de Pena.

Este sitio comprende una sucesión sedimentaria del Miembro Rivera (Fm Tacuarembó), de areniscas finas bien seleccionadas y subredondeadas rojizas, con estratificación cruzada plano paralela y tangencial de alto ángulo y de gran escala (Figura 5-40), que materializan dunas eólicas que se exponen en una sección de más de 130 m de longitud, próximo a la al accidente orográfico conocido como la Subida de Pena. Es un sitio con un importante potencial de uso educativo, donde es posible estudiar depósitos eólicos que dominaron el período árido del Paleodesierto Botucatú. Las direcciones de los paleovientos muestran un componente principal N, NE y E (ver Figura 5-41).

Además de este sitio, en la región se destacan los cerros y escarpas de la cuesta basáltica (Cuchilla Negra), y es señalado como uno de los miradores más emblemáticos del complejo ecológico Valle de Lunarejo (sitio web Valle del Lunarejo)

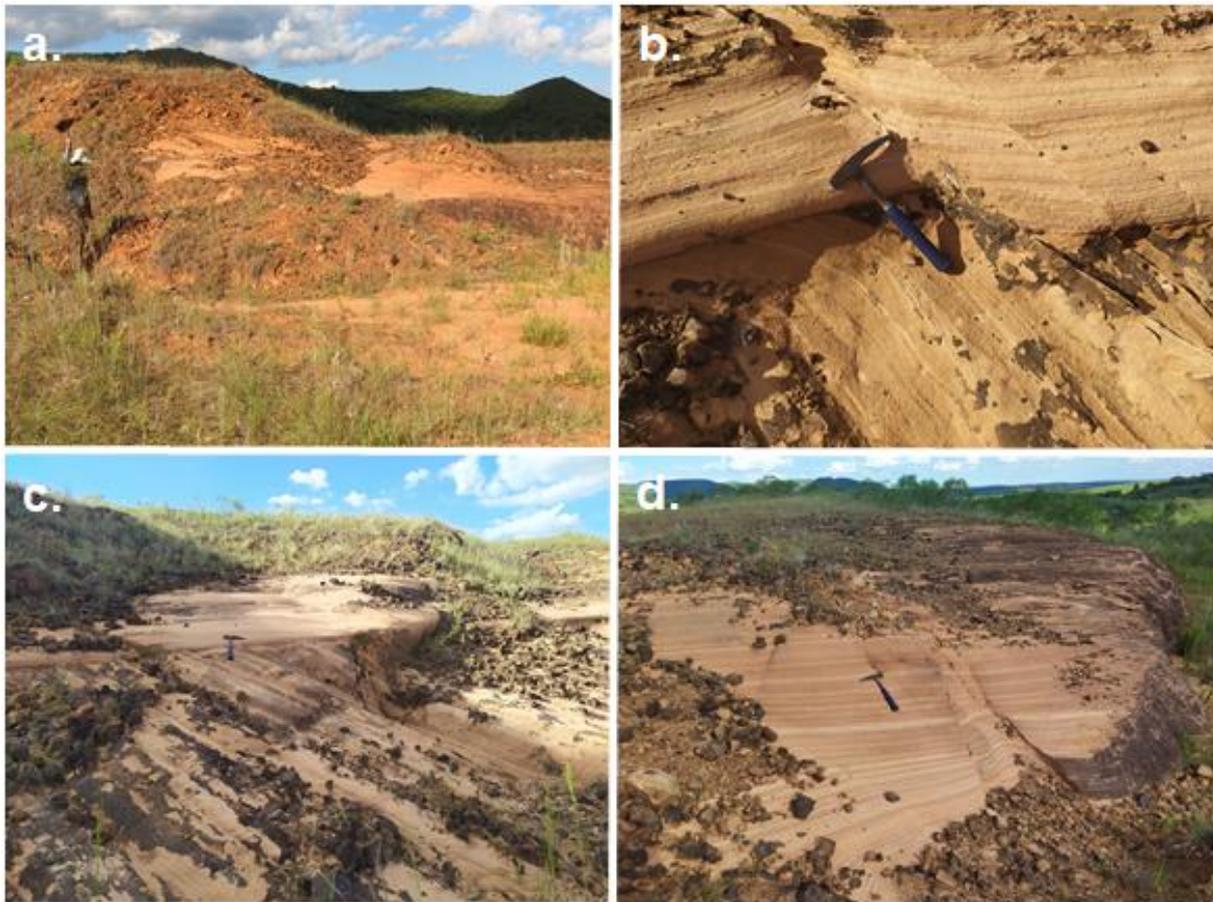


Figura 5-40: (a) Vista panorámica del afloramiento en Subida de Pena (b), (c) y (d) detalle de las estratificaciones cruzadas, cruzadas de alto ángulo, plano paralelas.

Este sitio de geodiversidad fue mencionado en la Revista de Geografía de Uruguay de 1975, en el cual se explica la evolución del relieve de Uruguay, en relación a este punto: “En la “bajada” de Pena está representada una importante línea de escarpa del “frente” basáltico que es aprovechada por la carretera que une a Tacuarembó y Rivera, por Tranqueras, con Artigas” (Chebataroff, 1975 p.25). Además, según los estudios de Perea *et al.* (2009) y de Santa Ana y Veroslavsky (2003), este geosítio se reconoce como una de las mejores exposiciones del Miembro Rivera. Esto sugiere que "Subida de Pena" podría ser considerada también dentro de la categoría temática de Cuencas Gondwánicas.

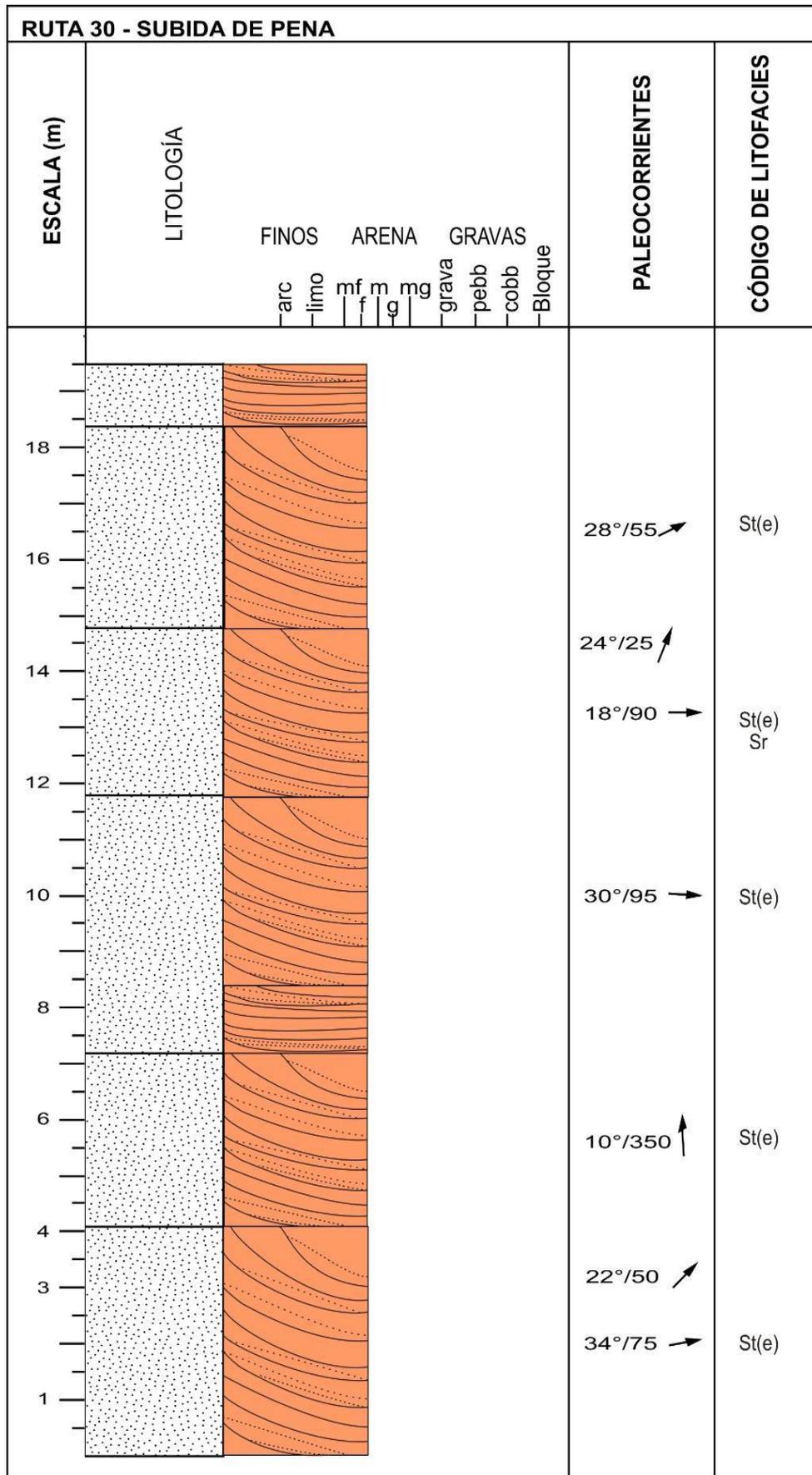


Figura 5-41: Perfil estratigráfico del geosítio Subida de pena (Gentileza: Adriano Domingo dos Reis).

## N°12: Sitio de Geodiversidad Cerro Miriñaque

El sitio de geodiversidad Cerro Miriñaque está ubicado sobre la Ruta 29, en el km 5, próximo al Paso Manuel Díaz. Este cerro chato (geomorfológicamente denominado cerro testigo) forma parte del sistema de cuchillas tabulares del Norte (Figura 5-42) y ha sido esculpido por la erosión parcial de capas sedimentarias, en parte de las areniscas fluvio-eólicas de la Formación Tacuarembó, y posiblemente parte de la Fm. Buena Vista.

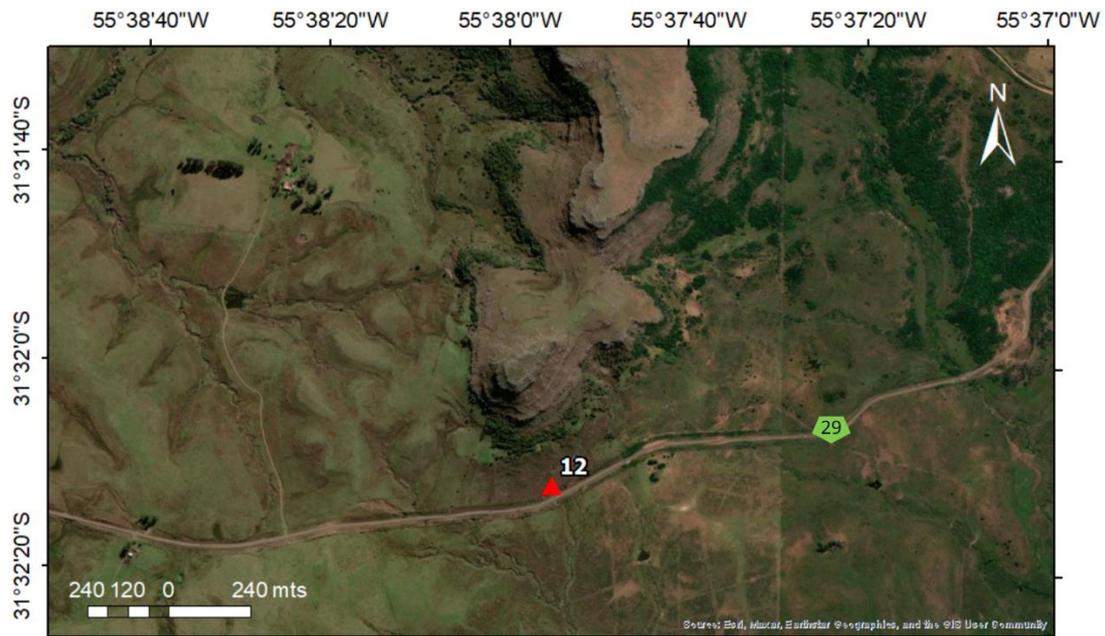


Figura 5-42: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Cerro Miriñaque.

Se localiza en la porción terminal Sur de la masa tabular de la Cuchilla de Cuñapirú y se encuentra en proceso de desprendimiento de esa cuchilla (Figura 5-43).

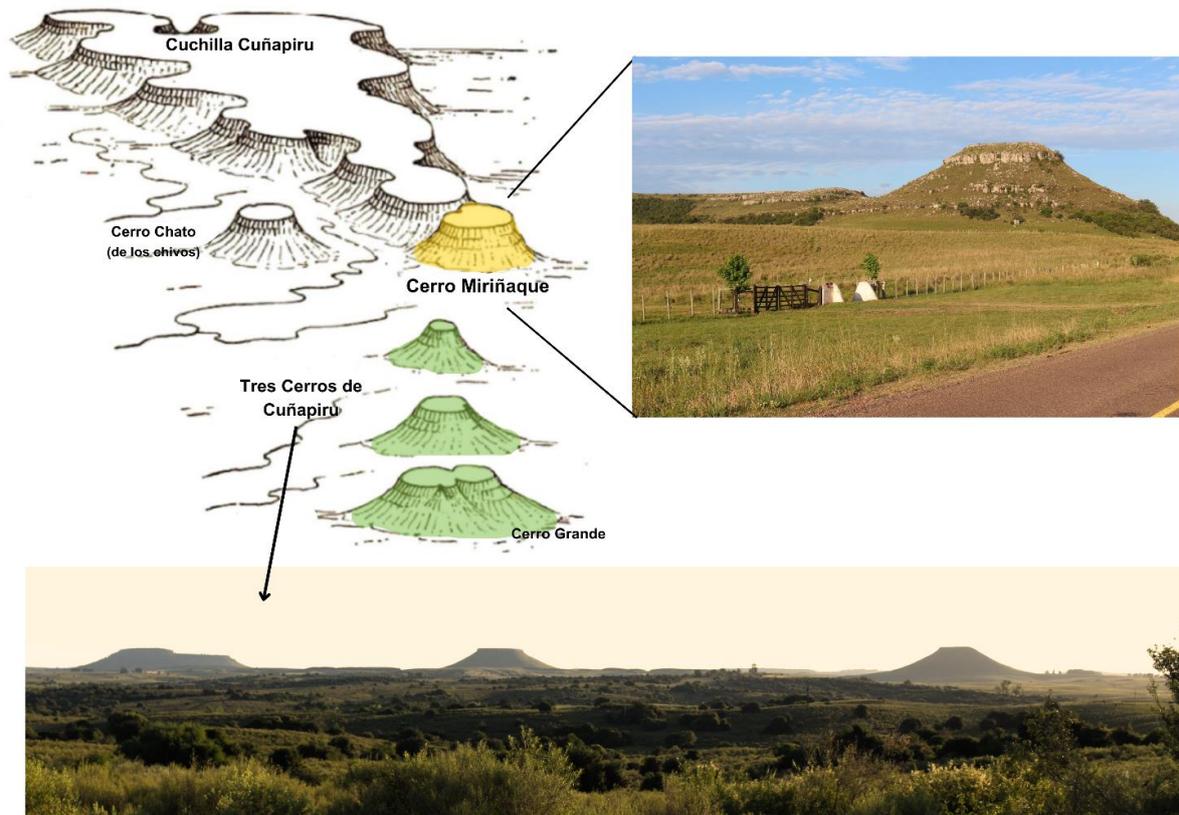


Figura 5-43: Vista panorámica del borde meridional de la masa tabular de la Cuchilla de Cuñapirú (Rivera) y cerros chatos desprendidos de ella por la acción fluvial. En el dibujo se han reducido en forma apreciable las distancias que median entre los cerros (adaptado de Chebataroff, 1975) con destaque y fotografías del Cerro Miriñaque (amarillo) y los Tres Cerros de Cuñapirú (verde).

Tiene laderas escalonadas bien definidas, con hombro y cara libre rocosos, con ladera de detritos bastante cubierta de vegetación, resultado de la diferencia de la resistencia y por la estratificación de las areniscas que lo integran. Se llama “Miriñaque” en referencia a las faldas utilizadas en mediados del Siglo XIX y principio del Siglo XX (Figura 5-44) (Chebataroff, 1975). Fue citado por Chebataroff (1975) como “elemento orográfico espectacular por su aspecto tabular, sus laderas escalonadas y sus valles encajonados”.

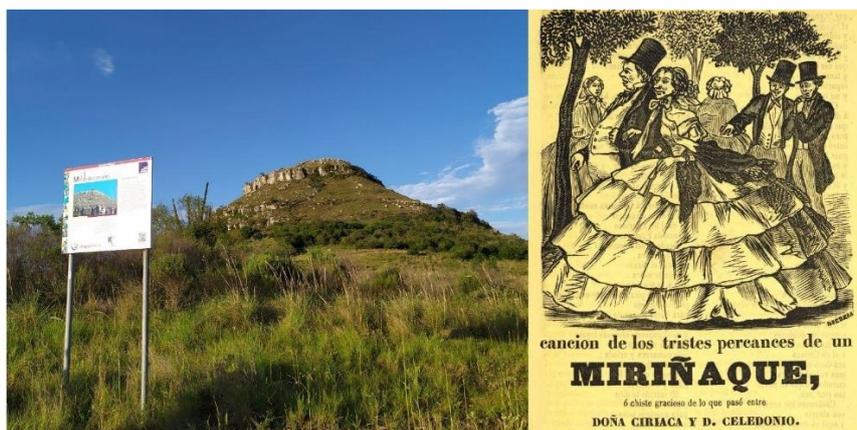


Figura 5-44: Vista del Cerro Miriñaque en el km 5 de la Ruta 29 con destaque para el cartel que contiene informaciones sobre el Cerro e imagen ilustrativa de la falda miriñaque (referencia digital 2).

En la base del cerro existe un cartel informativo disponible en inglés, portugués y español con el siguiente texto (Figura 5-44): “La belleza de los cerros Miriñaque y Vigilante, inspiraron a Osiris Rodríguez Castillos en sus versos “De Corrales a Tranqueras”. En su cima se pueden apreciar palmeras de la especie Palma Yatay enana, *Butia paraguayensis*, que tiene una altura de apenas dos metros. Es una especie protegida en peligro de extinción, únicas en el país que se encuentra solo en Rivera en los cerros chatos y alrededores. También existe allí una importante colonia de “chivos” silvestres”.

El sitio se encuentra en una ruta paisajística (Sell, 2017), su destaque paisajístico puede ser visto desde la ruta. Presenta importancia cultural y ecológica en función de las especies de fauna y flora existentes. Hace parte de la promoción turística de la región norte de Uruguay nominada “Circuito Minero” y “Ruta del Oro”. Existen excursiones que ofrecen una caminata guiada hasta la cumbre del Cerro Miriñaque. Es un sendero de dificultad media y dura 3 horas. La Zona de los Cerros del Miriñaque - Cerro Grande y Cerro Chato fue declarada Monumento Histórico Nacional en 1981 (Ley 14.040 - Resolución N° 2163/981).

En la base del cerro, al borde de la Ruta 29, aflora en una franja de unos 30 m de largo por 3 m de ancho, una roca compuesta por clastos de naturaleza polimítica de tamaños que varían entre 2 y 7 cm inmersos en una matriz arenosa a pelítica muy fina de color violeta (Figura 5-45 e Figura 5-46). En general los clastos son redondeados y no fue posible observar estructuras sedimentarias debido a las condiciones del afloramiento, que está alterado y fracturado. De acuerdo con la carta geológica 1:500.000 proporcionada por DINAMIGE (Preciozzi *et al.*, 1985), este afloramiento está mapeado como parte de la Formación Buena Vista.

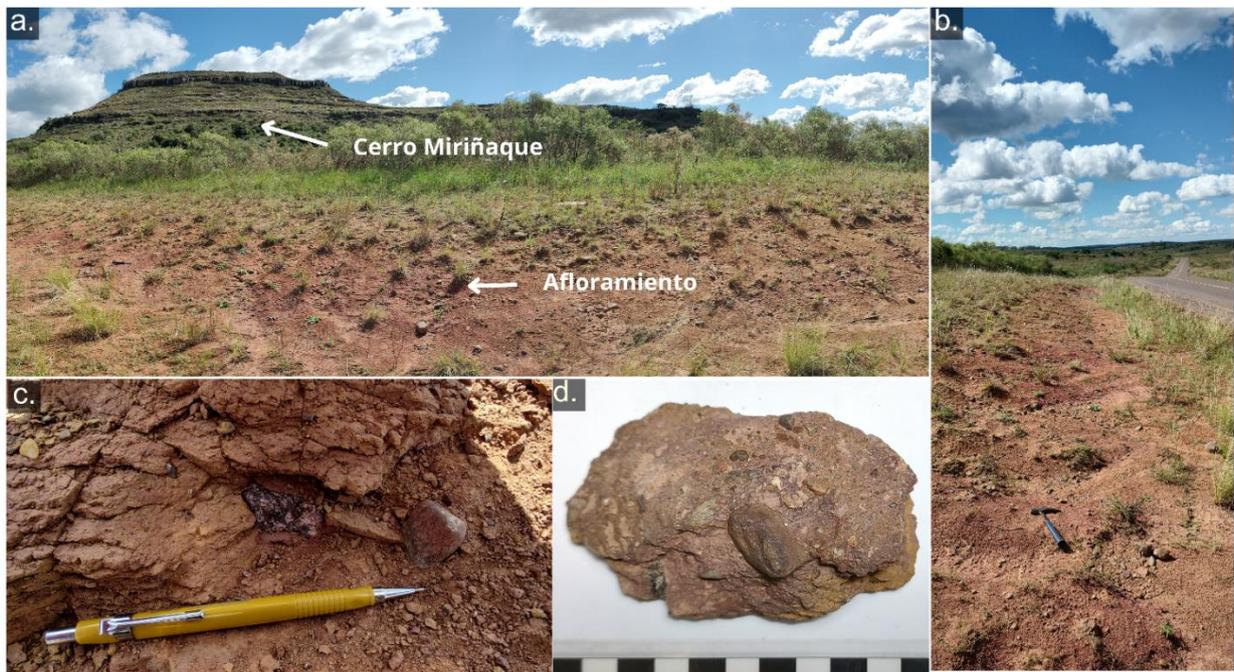


Figura 5-45: (a) y (b) aspecto del afloramiento de los conglomerados rojizos en el borde de la Ruta 29 (c) detalle del afloramiento con destaque para el clasto de aproximadamente 3 cm y (d) muestra del conglomerado de matriz rojiza de arena muy fina a arcillosa con clastos centimétricos.

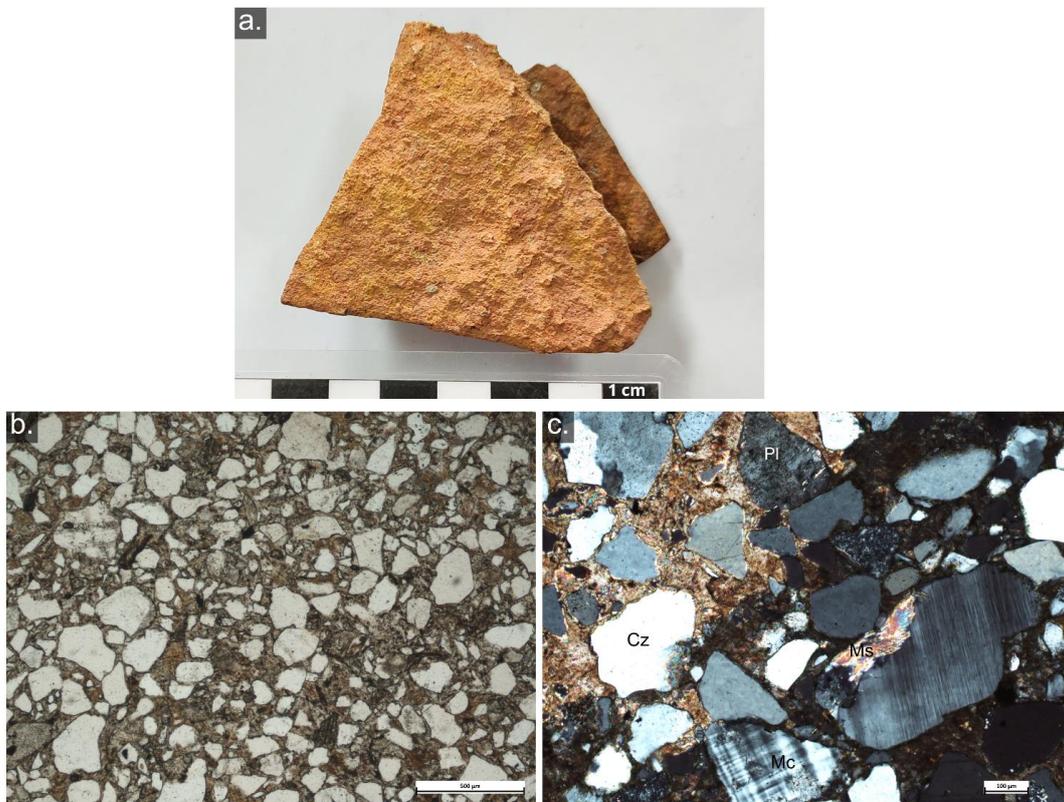


Figura 5-46: (a) Muestra de sedimento recolectada en el borde de la Ruta 29: roca de matriz fina rojiza con granos muy pobremente seleccionados de cuarzo y otros fragmentos líticos; (b) fotomicrografía de la sección delgada en la que se aprecian granos pobremente seleccionados y angulosos inmersos en una matriz muy fina; (c) detalle de los clastos de composición variada: cuarzo, microclina y muscovita.

En la parte inferior del Cerro Miriñaque se encuentran bloques sueltos de tamaño centimétrico a métrico de areniscas muy finas, beige rosados con estratificación horizontal y cruzada. Los afloramientos en las laderas se encuentran de manera saltuaria. Estos bloques son seguidos por la exposición de areniscas finas rosadas y anaranjadas bien seleccionadas, que tienen aproximadamente entre 1 y 2 m de espesor y presentan estratificación cruzada de bajo ángulo, estratificación horizontal y fracturas con una dirección de fractura de N300, posiblemente pertenecientes a la Formación Yaguarí (Figura 5-47a-b).

Por encima, afloran bloques de aproximadamente 2 m de areniscas rojizas bien seleccionadas y masivas. A continuación, hay bloques de 1,5 m de arenisca fina con laminación horizontal, seguidos de estratificación cruzada y laminación tipo ondulita con una dirección de paleocorriente de N270 (de este a oeste), que probablemente pertenecen al Miembro Batoví de la Formación Tacuarembó (Figura 5-47c).

En la secuencia, se observa una sucesión de 1 metro de arenisca masiva, seguida de 1 metro de arenisca beige con estratificación plano paralela, y luego 2,5 m de dunas eólicas con estratificación cruzada. A continuación, se encuentran niveles de 3 m de areniscas masivas con marcas de adhesión del tipo interdunas, seguidas de un conjunto de 5 m de areniscas con estratificación horizontal con ondulitas, que se interpretan como sábanas de arena, con algunas estratificaciones cruzadas de bajo ángulo.

En la cumbre, se observan areniscas finas silicificadas, predominantemente con estratificación horizontal y en menor medida estratificación cruzada de bajo ángulo (Figura 5-47f).



Figura 5-47: (a) Vista de la base del Cerro Miriñaque con la exposición de bloques de tamaño decimétrico a métrico de areniscas fluvio-eólicas; (b) detalle de un bloque con estratificación cruzada; (c) sucesión de areniscas que muestran estratificación horizontal, cruzada y estratificación horizontal con ondulitas; (d) detalle de una arenisca fina y beige, bien seleccionada y con granos subredondeados; (e) vista de la porción más alta del cerro que muestra un conjunto de 3 m de arenisca masiva en la base de la fotografía; (f) bloque en la cumbre del cerro con estratificación cruzada de bajo ángulo.

El cerro Miriñaque se encuentra en la división de dos cuencas hidrográficas de nivel tres, la cuenca del Río Tacuarembó entre el Arroyo Cuñapirú y Arroyo Buena Orden y la cuenca del Río Tacuarembó entre Arroyo Carpintería y Arroyo Cuñapirú.

### N°13: Sitio de Geodiversidad Cerro Batoví

El sitio de geodiversidad Cerro Batoví está ubicado a 25 km al Sur del perímetro urbano de la ciudad de Tacuarembó, con acceso por la Ruta N°5 (Figura 5-48). Comprende a un cerro con aproximadamente 50 m de altura en relación a su entorno, con su cumbre alcanzando los 213 m de altitud. Está constituido por areniscas de origen fluvio-eólico de

la Fm. Tacuarembó, presenta una geomorfología en forma de *butte* (cerro testigo), donde el tope es más angosto que la base. Dicha característica da origen a su nombre: “batoví” significa “seno de virgen” en tupí-guaraní. Si bien el miembro inferior de la formación Tacuarembó toma el nombre de este cerro, una mejor y más completa exposición de la sucesión de estas areniscas, está en el cerro que está a su lado inmediatamente al Este, más próximo a la Ruta 5.

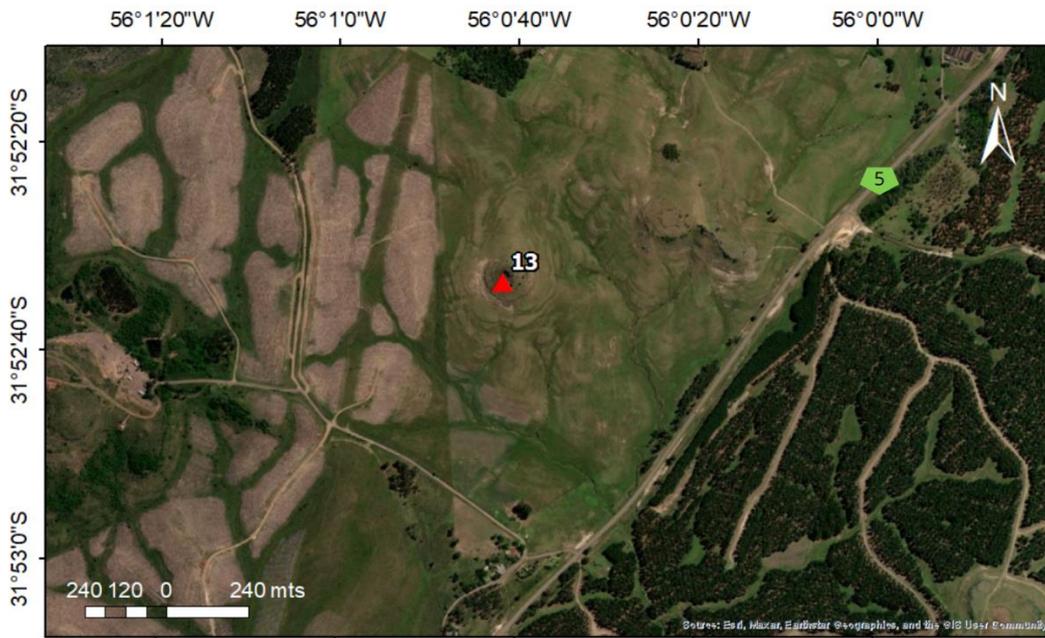


Figura 5-48: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Cerro Batoví.

El Cerro Batoví tiene un importante valor cultural para Tacuarembó, ya que está representado en el escudo del departamento, está promocionado como atracción turística y tiene una designación local como Monumento Departamental, pero sin una figura de protección. A lo largo de las rutas existen referencias de indicación de cómo llegar a él (Figura 5-49). Igual al Cerro Miriñaque, fue citado en el trabajo que propone rutas paisajísticas por Sell (2017) para la región denominada el pampa brasilero y uruguayo.

También se encuentra en el límite que separa dos cuencas de nivel tres, separando la cuenca del A° Tacuarembó chico entre A° Batoví y el río Tacuarembó, y el A° Tacuarembó Chico entre A° Tranqueras y A° Tres cruces.



Figura 5-49: (a) vista panorámica del cerro Batoví; (b) escudo del departamento de Tacuarembó con el cerro Batoví al centro y (c) cartel indicando que el cerro Batoví es un monumento natural departamental.

La base del cerro está parcialmente cubierta por vegetación, pero igualmente fue posible observar una sucesión de areniscas de color beige claro, de granulometría fina a muy fina, bien seleccionadas, con granos subredondeados a redondeados, principalmente de cuarzos con feldespatos. Exhibe una intercalación de estructuras sedimentarias de estratificaciones cruzadas de origen eólico con direcciones de paleocorrientes hacia el E y NEE, que intercala con capas masivas y muy eventualmente con sedimentos finos. Estas areniscas son interpretadas como pertenecientes al Mb. Batoví, cuyo origen se relaciona con ambiente fluvial efímero con intermitencias de retrabajo eólico (Mesa 2016). Hacia el tope del cerro, las areniscas presentan un color rojizo intenso y los granos son de tamaño fino a medio, con estratificación cruzada de alto ángulo con dirección de paleocorriente hacia el W, atribuyéndose un origen eólico, y correspondiendo al Mb. Rivera de la Fm. Tacuarembó. Por último, en la cumbre del cerro afloran bloques métricos de basalto gris masivo y afanítico, perteneciente a la Fm. Arapey ( 5-50 e Figura 5-51).

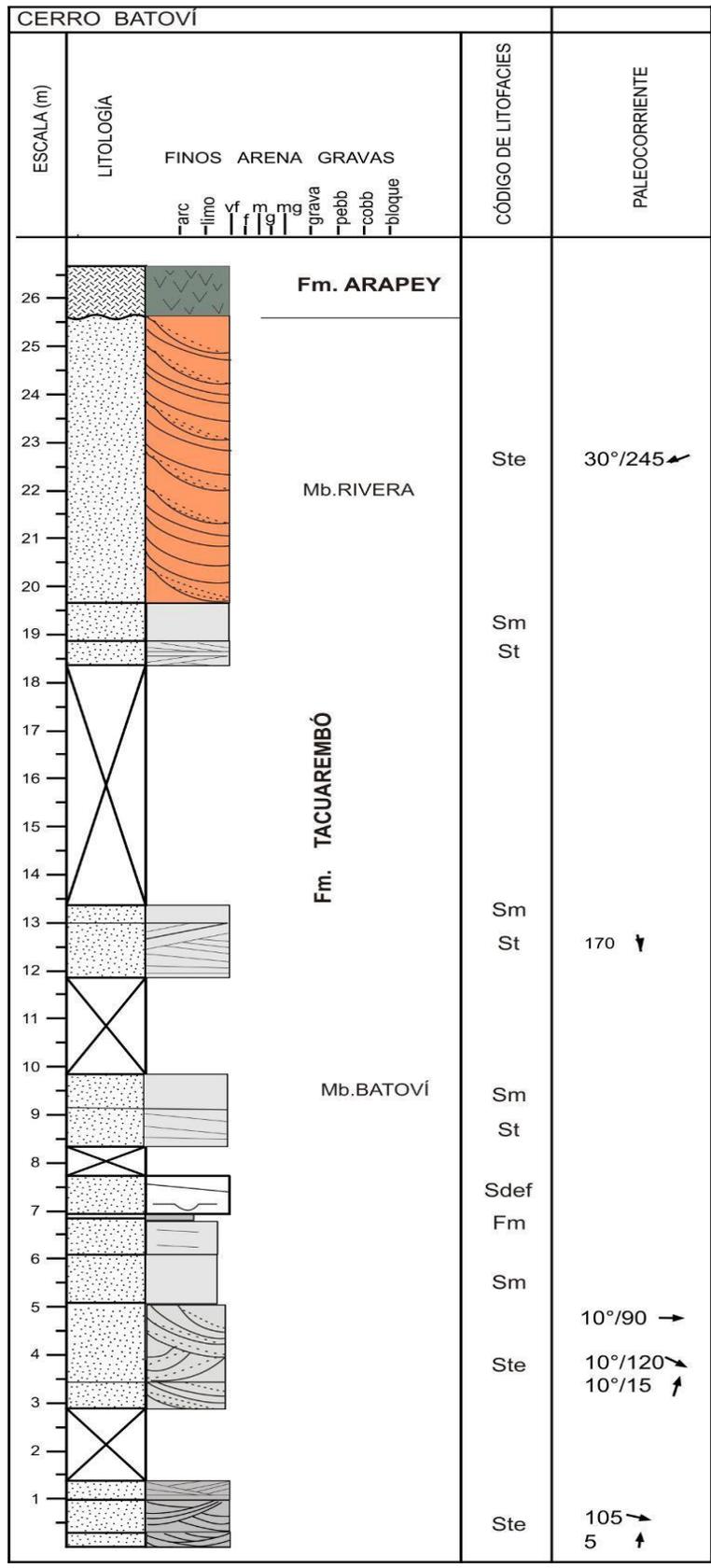


Figura 5-50: Perfil estratigráfico del cerro Batoví.

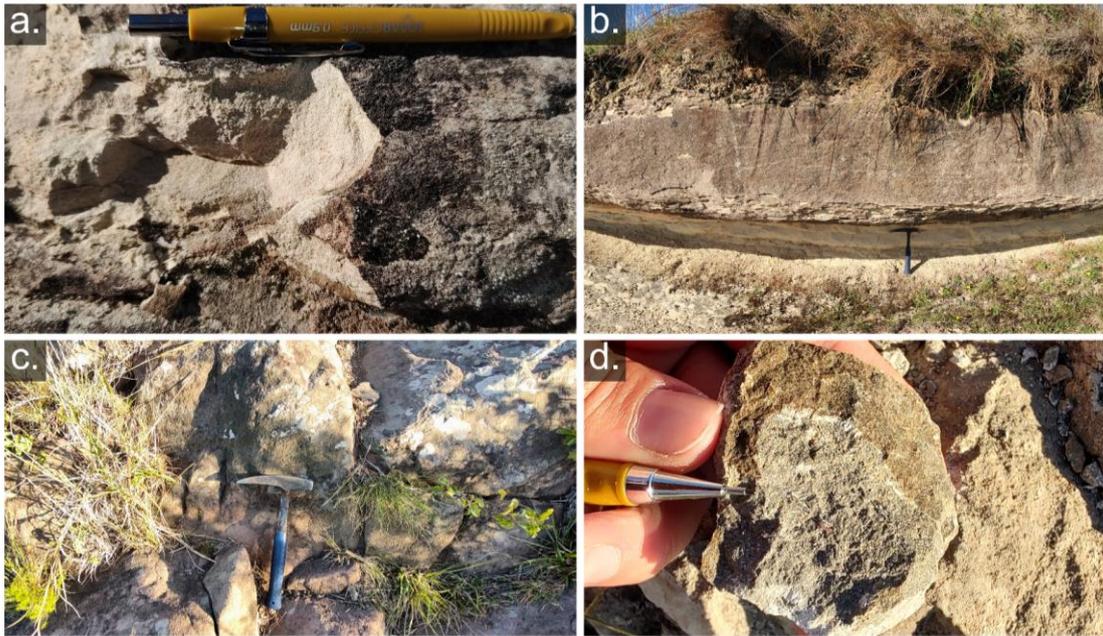


Figura 5-51: (a) arenisca beige muy fina a fina; (b) set de 1,5 m de arenisca beige con estructura masiva; (c) arenisca rojiza con estratificación cruzada y (d) basalto gris de grano fino aflorante en la cumbre del cerro.

#### N°14: Sitio de Geodiversidad Cerro Batoví Dorado

El camino que conduce a la entrada del campo en el que se encuentra el Cerro Batoví Dorado está ubicado al Noreste de la Ruta 27, próximo al km 19. Otro punto de referencia para la entrada es la Aduana de Batoví, que se encuentra a 300 m. Este sitio posee aproximadamente 1,6 ha de superficie y está ubicado en el medio de una región de forestación (Figura 5-52).



Figura 5-52: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Cerro Batoví Dorado.

El Cerro Batoví Dorado es un importante testigo de la sedimentación gondwánica que se preservó de la meteorización y de las acciones fluviales que modelaron el relieve de esta región durante el Terciario y Cuaternario. Está formado por areniscas rojizas finas a medias, subredondeadas y moderadamente seleccionadas y con estructuras de estratificación cruzada y gradación de grano interlaminar inversa, representativas de las facies fluvio-eólicas de la Fm. Tacuarembó.

La base del cerro está compuesta por bloques de areniscas beige, de tamaño métrico y de grano fino a medio, con forma subredondeada y moderadamente seleccionados. Estas areniscas presentan estructuras de estratificación cruzada y gradación de grano interlaminar inversa, que son representativas de las facies fluvio-eólicas del Mb. Batoví de la Fm. Tacuarembó. Esta base se encuentra cubierta por vegetación.

Por encima de esta base, se encuentran exposiciones de areniscas rojizas, con un espesor de 15 metros, que poseen un grano que va de fino a medio. Estas areniscas exhiben una estratificación cruzada de gran tamaño y son representativas de las facies eólicas del Mb. Rivera de la Fm. Tacuarembó. El contacto entre los miembros superior e inferior es nítido y concordante, siendo mencionado por De Santa Ana y Veroslavsky (2004, pp. 66).

Análisis de facies muestran el pasaje de facies fluviales perennes en la base, con direcciones de corriente N265, que alternan con facies eólicas (sábanas de arena) y que hacia el tope pasan facies fluviales efímeras, con algunas intercalaciones pelíticas y otras de origen eólicas (*dos Reis com pers*).

El cerro posee en su cumbre un mirador, que funciona como mangrullo del área forestada del entorno (Figura 5-53d).



Ilustración 5-53: (a) vista panorámica del Cerro Batoví Dorado, (b) y (c) areniscas rojizas con estratificación cruzada, (d) mirador en tope del cerro.

## N°15: Sitio de Geodiversidad Piedra Pintada

Este sitio se ubica a unos 17 km al Sureste de la ciudad de Artigas y a unos 8 km de distancia de la Ruta 30, en el Parque Congreso de Abril. Para acceder a esta zona, existen dos caminos vecinales que parten de los kms 139 y 144 de la Ruta 30 (Figura 5-54).

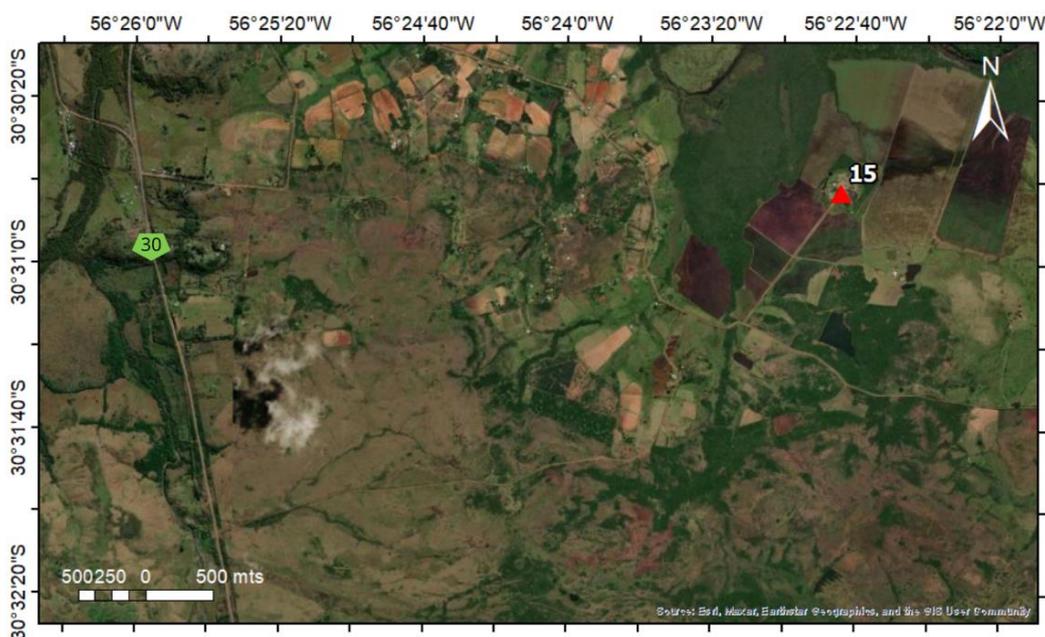


Figura 5-54: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Piedra.

La Piedra Pintada es una torre de areniscas pertenecientes a la Fm. Tacuarembó en medio de un área de basaltos de la Fm. Arapey. Es uno de los símbolos de Artigas y ha sido mencionada en varias obras que explican la evolución del paisaje de esta región (ej. Alegre, 1970).

Es una formación de 15 m de altura y 76 m de circunferencia de arenisca de coloración beige rojiza, compuesta por granos tamaño arena fina a media (0.3 mm - 0,5 mm), granos subredondeados de cuarzo y feldespato, con estratificación cruzada con dirección de paleocorriente hacia el Oeste, con láminas finas (3 mm - 5 mm) con gradación inversa (Figura 5-55 e Figura 5-56).

La geoforma Piedra Pintada se encuentra dentro del Parque Congreso de Abril, inaugurado en 1982, un parque que cuenta con infraestructura de camping, cantina, piscinas, baños y parrillas para recibir a los visitantes. Se cobra una tarifa de entrada para ingresar al parque. El parque cuenta con una reserva de fauna y flora de 12 há de especies autóctonas de Uruguay. También se llevan a cabo actividades educativas, como la exhibición de trabajos de estudiantes de educación primaria, en este lugar.

Una de las características de este afloramiento es que presenta grabados realizados por los visitantes, a pesar de que los carteles informan que está prohibido subirse a la piedra. Entre todos los grabados, destaca uno que data del año 1883 con el nombre de L. Villar, el cual ha sido autenticado como genuino y antiguo por expertos en la materia (sitio web Intendencia Departamental de Artigas, 2022).



Figura 5-55: (a) vistas panorámicas de la Piedra Pintada; (b) detalle de las estratificaciones cruzadas de gran escala y de las excavaciones hechas por los visitantes; (c) set de areniscas finas beige y rojizas con estratificación cruzada; (d) detalle de la laminación y (e) detalle de gradación inversa intralámina.

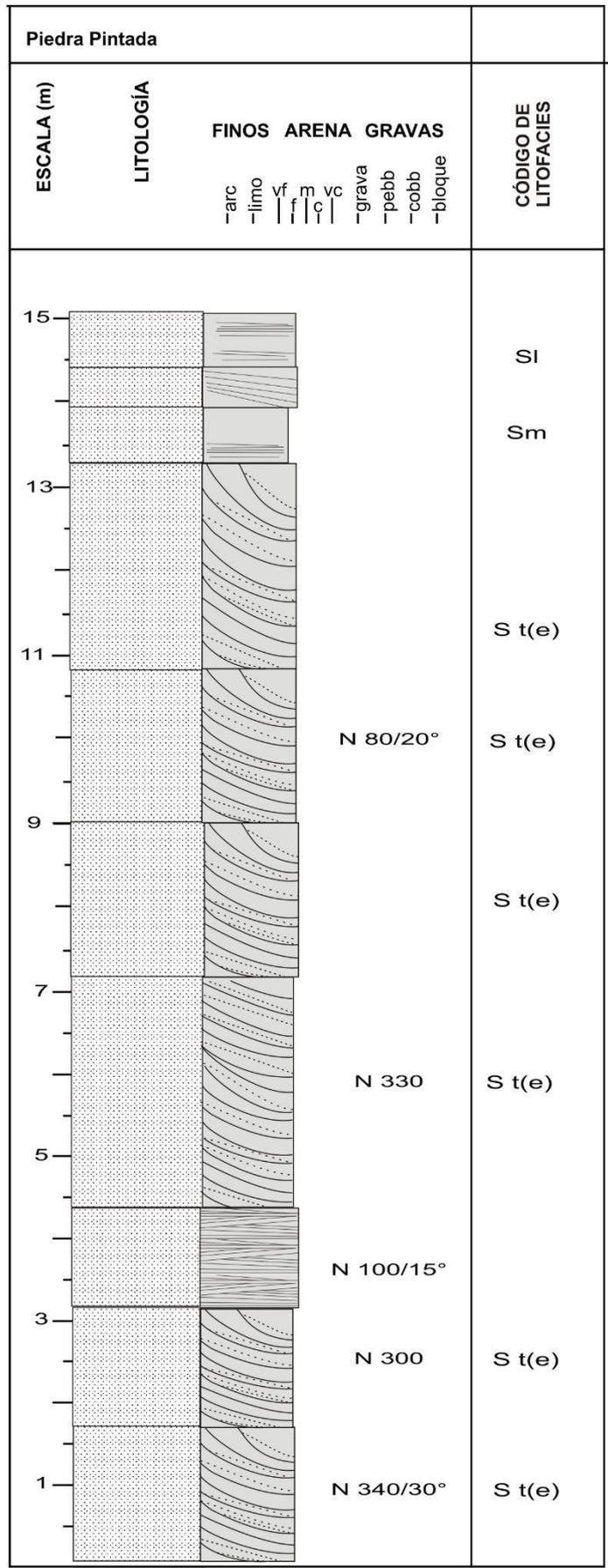


Figura 5-56: Perfil estratigráfico del sitio de geodiversidad Piedra Pintada.

## N°16: Sitio de Geodiversidad Las Marmitas

Próximo al Valle Edén (Ruta 26), se encuentran las facies fluvio-eólicas del Miembro Batoví en el sitio denominado Las Marmitas. El acceso a este sitio es por camino vecinal y se encuentra a 6 kms de la estación del Ferrocarril (Figura 5-57).

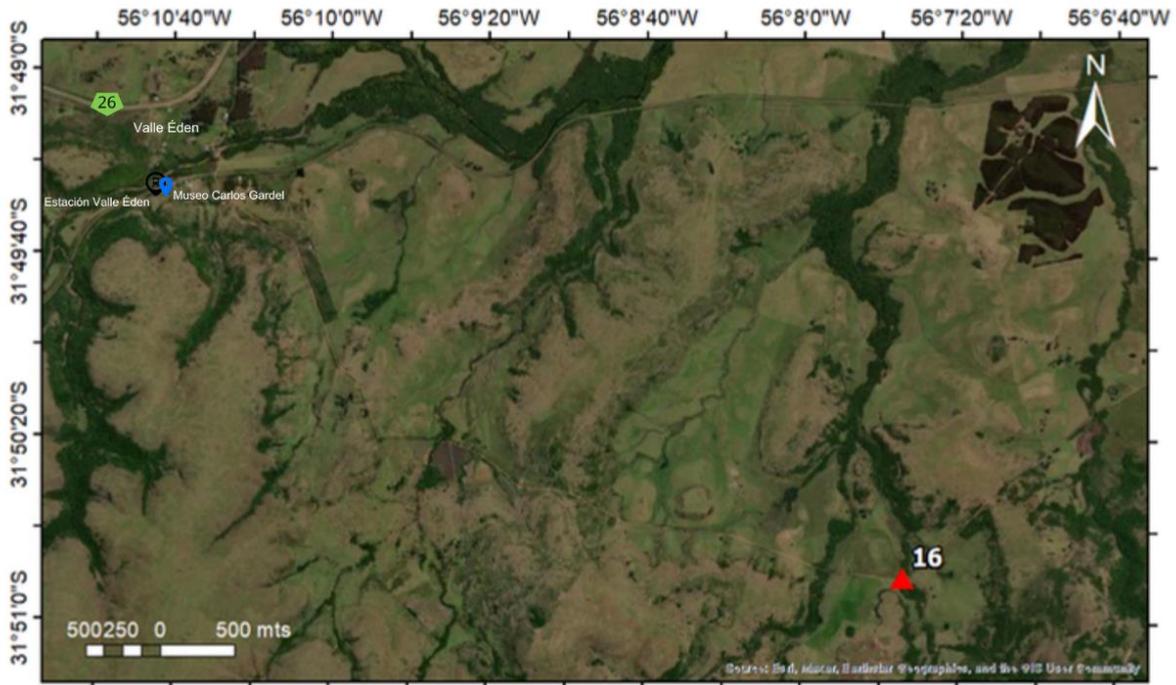


Figura 5-57: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Las Marmitas.

Se trata de un afloramiento de aproximadamente 70 m de largo de por 20 de ancho en la Cañada del Sauce (Arroyo Tambores), en que se exponen areniscas finas beige-blanquecinas con estratificación plano-paralela horizontal y cruzada, en las que se observa láminas con gradación inversa, típica de la acción eólica, pertenecientes a la Fm. Tacuarembó (Mb Batoví). Los granos de arena son de granulometría muy fina y presentan buena selección. El mineral dominante es cuarzo, y feldespato en menor abundancia. La acción erosiva fluvial formó las estructuras semi cilíndricas de "marmita" o también denominados "pilancones" de distintas dimensiones (Figura 5-58 e Figura 5-59).

“Las marmitas”, también conocidas como “Marmitas de Gigante” son cavidades erosivas en los cauces de los ríos que se generan por la acción de las corrientes fluviales. Estas cavidades de forma más o menos esférica se generan cuando uno o varios fragmentos de roca quedan atrapados en algún hueco del lecho. Gracias a la acción giratoria que produce la corriente del agua, los fragmentos golpean contra los bordes del hueco y van redondeando y haciendo más profunda la cavidad. Los fragmentos deben tener una dureza parecida o mayor que la de la roca en la que se genera la cavidad, por lo que

generalmente se trata de fragmentos erosionados de la propia roca” (explicación en cartel informativo del sitio - Figura 5-58a).



Figura 5-58: (a) Panel informativo y breve explicación sobre cómo las estructuras de “marmita” o pilancones se generan; (b) aspecto general del afloramiento con las geoformas métricas de “marmitas”; (c) detalle de la laminación cruzada con gradación intralaminar inversa (*grain flows*) dominante en el sitio de geodiversidad; y (d) detalle de un pilancón de unos 20 cm que representa una fase inicial de la excavación de las grandes “marmitas”.

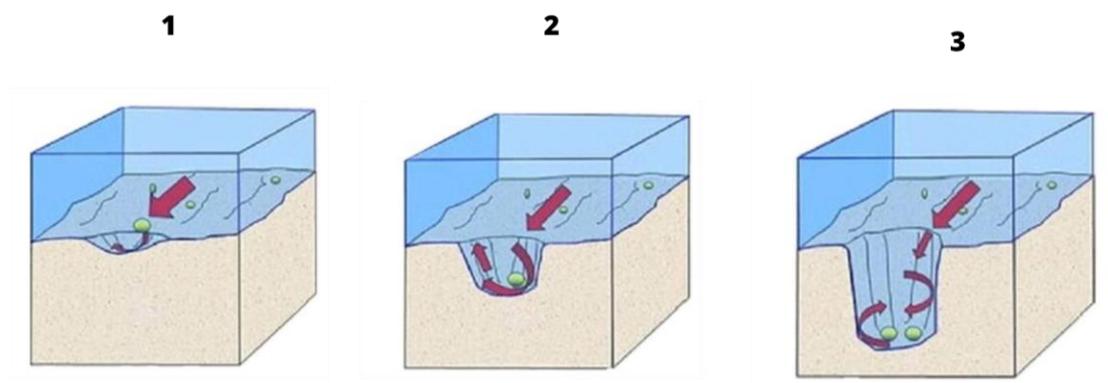


Figura 5-59: (1) El agua crea pequeños remolinos que abren espacios en el fondo areniscosas del arroyo; (2) Fragmentos de roca entran en el espacio formado y circulan por él con el agua; (3) Los fragmentos erosionan las paredes del fondo y crean las "marmitas" (referencia digital 3).

## N°17: Sitio de Geodiversidad Pozo Hondo

Este sitio de geodiversidad se encuentra ubicado entre el Valle Edén y la localidad de Tambores. El acceso es por el camino que pasa por el sitio de geodiversidad Mirador del Valle Edén en dirección a Tambores, a unos 3 km de distancia del mirador. Al Pozo Hondo se accede a pie desde ese camino, luego de unos 700 m en un sendero sin marcación, siendo recomendable visitarlo con guías locales.

El Pozo Hondo es un salto de agua que cae desde 15 m de altura donde confluyen las numerosas corrientes de agua en la zona originando el Arroyo Jabonería. Este arroyo se encuentra en la Cuchilla de Haedo, que forma parte de las Quebradas del Norte. En este sitio se exponen en el cauce y en paredones basaltos finos grises, masivos, con fracturación muy irregular, tanto en espaciado como orientación, pertenecientes a la Fm. Arapey. La misma litología puede ser observada en planta, donde es posible observar distintas estructuras de flujo (Figura 5-61).

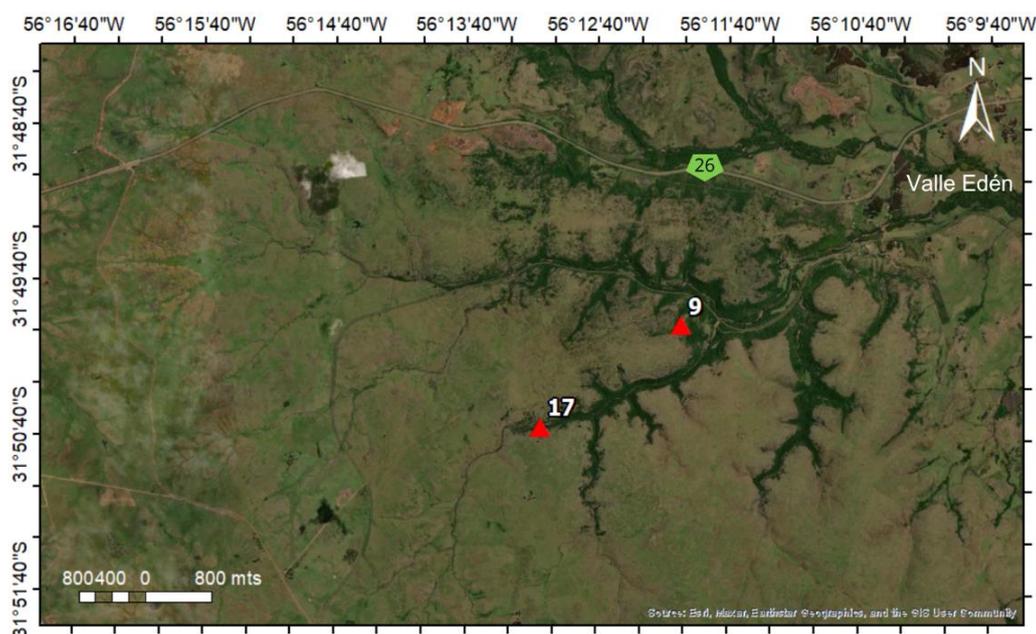


Figura 5-60: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Pozo Hondo (N°17). Se observa su proximidad al sitio de geodiversidad Mirador del Valle Edén (N°9).

El Pozo Hondo se ha convertido en una popular atracción turística en la región, donde los visitantes pueden apreciar grandes volúmenes de basaltos que están relacionados con la apertura del océano Atlántico. Además, en este lugar se pueden observar las geoformas únicas creadas por los cursos de agua a lo largo del tiempo. No obstante, no posee ningún cartel informativo.



Figura 5-61: (a) cañada que alimenta el Arroyo Jabonería; (b) panorámica del Pozo Hondo y vista panorámica del valle profundo en forma de escarpa; (c) panorámica de otro ángulo del Pozo Hondo; (d) estructuras de flujo; y (e) basalto gris masivo con fracturación muy irregular, tanto en espaciado como orientación.

### N°18: Sitio de Geodiversidad Cueva del Indio

Este sitio de geodiversidad se encuentra en el Área Protegida Valle del Lunarejo, y se accede a través de la Ruta 30 en el km 231,5 siendo una de las tantas atracciones turísticas del área, cuya emprendedora es la propietaria del campo. La entrada al sendero de la Cueva del Indio se encuentra en una estancia privada, a 7 km del Centro de Visitantes del Parque Nacional Valle del Lunarejo al Norte (Figura 5-62).

El sendero se encuentra en la quebrada del Arroyo Rubio Chico, donde es posible observar paredones de aproximadamente 10 metros de altura compuestos por basaltos vesiculares pertenecientes a la Formación Arapey. Estos basaltos se exponen a lo largo de 50 m en el sendero hasta llegar a la Cueva del Indio (Figura 5-63b). En la base de la cueva se pueden observar exposiciones de aproximadamente 1 metro de espesor de

areniscas finas de color rojizo con estratificación cruzada, pertenecientes a la Formación Tacuarembó (Figura 5-63c), las cuales se interdigitan con basaltos vesiculares de un nivel brechoide de la Formación Arapey (Figura 5-63d).

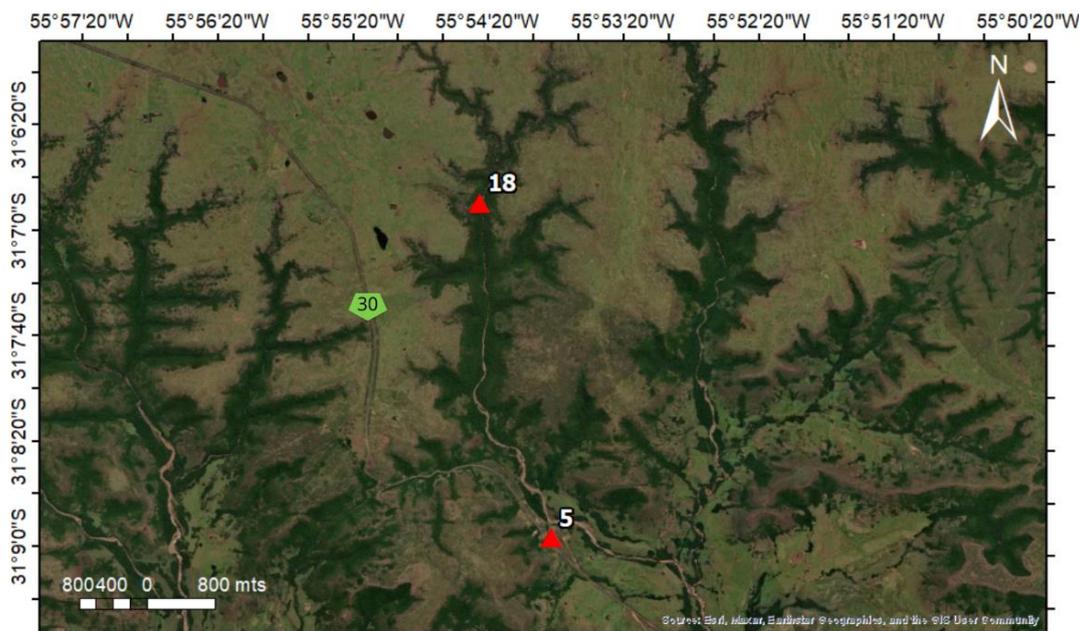


Figura 5-62: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Cueva del Indio (N°18). Se observa su proximidad al geosito Subida de Pena (N°5).

El nivel brechoide se expone por aproximadamente 5 m y presenta una matriz rojiza muy fina, con vesículas vacías o llenas de material silíceo. Por encima de este nivel brechoide, se expone una capa de 50 cm de espesor de areniscas, seguida por 3,5 m de basalto lajoso y finalmente 4 m de basalto gris masivo (Figura 5-64).

La región abarca las quebradas de la escarpa basáltica, por donde transcurre parte del curso de agua del Arroyo Rubio Chico (Figura 5 63e). En este entorno, se destacan afloramientos de basaltos gris masivo con intercalaciones de arenisca *intertap* (Figura 5 63f), así como impresionantes paredones de basalto que alcanzan alturas superiores a los 15 metros.

Como fue mencionado, en este sitio existe un emprendimiento turístico que consiste en el senderismo hacia la cueva, a cargo de la propietaria del establecimiento, la que conduce personalmente a los turistas por un recorrido con un sendero marcado, el que posee algunas medidas para la prevención de accidentes, y en el cual existen algunos carteles informativos sobre la flora presente.

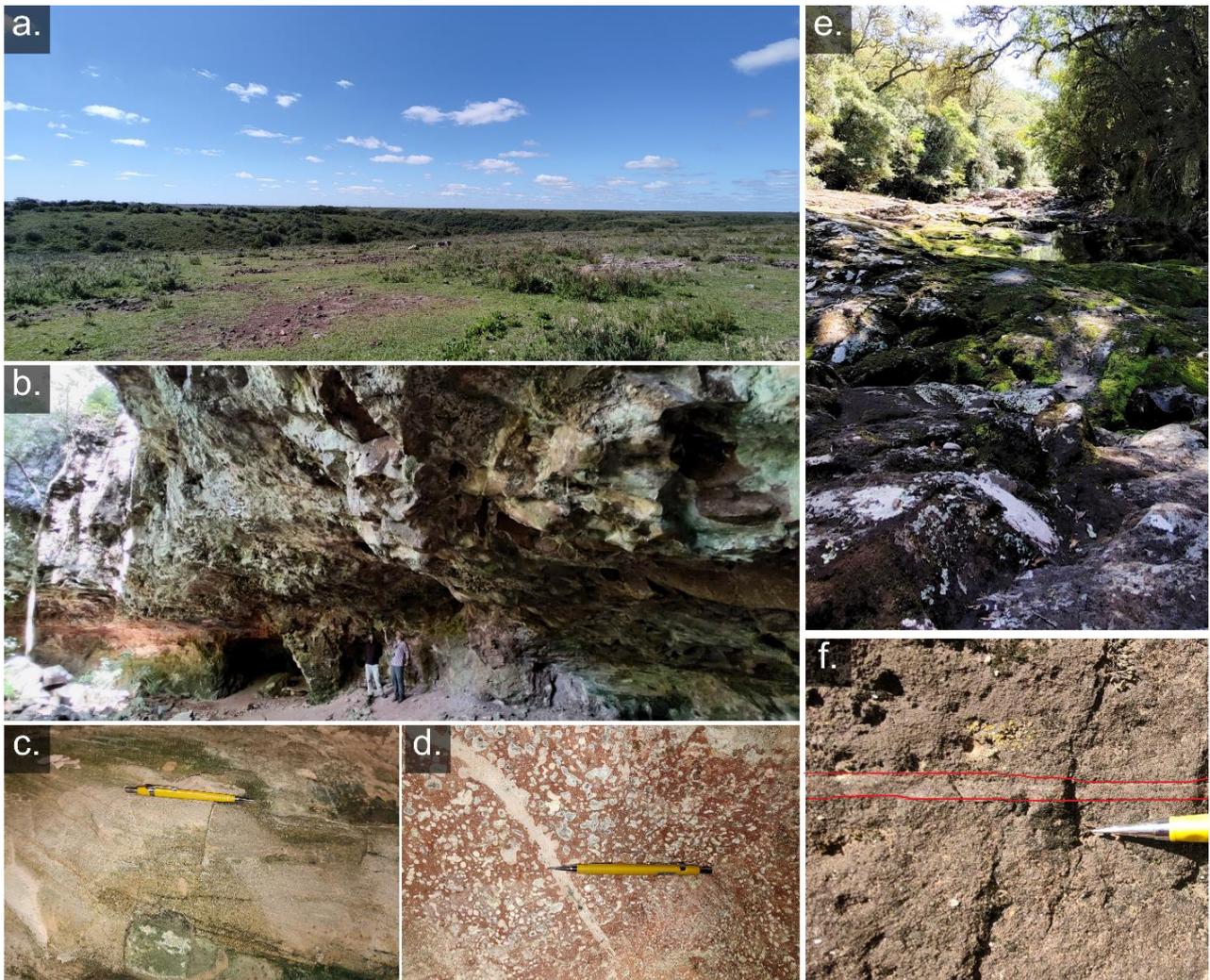


Figura 5-63: (a) Vista de cima de la quebrada del Arroyo Rubio Chico; (b) vista panorámica de la Cueva del Indio; (c) areniscas de la Fm. Tacuarembó en la base del afloramiento de la Cueva del Indio; (d) arenisca interdigitada con el basalto vesicular de la Fm Arapey, (e) afloramiento de basalto masivo gris, en el lecho del A° Rubio Chico y detalle de dique clástico.



Figura 5-64: Perfil esquemático de las litologías aflorantes en el sitio de geodiversidad Cueva del Indio.

## N°19: Sitio de Geodiversidad Cerro del Apretado

Este sitio se encuentra ubicado sobre la Ruta 30, en el km 243. Está a una distancia de 6.2 km al Oeste del geosito Subida de Pena. En un entorno que presenta un aspecto serrano de areniscas y basalto, donde los cerros muestran un conjunto de promontorios alargados (Figura 5-65).



Figura 5-65: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad Cerro del Apretado (N°19). Se observa su proximidad al geosito Subida de pena (N°5), que dista 6,2 kms.

Se trata de un cerro que en su cumbre tiene una cantera en la que se explotó material granular para su empleo en caminería. En el cerro se exponen en la base areniscas rojizas con estratificación cruzada eólicas del Mb. Rivera (Fm Tacuarembó), a las que se yuxtaponen basaltos vacuolares. Por otro lado, el Cerro del Apretado se caracteriza por ser un conjunto de cerros que presentan una altura aproximada de 150 m. Estos cerros están compuestos en su cumbre por basaltos grises masivos pertenecientes a la Formación Arapey (Figura 5-66) y hacen parte del conjunto de colinas y lomadas de la cuesta basáltica.

Además, el sitio se encuentra en el límite de dos cuencas de nivel tres: la cuenca del Río Tacuarembó entre el Arroyo Valiente y el Arroyo Lunarejo, y la cuenca del Río Tacuarembó entre el Arroyo Lunarejo y el Arroyo Laureles.

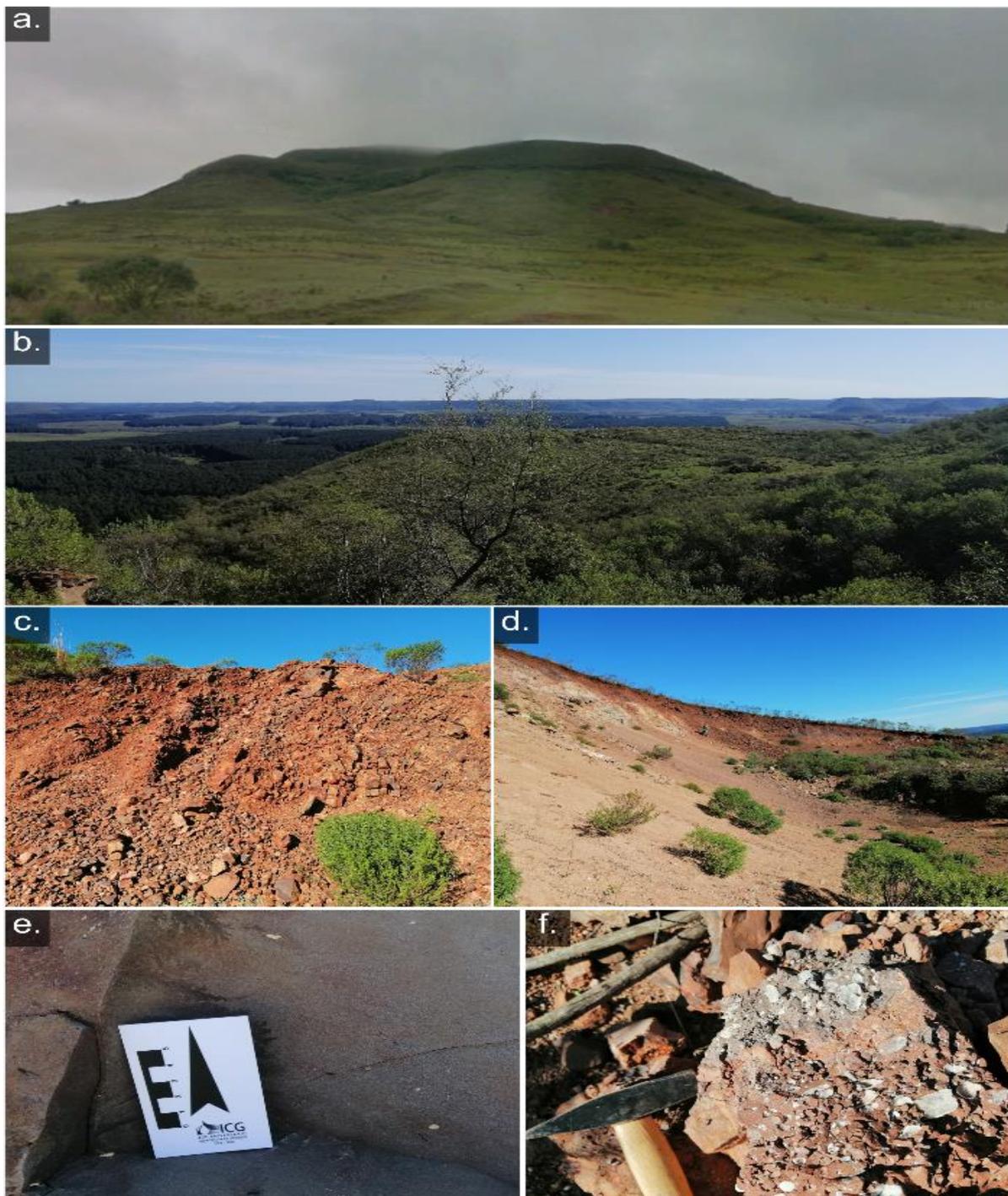


Figura 5-66: (a) Vista del Cerro del Apretado desde la Ruta N° 30 (Imagen obtenida en *Google Earth pro*); (b) vista desde la cima del Cerro del Apretado; (c) basalto masivo fracturado; (d) vista de la cantera de extracción de material para la caminería, según detalle del basalto y (f) detalle del basalto vacuolar.

## 5.2.6 Sistema Acuífero Guaraní

### N°20: Sitio de Geodiversidad La Bica

Se decidió incluir a este sitio por la importancia geológica (hidrogeológica), económica y social (la ciudad de Rivera se abastece completamente de agua potable de este sistema), así por su importancia para la conservación. Se trata de una descarga natural del sistema

acuífero en el área del proyecto de Geoparque. Se consideró oportuno luego de analizar distintas alternativas de otros sitios, proponer a la Bica como un sitio de geodiversidad, siendo ésta una vertiente natural del sistema acuífero, que además tiene una designación patrimonial por parte del Ministerio de Educación y Cultura. Este sitio se encuentra en el centro de la ciudad de Rivera, próximo al límite entre Uruguay y Brasil, localizado en la calle Uruguay esquina Ceballos.



Figura 5-67: Mapa de ubicación del sitio de geodiversidad la Bica.

Allí, a través de un manantial (“bica”) se expresa hidráulicamente el contacto de las areniscas eólicas de la Fm. Rivera con los basaltos de la Fm. Arapey. Actualmente, esta vertiente está canalizada y forma parte de la estructura de un edificio que lleva el mismo nombre que el sitio. Históricamente, desde los albores del siglo XIX, se mencionaba la fama de La Bica, que consistía en un chorro de agua cristalina que emergía de las rocas en la ladera de un cerro. Lo notable de este chorro era que su fuerza no disminuía ni se secaba, incluso en períodos de sequía. La forma del chorro dibujaba en el aire una curva similar al pico de un ave, de ahí su nombre (sitio web Recuerdos de nuestro pasado, 2016)

Los primeros habitantes de la región se sentían atraídos por el agua limpia y la belleza natural de La Bica. Con el tiempo, los habitantes de Santana do Livramento, fundada en 1857, y de Villa Ceballos (posteriormente llamada Rivera), comenzaron a abastecerse de agua potable proveniente de esta vertiente. Según relatos antiguos, personalidades como Fructuoso Rivera, Bento Gonzalez, Brigadero Canabarro y Aparicio Saravia pasaron por

La Bica (id.). En 1981, mediante un decreto del Poder Ejecutivo, La Bica fue declarada “patrimonio histórico” (Ley 14.040 – Resolución N° 2163/981). En 1997, se aprobó el proyecto de construcción del Edificio La Bica, que incluye la canalización de la vertiente de agua (id.). Actualmente, el sitio se encuentra protegido por los propietarios del edificio, donde tiene en planta baja un lugar de destaque y es visitable por el público dentro de ciertos horarios (Figura 5-68).

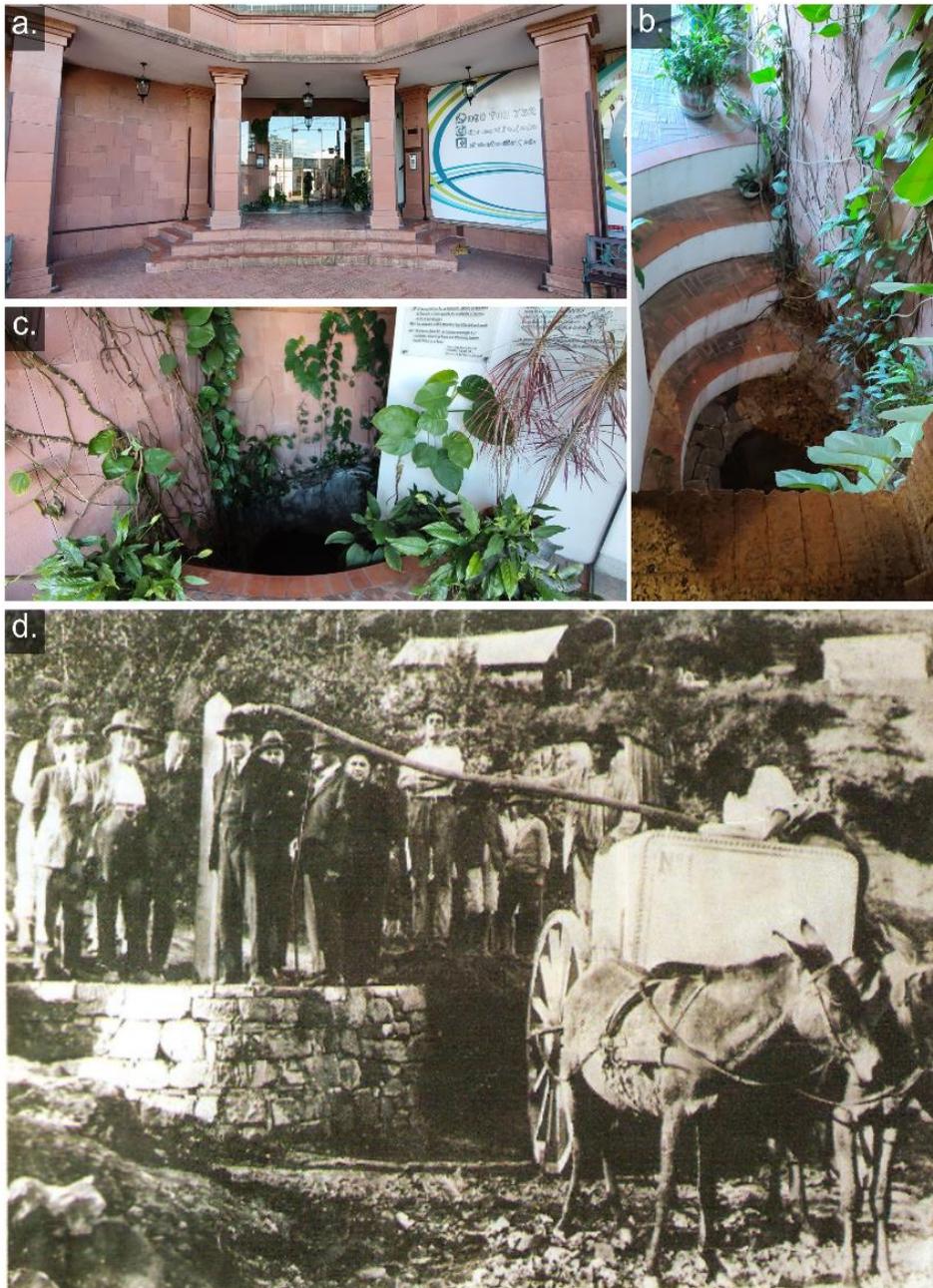


Figura 5-68: (a) Foto del Edificio La Bica, el vidrio guarda la vertiente de agua; (b) detalle del pozo en el cual la vertiente de agua cae y (c) vista de la estructura construida para proteger la vertiente de agua; d) vista histórica de la Bica (imagen obtenida en el sitio web Recuerdos de nuestro pasado, 2016).

### 5.3 Evaluación cuantitativa

La evaluación cuantitativa pretende disminuir la subjetividad asociada a cualquier proceso de evaluación calculando el valor (científico, educativo y/o turístico) y el riesgo de degradación de cada lugar. No obstante, los resultados cuantitativos fueron discutidos para validar la calidad de los datos numéricos obtenidos en la evaluación y para identificar posibles clasificaciones inválidas.

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación cuantitativa del valor científico, el potencial uso educativo, el potencial uso turístico y el riesgo de degradación de los lugares seleccionados. Estos resultados se presentan para cada uno de los criterios de evaluación en tablas con los resultados ordenados por orden decreciente.

#### 5.3.1 Valor científico

En esta evaluación se consideraron los seis geositos identificados en el territorio destinado al proyecto GMB. Los resultados de la suma ponderada se exponen en la Tabla 5-3 en orden decreciente. Los puntajes asignados para cada criterio evaluativo se encuentran en el Anexo B.

Tabla 5-3: Valor Científico de los geositos evaluados ordenados por orden decreciente. Los números representan la suma ponderada de los criterios evaluados.

RANKING	NOMBRE DEL GEOSITIO	ID	VALOR CIENTÍFICO
1	Mina Oliveira Minerals	7	380
2	La Estiba del Río Cuareim	11	320
3	Huellas de dinosaurio de Cuchilla del Ombú	3	310
4	Yacimiento paleontológico Martinote	2	270
5	Subida de Pena	5	210
6	Paleodunas de Cuchilla del Ombú	4	205

#### 5.3.2 Potencial uso educativo y turístico

Es importante destacar que se realizó una evaluación cuantitativa del potencial uso educativo y del potencial uso turístico para todos los sitios de geodiversidad y geositos,

ya que muchos de ellos comparten un interés tanto turístico como educativo. Esta evaluación proporcionará una base sólida para determinar el potencial de cada sitio en términos de su utilidad como recurso educativo y su atractivo para los visitantes turísticos. Al considerar ambos aspectos, se pueden identificar los sitios que ofrecen oportunidades significativas tanto para la educación como para el turismo.

Los resultados de la suma ponderada de los criterios de la evaluación cuantitativa del potencial uso educativo (PUE) se presentan en orden descendente en la Tabla 5-4.

Tabla 5-4: Lista de los geositios y sitios de geodiversidad inventariados con sus respectivos resultados de la suma ponderada para el potencial uso educativo ordenados por orden decreciente.

<b>RANKING</b>	<b>NOMBRE DEL SÍTIO</b>	<b>ID</b>	<b>POTENCIAL USO EDUCATIVO</b>
1	Bocamina Ernestinita	1	355
2	Cerro Miriñaque	12	335
3	Huellas de dinosaurio de Cuchilla del Ombú	3	330
4	Cueva del Indio	18	325
5	La Bica	20	325
6	Cerro Batoví	13	315
7	Piedra Pintada	15	310
8	Mirador del Valle Edén	9	285
9	Mina Oliveira Minerals	7	280
10	Parque Gran Bretaña	10	275
11	Subida de Pena	5	265
12	Establecimiento Bichadero	8	265
13	Las Marmitas	16	250
14	Cerro Batoví Dorado	14	240
15	Paleodunas de Cuchilla del Ombú	4	230
16	Pozo Hondo	17	220
17	Cerro del Apretado	19	220
18	Pilares de Klinger	6	220
19	La Estiba del Río Cuareim	11	205
20	Yacimiento paleontológico Martinote	2	195

Los resultados de la suma ponderada de los criterios de la evaluación cuantitativa del potencial uso turístico (PUT) se presentan en orden descendente en la Tabla 5-5.

Tabla 5-5: Lista de los geositos y sitios de geodiversidad inventariados con sus respectivos resultados de la suma ponderada para el potencial uso turístico ordenados por orden decreciente.

<b>RANKING</b>	<b>NOMBRE DEL SÍTIO</b>	<b>ID</b>	<b>POTENCIAL USO TURÍSTICO</b>
1	Bocamina Ernestinita	1	330
2	Mina Oliveira Minerals	7	310
3	La Bica	20	305
4	Huellas de dinosaurio de Cuchilla del Ombú	3	300
5	Cerro Miriñaque	12	295
6	Parque Gran Bretaña	10	290
7	Mirador del Valle Edén	9	285
8	Cueva del Indio	18	280
9	Piedra Pintada	15	275
10	Las Marmitas	16	270
11	Subida de Pena	5	260
12	Establecimiento Bichadero	8	250
13	Cerro Batoví	13	245
14	Cerro Batoví Dorado	14	240
15	Pozo Hondo	17	235
16	Paleodunas de Cuchilla del Ombú	4	210
17	Pilares de Klinger	6	210
18	Cerro del Apretado	19	205
19	La Estiba del Río Cuareim	11	185
20	Yacimiento paleontológico Martinote	2	175

### 5.3.3 Riesgo de degradación (RD)

Todos los geositos y sitios de geodiversidad fueron evaluados en cuanto a su riesgo de degradación. Los resultados de la suma ponderada de los criterios de esta evaluación se presentan en orden descendente en la Tabla 5-6.

Tabla 5-6: Lista de los geositos y sitios de geodiversidad inventariados con sus respectivos resultados de la suma ponderada para el riesgo de degradación ordenados por orden decreciente.

<b>RANKING</b>	<b>NOMBRE DEL SITIO</b>	<b>ID</b>	<b>RIESGO DE DEGRADACIÓN</b>
1	Localidad fosilífera Martinote	2	295
2	La Estiba del Río Cuareim	11	290
3	Huellas de dinosaurio de Cuchilla del Ombú	3	255
4	Cerro del Apretado	19	245
5	Paleodunas de Cuchilla del Ombú	4	200
6	Subida de Pena	5	200
7	Mina Oliveira Minerals	7	195
8	Bocamina Ernestinita	1	190
9	Pilares de Klinger	6	185
10	Cerro Batoví	13	180
11	Mirador del Valle Edén	9	175
12	Cerro Batoví Dorado	14	175
13	Piedra Pintada	15	175
14	Las Marmitas	16	175
15	Cerro Miriñaque	12	170
16	Parque Gran Bretaña	10	165
17	La Bica	20	165
18	Pozo Hondo	17	160
19	Establecimiento Bichadero	8	155
20	Cueva del Indio	18	115

### 5.3.4 Clasificación

Los resultados de la clasificación según su relevancia y riesgo de degradación se resumen en la Tabla 5-7.

El puntaje utilizado para clasificar los sitios de geodiversidad se calcula en función de su valor. Si el sitio presenta un valor educativo, se utiliza el PUE para la clasificación; si tiene un valor turístico, se utiliza el PUT. Para aquellos sitios con un valor tanto turístico como educativo, se utiliza la media aritmética de los valores de PUE y PUT obtenidos en la evaluación cuantitativa. En el caso de los geositios, el puntaje utilizado es el obtenido en la evaluación del VC.

Tabla 5-7: Lista de los geositios y sitios de geodiversidad inventariados con sus respectivos resultados de la clasificación en cuanto a su relevancia, riesgo de degradación y clasificación adicional.

ID	SÍTIO	VALOR	PUNTAJE USADA PARA LA CLASIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN	RIESGO DE DEGRADACIÓN	CLASIFICACIÓN ADICIONAL
1	Bocamina Ernestinita	Turístico / Educativo	342,5	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Bajo	-
2	Localidad fosilífera Martinote	Científico	270	Geositio de Relevancia Nacional	Moderado	PUE e PUT de Relevancia Local/regional
3	Huellas de dinosaurio de Cuchilla del Ombú	Científico	310	Geositio de Relevancia Internacional	Moderado	PUE e PUT de Relevancia Nacional -
4	Paleodunas de Cuchilla del Ombú	Educativo / Científico	205	Geositio de Relevancia Nacional	Bajo	PUE e PUT de Relevancia Nacional
5	Subida de Pena	Turístico / Educativo	210	Geositio de Relevancia Nacional	Bajo	PUE e PUT de Relevancia Nacional -
6	Pilares de Klinger	Turístico	210	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Bajo	

7	Mina Oliveira Minerals	Científico	380	Geositio de Relevancia Internacional	Bajo	PUE e PUT de Relevancia Nacional -
8	Establecimiento Bichadero	Turístico / Educativo	257,5	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Bajo	-
9	Mirador del Valle Edén	Turístico	285	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Bajo	
10	Parque Gran Bretaña	Turístico	290	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Bajo	
11	La Estiba del Rio Cuareim	Científico	320	Geositio de Relevancia Internacional	Moderado	PUE e PUT de Relevancia Local/regional
12	Cerro Miriñaque	Turístico	295	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Bajo	
13	Cerro Batoví	Turístico / Educativo	280	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Bajo	-
14	Cerro Batoví Dorado	Turístico / Educativo	240	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Bajo	-
15	Piedra Pintada	Turístico / Educativo	292,5	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Bajo	-
16	Las Marmitas	Turístico / Educativo	260	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Bajo	-
17	Pozo Hondo	Turístico	235	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Bajo	
18	Cueva del Indio	Turístico	280	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Bajo	
19	Cerro del Apretado	Educativo	220	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Moderado	
20	La Bica	Turístico / Educativo	315	Sitio de Geodiversidad Relevancia Nacional	Bajo	-

## **6 DISCUSIONES**

### **6.1 Análisis crítico de la evaluación cuantitativa**

En el Anexo B se encuentran las tablas que muestran los puntajes asignados a cada criterio e indicador para la evaluación de los geositos. También se detallan los valores de cada criterio con su peso correspondiente y se muestra el resultado de la suma ponderada para cada geosito.

#### **6.1.1 Valor científico**

El geosito de la Mina Oliveira Minerals (Nº7) ha obtenido la puntuación más alta en términos de valor científico, con un puntaje de 380 (ver Tabla 5.3). Esta alta puntuación se debe a que se encuentra ubicado en el Distrito Gemológico Los Catalanes, circunstancia que ha sido reconocida internacionalmente por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS-UNESCO) estando incluido en su lista de los 100 Sitios de Patrimonio Geológico del Mundo. La naturaleza mineralógica, el tamaño de las megageodas le otorgan al geosito la máxima puntuación en el criterio “B – Localidad Clave”. Además, la Mina Oliveira Minerals ha sido objeto de varios estudios por parte de investigadores nacionales e internacionales, lo que también le proporciona un puntaje elevado en el criterio “C – Conocimiento Científico”. Por lo tanto, la abundancia de investigaciones, conocimientos acumulados y estudios en desarrollo (dos tesis actualmente en Alemania) sobre este geosito resaltan su relevancia y valor científico. Es relevante destacar que este geosito ha sido clasificado como Geosito de Relevancia Internacional (VC > 300) (Tabla 5.7), lo que confirma su relevancia dentro de la región del Norte de Uruguay y lo coloca en un nivel de importancia mundial.

El segundo geosito con la puntuación más alta es La Estiba del Río Cuareim (Nº11), con un puntaje de 320, seguido por las Huellas de dinosaurios de Cuchilla del Ombú (Nº3), con un puntaje de 310 (Tabla 5.3). Ambos geositos obtuvieron puntuaciones muy similares, pero hay ciertas diferencias que los distinguen. En primer lugar, La Estiba del Río Cuareim se encuentra en un estado de conservación mejor en comparación con las huellas de dinosaurios. Esto significa que presenta menos riesgos de deterioro y requiere menos medidas de protección y conservación, si bien se encuentra sujeto a la dinámica fluvial, con las probabilidades de erosión continua luego de las crecidas del río. Esta condición algo más favorable contribuye a su mayor puntuación en la cuantificación del VC. Tanto La Estiba del Río Cuareim como las Huellas de Dinosaurios de Cuchilla del Ombú han sido objeto de publicaciones en revistas internacionales, lo que justifica su

relevancia científica y el interés que han despertado entre la comunidad científica a nivel internacional, por lo que también justifica un puntaje máximo en el criterio “C – Conocimiento Científico”, y los clasifica como geositos de relevancia internacional (VC > 300). Esas publicaciones contribuyen a la acumulación de conocimientos y al reconocimiento de estos geositos como sitios de importancia científica (ver referencias en la descripción del geosito en el Capítulo 5 o en la Ficha de Descripción – Anexo A).

En cuarto lugar, se encuentra el geosito Localidad fosilífera Martinote (Nº2), con un puntaje de 270 (Tabla 5-3). Martinote se destaca por su contenido fosilífero, donde se han encontrado importantes registros fosilíferos de la Formación Tacuarembó. Estos hallazgos han sido publicados en revistas internacionales, lo que respalda su relevancia científica y su puntuación en el criterio “C – Conocimiento Científico”. Sin embargo, en el análisis final el mismo se clasifica como geosito de relevancia nacional (VC entre 200 y 300).

En la secuencia se encuentra el Geosito Bajada de Peña, que es el único representante en la categoría temática de Unidades Geomorfológicas y Formas de Relieve. Este sitio es ampliamente utilizado por la comunidad científica nacional para llevar a cabo estudios relacionados con la Formación Tacuarembó. Los elementos clave de su geodiversidad se encuentran notablemente bien conservados, y no existen restricciones significativas en cuanto a su acceso y uso. Además, el Geosito Bajada de Peña ha sido declarado Monumento Histórico Cultural y se encuentra ubicado dentro del área protegida Valle del Lunarejo, lo que contribuye a su preservación y promoción.

En cambio, las Paleodunas de Cuchilla del Ombú (Nº4) obtienen la puntuación más baja, de 205, debido a que las publicaciones sobre este geosito son de carácter nacional y no internacional. Además, este geosito tiene menos elementos de geodiversidad en comparación con los otros geositos pertenecientes a la categoría temática Cuencas Gondwánicas. No presenta fósiles o icnofósiles, lo que limita su puntuación en el criterio “E – Diversidad Geológica” y su valor científico en general. El mismo se clasifica como geosito de relevancia nacional (VC entre 200 y 300).

Es cierto que en el inventario actual no se han incluido geositos en todas las categorías temáticas. Para futuros estudios, sería recomendable explorar en el territorio la posibilidad de nuevos geositos en estas categorías no contempladas, para garantizar una representación más completa de la geodiversidad de la región.

Es importante destacar que la mayoría de los geositos identificados hasta ahora corresponden a yacimientos paleontológicos (3 de 6). Esto resalta la importancia de la riqueza paleontológica de la región y su potencial como recurso científico y educativo.

En este contexto, es relevante mencionar otra localidad clave para los estudios paleontológicos de la Formación Tacuarembó, conocida como la Cantera Bidegain (31°46'7.77"S, 55°41'4.84"O), que ha sido una importante proveedora de materiales para las investigaciones realizadas por Soto *et al.* (2012), Perea *et al.* (2018), Soto *et al.* (2020, 2021, 2022) y Toriño *et al.* (2021). Aunque inicialmente se consideró este sitio en la lista preliminar de geositos, después de las visitas de campo se constató que había sufrido daños parciales, por lo que se tomó la decisión de no incluirla en la lista final, a pesar de su alto valor científico.

Es necesario tener en cuenta que los resultados de la evaluación del valor científico y la relevancia de los geositos son el resultado de un proceso de evaluación específico y pueden variar según los criterios y las metodologías utilizadas. Estos resultados son un primer guía para comprender la importancia y la relevancia de los geositos,

### **6.1.2 Potencial uso educativo**

Según la metodología empleada, los sitios de geodiversidad con valores superiores a 200 en la evaluación cuantitativa del Potencial de Uso Educativo (PUE) se clasifican como sitios de geodiversidad de relevancia nacional. Todos los sitios de geodiversidad obtuvieron una puntuación superior a 200.

En el área de estudio, se identificaron siete localidades (geositos y sitios de geodiversidad) con valores superiores a 300: Bocamina Ernestinita (N°1), Cerro Miriñaque (N°12), Huellas de Dinosaurios de Cuchilla del Ombú (N°3), Cueva del Indio (N°18), La Bica (N°20), Cerro Batoví (N°13) y Piedra Pintada (N°15).

La Bocamina Ernestinita (N°1) es el sitio de geodiversidad con la mayor puntuación en el PUE, alcanzando los 330 puntos (Tabla 5-4). Esto se debe a su ubicación dentro del pueblo de Minas de Corrales, lo que implica una cercanía a centros educativos, alojamiento y restaurantes con capacidad para grupos de 50 personas. Además, se encuentra cerca de otros lugares con valores culturales que se utilizan con fines educativos, como el Museo del Oro, El Polvorín, y otras ruinas mineras.

El Cerro Miriñaque (N°12) ocupa el segundo lugar en términos de valor del PUE, con una puntuación de 335 puntos (Tabla 5-4). Este alto valor se atribuye a su baja vulnerabilidad

ante acciones humanas. Además, está cercano a un lugar que ofrece alojamiento y restaurante para grupos de 50 personas, ubicándose a una distancia de 17 km de Minas de Corrales. El cerro también posee asociaciones con valores ecológicos, como la presencia de palmeras enanas endémicas, y se encuentra en proximidad a otros sitios de valor cultural en la región, como la Represa Histórica de Cuñapirú (a 6 km de distancia). Asimismo, tiene una fácil accesibilidad.

Las Huellas de dinosaurio de Cuchilla del Ombú (Nº3) se ubican en el tercer lugar del *ranking* del PUE (Tabla 5-4). En comparación con los dos primeros sitios de geodiversidad, este geositio se encuentra en una zona rural más distante de localidades con alojamiento y restaurantes para grupos de 50 personas, así como de otros sitios de valor ecológico y cultural, lo cual justifica su posición en el *ranking*.

La Cueva del Indio (Nº18) y La Bica (Nº20) obtuvieron una puntuación igual de 325 puntos de PUE, pero debido a criterios distintos. La segunda se encuentra en la ciudad de Rivera, lo que implica que los criterios de “B – Accesibilidad” y “C – densidad de población” sean más altos para este sitio, ya que está directamente relacionado con la cantidad de visitantes que pueden disfrutar de este lugar. Por otro lado, La Cueva del Indio destaca por su diversidad geológica (criterio “L – Diversidad geológica”). Ambos sitios recibieron la misma puntuación en el criterio “K – Potencial didáctico”, ya que presentan elementos geológicos que se enseñan en todos los niveles de educación.

Los Pilares de Klinger es el sitio de geodiversidad con el menor puntaje para el PUE (215). Este sitio puntúa bajo en el criterio “B – Accesibilidad” y “H – Paisaje”.

La Localidad fosilífera Martinote (Nº2) obtuvo la puntuación más baja del PUE, de 195 (Tabla 5-4). Sin embargo, es importante destacar que este lugar es un destino importante para investigaciones de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República (UDELAR). La posición en la lista se debe principalmente al criterio “A – Vulnerabilidad”, ya que el sitio está expuesto a la pérdida de sus elementos de geodiversidad debido a actividades antropogénicas. Por lo tanto, se debe tener especial cuidado en su uso para actividades educativas, y esto se discutirá con más detalle en la sección del Riesgo de Degradación.

### **6.1.3 Potencial uso turístico**

Del mismo modo que para la evaluación del PUE, los sitios de geodiversidad con valores superiores a 200 en la evaluación cuantitativa del potencial uso turístico (PUT) se

clasifican como sitios de geodiversidad de relevancia nacional. En el área de estudio, cuatro localidades obtuvieron valores de PUT superiores a 300 y merecen destaque: Bocamina Ernestinita (Nº1), Mina Oliveira Minerals (Nº7), La Bica (Nº20) y Huellas de Dinosaurio de Cuchilla del Ombú (Nº3).

Al igual que en la evaluación del PUE, tanto la Bocamina Ernestinita como La Bica obtuvieron altas puntuaciones en la evaluación cuantitativa del potencial uso turístico (PUT), alcanzando valores de 330 y 305, respectivamente (Tabla 5-5). Estas puntuaciones se deben en gran medida a su ubicación en centros poblados, lo que les confiere una cercanía a otros atractivos turísticos y una mayor disponibilidad de infraestructura adecuada para recibir a los visitantes, como alojamientos y restaurantes. La ubicación estratégica de La Bica facilita la visita de turistas que se encuentran en la ciudad, especialmente aquellos que realizan turismo de compras en la frontera.

La Mina Oliveira Minerals es un geosito que se valora principalmente por su importancia científica, sin embargo, según la metodología utilizada, también se evaluaron sus potenciales de uso educativo y turístico (PUE y PUT). En este último aspecto, el geosito destacó en la segunda posición del *ranking* con una puntuación de 310 (Tabla 5-5), lo que revela su potencial como atractivo turístico. Actualmente, se promociona como destino turístico en campañas nacionales y ha obtenido una puntuación máxima en el criterio “H – Paisaje”. Además, cuenta con instalaciones adecuadas para recibir a los turistas, como equipos de protección, restaurant, baños y un centro de visitantes.

Es importante destacar que la Mina Oliveira Minerals se encuentra cerca del RACNA, mencionado en el capítulo 5, lo que le confiere una asociación con otros valores, especialmente en términos de valor cultural (criterio “G – Asociación con otros valores”). Esta cercanía con el RACNA puede aumentar su atractivo turístico al ofrecer a los visitantes la oportunidad de explorar tanto la riqueza geológica como los aspectos arqueológicos de la región.

Los sitios de geodiversidad con valores entre 200 y 300 representan la mayoría de los sitios inventariados (11 de 14 sitios de geodiversidad).

Pilares de Klinger (Nº6) fue el sitio de geodiversidad con la segunda puntuación más baja del PUT, con un valor de 210 (Tabla 5-5). Esto puede deberse a que el sitio se encuentra en una zona militar, lo que dificulta el acceso de turistas. Sin embargo, se menciona la posibilidad de utilizarlo para actividades turísticas bajo permisos previos. Sería importante establecer un mecanismo adecuado para gestionar las visitas y garantizar la preservación

del sitio, teniendo en cuenta las restricciones y consideraciones de seguridad debido a su ubicación en una zona militar.

Otro destaque de puntuaciones bajas (menores a 200) son para los geositos La Estiba del Río Cuareim y el yacimiento paleontológico Martinote. Esto se debe a sus vulnerabilidades y por la falta de estructuras para recibir a los visitantes. Además, se encuentran alejados de otras atracciones turísticas, lo que dificulta su acceso y limita su potencial como destino turístico.

#### **6.1.4 Riesgo de degradación**

Según los resultados de la evaluación, los geositos Localidad fosilífera Martinote (Nº2) y La Estiba del Río Cuareim (Nº19) se encuentran en la parte superior de la lista en términos de Riesgo de Degradación (RD). Esta posición se debe al hecho de que estos sitios presentan alta vulnerabilidad, ya que carecen de figuras de protección, se encuentran en áreas públicas y sus elementos de geodiversidad están expuestos a posibles acciones tanto humanas como naturales que podrían llevar a su pérdida.

En contraste, el tercer lugar de la lista lo ocupa el geosito Huellas de Dinosaurio de Cuchilla de Ombú (Nº3), con un puntaje de 255. Este geosito se encuentra en un área pública y no cuenta con control de acceso. A pesar de disponer de una figura de protección, las huellas han experimentado una significativa degradación. Dado que se trata de icnofósiles ubicados en una litología frágil, como las areniscas, son especialmente vulnerables a las acciones naturales que pueden llevar a su pérdida. Un ejemplo de estas acciones naturales es el crecimiento de pasto dentro de las huellas. Durante las actividades de investigación, el proceso de limpieza de las huellas condujo a la acumulación de una fina capa de sedimentos y suelo, lo que favoreció el crecimiento de vegetación dentro de las huellas, dañando su estructura. Además, en el área de las huellas se observan desniveles y marcas de flujo de agua debido a la escorrentía superficial, lo que también contribuye al deterioro de los icnofósiles.

En respuesta a estas preocupaciones, se está llevando a cabo la construcción de un museo, y hasta el momento se ha instalado una estructura de metal con techo para proteger las huellas, como se muestra en la Figura 5-12.. Se están planificando etapas adicionales para la recuperación de las huellas, que incluyen la construcción de un piso hecho de material transparente sobre las pistas y la instalación de carteles de interpretación.

En la secuencia está el sitio de geodiversidad Cerro del Apretado (Nº18), que se clasificó con un riesgo de degradación moderado debido a la actividad minera de explotación de basalto para fines industriales que se ha llevado a cabo en el cerro, y que eventualmente podría retornar. Si bien esta actividad puede tener un impacto potencialmente destructivo, es poco probable que todo el cerro sea destruido debido a esta actividad.

Por otro lado, los sitios de geodiversidad con menor riesgo de degradación son el Establecimiento Bichadero (Nº8) y la Cueva del Indio (Nº17). Ambos son propiedades privadas con control de acceso y presentan una baja vulnerabilidad ante acciones que puedan dañar su geodiversidad.

El método utilizado para el análisis del *ranking* y la definición de prioridades de gestión considera que los sitios que obtuvieron altos puntajes en la evaluación cuantitativa del riesgo de degradación y también poseen un alto valor científico, educativo y/o turístico, deben recibir acciones prioritarias de conservación. Esto significa que se deben enfocar esfuerzos y recursos en la protección y preservación de estos sitios para evitar su deterioro.

Es importante tener en cuenta que, si un geosítio presenta un alto riesgo de deterioro de sus elementos de geodiversidad, no se deben implementar usos educativos y/o turísticos en dicho sitio. Esto se debe a que la actividad humana podría acelerar el proceso de degradación y comprometer los valores geológicos y científicos que se pretenden conservar. Por lo tanto, es fundamental evaluar cuidadosamente los riesgos asociados a cada geosítio y establecer medidas de protección adecuadas antes de considerar cualquier tipo de uso público en ellos.

En relación a la aplicación de medidas de protección, es importante destacar que los geosítios yacimiento paleontológico Martinote (Nº2) y La Estiba del Río Cuareim (Nº19) deberían considerarse prioritarios. Estos sitios han obtenido altos puntajes en la evaluación cuantitativa del riesgo de degradación y también poseen un alto valor científico. Además, no presentan figuras de protección ni planes de gestión como las Huellas de dinosaurio de Cuchilla del Ombú.

Dado que se ha identificado un alto riesgo de deterioro en estos geosítios, es fundamental establecer medidas de protección que garanticen su conservación a largo plazo. Estas medidas pueden incluir restricciones de acceso, regulaciones de actividades humanas y monitoreo periódico para evaluar su estado y detectar cualquier cambio negativo en su

naturaleza y estado. Estas mismas medidas pueden ser extendidas a las Huellas de dinosaurio de Cuchilla del Ombú.

Asimismo, es necesario evaluar la viabilidad de implementar usos educativos y turísticos en estos sitios, teniendo en cuenta los riesgos identificados. Si se determina que dichas actividades podrían contribuir al deterioro de los elementos de geodiversidad, se deberá priorizar la protección integral de los geositorios y considerar alternativas para la divulgación y educación sobre su importancia sin poner en peligro su integridad.

## **6.2 Sobre las clasificaciones y prioridades de protección**

Se identificaron 3 de los 6 geositorios inventariados como Geositorios de Relevancia Internacional (ver Tabla 5-7). El sitio de interés geológico con una puntuación más alta para el análisis del valor científico es la Mina Oliveira Minerals (N°7). Esto se debe a que es el único lugar en el área de estudio que es representativo de la mineralización de ágatas y amatistas de la categoría temática Magmatismo Mesozoico, pertenece a un depósito de clase internacional, ha sido ampliamente estudiado por DINAMIGE e investigadores uruguayos, brasileños y otros, y ha sido reconocido por la IUGS como uno de los 100 geositorios en el año 2022. A continuación, se encuentra el geositorio La Estiba del Río Cuareim (N°11), cuya alta puntuación se debe al hecho de ser una región con importantes registros fosilíferos de la Megafauna pleistocena, con una serie de artículos publicados sobre ellos en revistas internacionales, y también es el único lugar inventariado para la categoría temática Megafauna Pleistocena, lo que hace que el parámetro de "Representatividad" sea sobreestimado para este lugar. Las Huellas de Dinosaurio de Cuchilla del Ombú son las últimas de esta clasificación, cuya relevancia internacional se debe a que son las primeras huellas registradas en Uruguay y representan un importante registro para la comprensión de las condiciones ambientales del Jurásico-Cretácico.

Los otros tres geositorios se han clasificado como de relevancia nacional: la Localidad fosilífera Martinote (N°2), las Paleodunas de Cuchilla del Ombú (N°4) y la Subida de Pena (N°5). Estas clasificaciones son acertadas, ya que son ampliamente utilizadas por la comunidad científica uruguaya en estudios relacionados con la Formación Tacuarembó. En particular, la Subida de Pena es un recurso utilizado para explicar la formación del relieve de la línea de escarpa del "frente" basáltico y, por esta razón, es el único geositorio que representa la categoría UGyFR.

En lo que respecta a los Sitios de Geodiversidad, los 14 inventariados se identificaron como Sitios de Geodiversidad de Relevancia Nacional, lo que indica que poseen un valor geodiverso significativo a nivel nacional.

Tabla 6-1: Resumen de las clasificaciones del inventario.

Geosito de Relevancia Internacional	3	Huellas de dinosaurio de Cuchilla del Ombú
	7	Mina Oliveira Minerals
	11	La Estiba del Rio Cuareim
Geosito de Relevancia Nacional	2	Localidad fosilífera Martinote
	4	Paleodunas de Cuchilla del Ombú
	5	Subida de Pena
Sitio de Geodiversidad de Relevancia Nacional	1	Bocamina Ernestinita
	6	Pilares de Klinger
	8	Establecimiento Bichadero
	9	Mirador del Valle Edén
	10	Parque Gran Bretaña
	12	Cerro Miriñaque
	13	Cerro Batoví
	14	Cerro Batoví Dorado
	15	Piedra Pintada
	16	Las Marmitas
	17	Pozo Hondo
	18	Cueva del Indio
	19	Cerro del Apretado
	20	La Bica

En cuanto al riesgo de degradación, 4 sitios se clasifican como moderado, lo que implica que presentan cierto nivel de vulnerabilidad y posibles amenazas que podrían afectar su integridad geológica y geodiversidad. Por otro lado, los otros 16 sitios inventariados se clasifican como bajo riesgo de degradación, lo que indica que presentan un nivel de vulnerabilidad más bajo y se encuentran en mejores condiciones de conservación.

En Uruguay existen antecedentes en la implementación de estrategias de geoconservación. Las autoridades del Departamento de Flores y los gestores del

Geoparque Grutas del Palacio encontraron en la Ley de Ordenamiento Territorial una herramienta apropiada para reglamentar a nivel departamental la protección de geositos. Un decreto que tiene fuerza local obliga a las intendencias departamentales del país a establecer las Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial, con un Plan Estratégico basado en un Informe Ambiental Estratégico, para ejecutar las medidas cautelares de protección donde se entienda pertinente. En este proceso, las Directrices del Departamento de Flores han incorporado el Geoparque Grutas del Palacio, con sus geositos y otros sitios de interés geológico, bajo una medida cautelar que suspende la forestación y la minería en esas áreas, según el Decreto No. 0821 promulgado por la Junta Departamental de Flores. Esto significa que los geositos y otros sitios de interés turístico y patrimonial dentro del Geoparque se clasificarán como Suelo Rural Natural en las Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible (Goso *et al.*, 2016).

Este instrumento puede ser un primer paso para brindar protección a los geositos del proyecto GMB, especialmente aquellos que presentan un mayor riesgo de degradación.

### **6.3 Sobre el potencial del área para convertirse en un Geoparque**

En cuanto al potencial en términos de geodiversidad y geopatrimonio del proyecto Geoparque Minero Botucatú para sustentar una propuesta de Geoparque Mundial de la UNESCO, resulta claro que es muy favorable. Se ha podido constatar que existe un patrimonio geológico en ese territorio con relevancia científica internacional, que es uno de los requisitos para convertirse en un Geoparque Mundial de la UNESCO. La base del medio físico del territorio apto para generar una propuesta, existe. Sin embargo, es sabido que son necesarios otros elementos territoriales que tienen que ver con los gestores territoriales, esto es gobiernos locales y nacional, la disposición de infraestructura, la necesidad de tener recursos, convencer a los empresarios y comunidades locales, involucrar a los centros educativos, en definitiva que sea visualizada una oportunidad para el crecimiento, a través de actividades relacionadas al geoturismo en la región por los diferentes actores, para que la propuesta alcance un nivel de maduración y eventualmente, pueda elaborarse un proyecto de geoparque a ser presentado ante la UNESCO.

Según Rosado-González (2020), desde 2005, 59 regiones de América Latina se han postulado para convertirse en Geoparques Mundiales de la UNESCO. Sin embargo, hasta el momento, solo 12 regiones han sido certificadas. Esto resalta la rigurosa selección y los

exigentes criterios establecidos por la UNESCO para otorgar el estatus de Geoparque Mundial. Esta estadística subraya la importancia de un proceso cuidadoso de desarrollo e implementación de proyectos de geoparques, teniendo en cuenta los criterios establecidos y garantizando la preservación adecuada del patrimonio geológico y la sostenibilidad del proyecto.

Un primer paso podría ser la creación de un Geoparque Nacional en esa región o en parte de ella, con el fin de evaluar su funcionamiento y los resultados obtenidos. Como se mencionó en la sección 2.2.1, es importante que el territorio ya esté operando como un Geoparque durante al menos un año antes de postularse como Geoparque Mundial de la UNESCO. Esto permitiría adquirir experiencia y demostrar que se cumplen los requisitos y criterios necesarios para obtener el estatus de Geoparque Mundial.

La creación de un Geoparque Nacional en primer lugar podría proporcionar la oportunidad de probar y consolidar las estrategias de geoconservación, gestión y promoción de los geositos y sitios de geodiversidad en la región. Esto también involucraría a las comunidades locales, autoridades y otros actores relevantes en el proceso.

Una vez que el Geoparque Nacional haya demostrado su éxito y sostenibilidad, se podría considerar la postulación para obtener el estatus de Geoparque Mundial de la UNESCO. Esto implica un compromiso a largo plazo y el respaldo político necesario para garantizar que el proyecto se mantenga y prospere.

Mientras tanto, la zona puede beneficiarse de la aplicación de estrategias que son comunes en los geoparques, como actividades de geoturismo para promover la actividad turística durante todo el año.

## **7 CONCLUSIONES**

En esta investigación se planteó realizar un inventario de sitios geológicos que dieran sustento a un proyecto de geoparque mundial según los criterios UNESCO (Geoparque Minero Botucatu), en la región Norte de Uruguay, que incluye parte de los departamentos de Tacuarembó, Rivera y Artigas.

Los atributos geológicos del territorio estudiado permiten concluir que tiene un grado de geodiversidad interesante ya que allí están representados un conjunto vasto de rocas, procesos geológicos y registros fosilíferos de diferentes edades: del Proterozoico (Isla Cristalina de Rivera), Pérmico (Cuenca Norte), Jurásico (break up continental), Cretácico (Paleodesierto Botucatu) y Cuaternario (Megafauna), que a su vez han dado y dan lugar a

explotaciones de diversos recursos minerales, metálicos y de piedras semipreciosas, a los que a su vez, se agrega un elemento hidrogeológico de importancia a escala internacional, como es la presencia en la región del SAG (Sistema Acuífero Guaraní).

En esa región, se llevó a cabo un estudio sistemático de los primeros 20 sitios geológicos representativos de su geodiversidad. Estos sitios fueron sometidos a la metodología de inventario y cuantificación desarrollada por Brilha (2016). Como resultado, se identificaron y clasificaron 3 geositos de relevancia internacional, 3 geositos de importancia nacional y 14 sitios de geodiversidad de relevancia nacional (consultar Tabla 6.1). Además, se evaluaron en términos de su potencial para el turismo y la educación, así como su estado de conservación.

Las modificaciones realizadas en los parámetros de los criterios y las ponderaciones de las evaluaciones cuantitativas fueron adecuadas para cumplir con los objetivos de la investigación y se ajustaron a las características particulares del área de estudio. El proceso de selección de los sitios fue dinámico y relevante a lo largo de toda la investigación, lo que facilitó una identificación y jerarquización adecuadas de los sitios dentro del proyecto GMB. La clasificación de los sitios se mantuvo coherente en cada una de las etapas de muestreo y durante todo el estudio, lo que permitió una identificación y jerarquización consistentes de los geositos y sitios de geodiversidad del proyecto GMB.

Es importante tener en cuenta que el inventario de geositos permanece abierto y que nuevos sitios pueden ser agregados o quitados de esta lista en el futuro. Sin embargo, se recomienda revisar y ajustar periódicamente los criterios y las ponderaciones para asegurar la validez y la relevancia de los resultados, especialmente cuando se añaden nuevos geositos y sitios de geodiversidad al inventario.

La implementación de esta investigación puede tener diversos impactos positivos. No solo puede contribuir a la ordenación del territorio y al establecimiento de planes de gestión para la geodiversidad del Norte de Uruguay, sino también a la implementación de prácticas educativas centradas en las geociencias y la promoción del geoturismo. Además, puede contribuir al cumplimiento de algunos de los objetivos de la Agenda 2030 de la ONU para el desarrollo sostenible.

Se recomienda implementar programas educativos dirigido a estudiantes de todos los niveles, enfocados en la importancia de conservar tanto la geodiversidad como la biodiversidad. Esto puede contribuir a crear conciencia sobre la necesidad de gestionar de manera adecuada el desarrollo de un proyecto de Geoparque Nacional. Sin embargo,

esta gestión requeriría el respaldo político de las autoridades locales y nacionales, quienes deben comprender que algunos modelos actuales de desarrollo representan amenazas para la geoconservación.

En palabras de la Declaración de Girona (1997), citada en Goso *et al.*, (2016), es esencial que los responsables de las diferentes administraciones públicas, centros de investigación, técnicos, científicos, investigadores, ambientalistas, naturalistas, ecologistas, periodistas y educadores se movilicen activamente en una campaña de sensibilización dirigida a toda la población. El objetivo es lograr que el patrimonio geológico, a menudo pasado por alto, deje de ser subestimado, en beneficio de todos. Esta movilización puede ser fundamental para cambiar percepciones y actitudes hacia la protección de la geodiversidad y establecer un fundamento sólido para la gestión sostenible de proyectos como el Geoparque Minero Botucatu.

En este contexto, el proceso de interpretación y promoción se convierte en un elemento esencial para facilitar la comprensión del valor de los sitios geológicos por parte del público y mejorar su preservación y en algunos casos salvaguardar su valor científico. Además, es necesario fomentar la investigación, la divulgación y el turismo responsable en estos sitios, para aprovechar de manera sustentable su potencial educativo y turístico.

Un aspecto relevante en materia educativa será la interpretación del pasado geológico de la región, lo que conlleva accesibilidad. La interpretación podría incluir la creación de carteles informativos, guías turísticas, sitios *web* y otros medios, todos ellos elaborados con un lenguaje accesible para una audiencia con diferentes niveles de educación. La promoción de visitas a los sitios dará a conocer lugares que ya están listos para recibir más visitantes, garantizando así la conciencia sobre la necesidad de proteger los recursos

No obstante, es fundamental tener en cuenta las limitaciones de este estudio, las cuales abren puertas valiosas para investigaciones futuras. En primer lugar, es crucial destacar que el estudio de la geodiversidad en Uruguay está en sus primeras etapas, como demuestra la escasez de investigaciones en esta área, siendo esta tesis de maestría pionera en la Universidad de la República. Además, la cartografía detallada en el área de estudio es limitada y se concentra principalmente en regiones con actividad minera, lo que plantea desafíos para realizar una evaluación exhaustiva de la geodiversidad. La selección de geositios y sitios de geodiversidad no fue equitativa en las diferentes categorías temáticas, lo que afecta los resultados de la evaluación cuantitativa. Se recomienda que futuros estudios en el área se esfuercen por equilibrar la

representatividad de los sitios en diversas categorías. Además, la ausencia de una metodología específica para la aplicación en Uruguay constituye una limitación significativa, subrayando la necesidad de desarrollar enfoques adaptados a las características geológicas y geográficas del país. Estas limitaciones resaltan la importancia de investigaciones posteriores para abordar estas deficiencias y ampliar nuestra comprensión de la geodiversidad en Uruguay.

Por fin, es crucial reconocer que un proyecto de geoparque es inherentemente transdisciplinario. Por lo tanto, para garantizar la sostenibilidad a largo plazo, es imperativo involucrar activamente a la comunidad local, las autoridades y otros actores relevantes en este proceso incipiente. Esta colaboración y participación activa son fundamentales para asegurar el éxito y la perdurabilidad del proyecto, permitiendo así que el Geoparque Minero Botucatú se convierta en un ejemplo emblemático de preservación y aprovechamiento responsable del patrimonio geológico uruguayo.

## REFERENCIAS

- Aboy, M. (2016). Deformación frágil de la Isla Cristalina de Rivera (Sector Centro-Oeste) y su relación con la Cuenca Norte. Tesis Maestría, Facultad de Ciências, UDELAR, Uruguay.
- Antón D (1975). Evolución geomorfológica del norte del Uruguay. Dirección de Suelos y Fertilizantes, Ministerio de Agricultura y Pesca. Montevideo, 1-22.
- Arduin Rode, A.F., Sosa, G., van den Kerkhof, A., Kruger, Y., Oyahantçabal, P., Wemmer. K., Siegesmund, S. (2022). Uruguayan amethyst and agate deposits: mineralogy and fluid inclusions. X Congreso Uruguayo de Geología, Montevideo.
- Arrighetti R, Pena S, Rossi P, Vaz Chavez N (1981) Estudio Geológico y Minero de la Región de Minas de Corrales Unpublished report. DINAMIGE, Montevideo
- Bankart, H. (1869). On the gold-fields of Uruguay, South America. *Journal of The Royal Geographical Society*, London, 39, 339-342.
- Barrial Posada, C. (1890). Título de propiedad de los minerales de la Región Aurífera de Tacuarembó y de la zona cuprífera de Yucutujá (Salto) e historia comprobada (científica y judicialmente) de la riqueza y trabajos realizados. *El Siglo Ilustrado* (Turenne&VarziCia.), Montevideo, vol. 1, pp. 14, 24 y 25 (143 p.).
- Beil, I.M. (2020). Patrimônio, turismo e desenvolvimento sustentável: uma análise crítica sobre a criação de geoparques no Brasil. Dissertação de Maestria. Universidade de São Paulo.
- Black GP, Gonggrijp GP (1990) Fundamental thoughts on Earth-science conservation. *Jb. Geol. B.-A.* Band 133, Heft 4:655–657.
- Brilha, J. (2002). Geoconservation and protected areas. *Environmental Conservation*, 29(3), 273-276. doi:10.1017/S0376892902000188
- Brilha, J. (2005). Património geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Braga: Palimage Editores, pp.190.
- Brilha, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, 8(2): 119–134, doi: 10.1007/s12371-014-0139-3.
- Brilha (2018). Geoheritage:inventories and evaluation. In: Emmanuel Reynard and José Brilha, editors, *Geoheritage*. Chennai: Elsevier, 2018, pp. 67-86.

- Brilha, J., Gray, M., Pereira, D.I. e Pereira, P. (2018). Geodiversity: An integrative review as a contribution to the sustainable management of the whole of nature. *Environmental Science and Policy*, 86, 19-28
- Bossi J (1966). Geología del Uruguay. Departamento de Publicaciones Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. 469pp.
- Bossi, J., & Navarro, R. (1991). Geología del Uruguay. Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República, Montevideo, 453.
- Bossi J & Schipilov A (1998): Rocas ígneas básicas del Uruguay, vol. I, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, 245pp.
- Bossi, J., Ferrando, L.A., Fernández, A., Elizalde, G., Morales, H., Ledesma, J., Carballo, E., Medina, E., Ford, I., Montana, J.R. (Eds) (1975). Carta geológica del Uruguay. Escala 1/1.000.000. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes, Montevideo, p.32.
- Bhuschi, V. M. Desarrollo de una metodología para la caracterización, evaluación y gestión de los recursos de la geodiversidad. (2007). Santander, 355p. Tese de Doutorado, Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, Universidad de Cantabria. Faculdade de Ciências.
- Bruschi, V.M. & Cendrero, A. (2009). Direct and parametric methods for assessment of geosites and geomorphosites. In: REYNARD, E., CORATZA, P. & REGOLINI-BISSIG, G. (Eds.) *Geomorphosites*. Verlag, München, p. 73-88.
- Bruno, M.D.RSantos-Filho, M.A.B., Candido, M., Ebling, P.S., Diniz, J.L., Sander, V.H., Luft-Souza, F., Vásquez-García, B., Rodrigues, D., Leite, L.F.S.S., Aumond, G.N. (2023). Desvendando o Pampa Gaúcho: desde os caminhos dos dinossauros até a Cratera de Impacto. *Revista do Instituto de Geociências - USP*. 23(2):17-25.
- Caballero, J.P. (2021). Inventario de geositios en el Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio. Trabajo final de Grado. UDELAR, Uruguay.
- Cámara de Industrias del Uruguay. Disponible en <https://www.ciu.com.uy/wp-content/uploads/2022/09/el-interior-industrial-artigas-2019.pdf>. Acceso 30/10/2023
- Caorsi, J. y Goñi, J. (1958) Geología Uruguaya. *Boletín del Instituto Geológico del Uruguay*, 37: 1-73.

- Carcavilla, L., López-Martínez, J., Valsero, J.J.D. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación y relación con los espacios naturales protegidos. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Cuadernos del Museo Geominero, Nº 7, pp.31.
- Carcavilla, L., Durán, J.J., y López-Martínez, J. (2008). Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10, 1299-1303. VII Congreso Geológico de España. Las Palmas de Gran Canaria.
- Carcavilla, L. (2011). Geosites: Evaluation and Conservation. In: Margottini C., Canuti P., Sassa K. (eds) *Landslide Science and Practice*. Springer, Berlin, Heidelberg, 25-31.
- Cendrero, A. (1996). El Patrimonio Geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización. In: MOPU (ed) *El patrimonio geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización*. MOPU, Serie Monografía, Madrid
- Chimento, N., & Rey, L. (2008). Hallazgo de una fecas fósil en el Pleistoceno Superior-Holoceno Inferior del partido de General Guido, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie*, 10(2), 239-254.
- Chirico, S. (2005). Pradera, oro y frontera. *Revista SUG*, 12: 33-42.
- Chirico, S. (1987). Cuñapirú: tierra de algún provecho, período 1820-1940. Edic. "Hoy es historia", Montevideo, Bol. 21: pp. 40-49.
- Creer KM, Miller JA & Gilbert-Smith A (1965): Radiometric age of the Serra Geral Formation. *Nature* 207: 282-283.
- Coratza, P., & Giusti, C. (2005). Methodological proposal for the assessment of the scientific quality of geomorphosites. *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 18(1), 307-313.
- Consejo Cooperación Departamental de Artigas (2011). Plan de Desarrollo Departamental 2012-2025, Artigas, Uruguay. Disponible en: <http://www.artigas.gub.uy/wordpress/wp-content/uploads/2013/05/Artigas-PDD-DOCUMENTO-FINAL.pdf>.
- Declaración de Arouca (2011). Arouca Declaration on Geotourism, Arouca, Portugal. Disponible en: <http://www.europeangeoparks.org/?p=223>.

- do Amarante, F. B., Scherer, C. M., Aguilar, C. A. G., dos Reis, A. D., Mesa, V., & Soto, M. (2019). Fluvial-eolian deposits of the Tacuarembó formation (Norte Basin–Uruguay): Depositional models and stratigraphic succession. *Journal of South American Earth Sciences*, 90, 355-376.
- de Santa Ana, H., & Veroslavsky, G. (2004). La tectosecuencia volcanosedimentaria de la Cuenca Norte de Uruguay. Edad Jurásico-Cretácico Temprano. Universidad de la República, Facultad de Ciencias, Cuencas Sedimentarias del Uruguay, Geología, paleontología y recursos naturales. *Mezosoico*, 53-77.
- de Santa Ana, H. (2004). Análise Tectono-estratigráfica das Sequências Permo-triassica e Jurocretácea da Bacia Chacoparanaense Uruguaia (“Cuenca Norte”). Brazil: Universidade Estadual Paulista.
- de Santa Ana, H., Veroslavsky, G., Fulfaro, V., Rossello, E., (2006). Cuenca Norte: evolución tectónica y sedimentaria del Carbonífero-Pérmico. In: Veroslavsky, G., Ubilla, M., Martínez, S. (eds.). *Cuencas Sedimentarias de Uruguay. Geología, Paleontología y Recursos Naturales. Paleozoico*. Montevideo, D.i.r.a.c. - Facultad de Ciencias, 209-244.
- Duarte, L.C., Hartmann, L.A., Vasconcellos, M.A.Z., Medeiros, J.T.N., Theye, T. (2009). Epigenetic formation of amethyst-bearing geodes from Los Catalanes gemological district, Artigas, Uruguay, southern Paraná Magmatic Province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 184(3–4): 427-436.
- Durán, J. J. (1999). El patrimonio geológico de España: situación actual y perspectivas de futuro. In I Simposium Transfronterizo sobre Patrimonio Natural, 7-20.
- Elízaga E, Gallego E, García-Cortés A (1994) Inventaire national dessites d'intérêt géologique en Espagne: méthodologie et déroulement. *Mém Soc Geol France* 165:103–109
- Falconer, J.D. (1931) Terrenos gondwánicos del departamento de Tacuarembó. Memoria Explicativa del Mapa Geológico. *Boletín del Instituto de Geología y Perforaciones*, 15: 1-17.
- Faraone, M. (2022). Valoración del patrimonio geológico en Uruguay: hacia la definición de contextos geológicos como estrategia para un inventario nacional de geositos. XIV Reunión de la Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España. *Geo-temas, Sociedad Geológica de España*, (19):45-48)

- Féraud G, Bertrand H, Martínez M, Ures C, Schipilov A & Bossi J (1999):  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age and geochemistry of the southern extension of Paraná traps in Uruguay. *Actas II Simposio Sudamericano de Geología Isotópica*, Córdoba, pp. 57-59.
- Fuertes-Gutiérrez I, Fernández-Martínez E (2010) Geosites inventory in the Leon Province (Northwestern Spain): a tool to introduce geoheritage into regional environmental management. *Geoheritage* 2:57–75. <https://doi.org/10.1007/s12371-010-0012-y>
- Gallego, V.E. & García-Cortés, A. (1996) Patrimonio Geológico y Espacios Naturales Protegidos. *Geogaceta* 19. 202-206. Sociedad Geológica de España. Madrid.
- Gastmans, D., Veroslavsky, G., Kiang Chang, H., Caetano-Chang, M. R. y Nogueira Pressinotti, M. M., (2012). Modelo hidrogeológico conceptual del Sistema Acuífero Guaraní (SAG): una herramienta para la gestión. *Boletín Geológico y Minero*, 123 (3): 249-265 ISSN: 0366-0176
- García M.G.M., Brilha J, Lima F.F., Vargas J.C., Pérez-Aguilar A., Alves A., Campanha G.A.C., Duleba W., Faleiros F. M., Fernandes L.A., Fierz M.S.M., García M.J., Janasi V.A., Martins L., Raposo M.I.B., Ricardi-Branco F., Ross J.L.S., Sallum Filho W., Souza C.R.G., Bernardes-de-Oliveira M.E.C., Brito Neves B.B., Campos Neto M.C., Christofoletti S.R., Henrique-Pinto R., Lobo H.A.S., Machado R., Passarelli C. R., Perinotto J.A. J., Ribeiro R. R., Shimad H. (2018). The inventory of geological heritage of the State of São Paulo, Brazil: methodological basis, results and perspectives. *Geoheritage* 10, 239 -258.
- García-Cortés, A.G. & Urquí, L.C. (2009). Propuesta para la actualización metodológica del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG). Madrid, Instituto Geológico y Minero de España, p. 61.
- Gentili, C. & Rimoldi, H. (1979). Mesopotamia. En *Actas del II Simposio de Geología Regional Argentina*, vol. 1, pp. 185-223. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, Córdoba.
- Geoparque Grutas del Palacio (2003). Geoparque Grutas del Palacio. Disponible en <https://www.geoparque.uy/index.php/geoparque-grutas-del-palacio.html>. Acceso en: 10 de feb. de 2022.
- Goso Aguilar, C., & Ubilla, M. (2004). Quaternary continental deposits in north of Uruguay: stratigraphy and paleontology; Los depositos continentales cuaternarios en el norte de Uruguay: estratigrafía y paleontología.

- Goso, H., (1965) El Cenozoico en el Uruguay. Instituto Geológico del Uruguay. Informe interno, pp. 36.
- Goso, C., Chulepin, H., Martínez, E., Rojas, A. y Ubilla, M. (2016): Uruguay. Patrimonio geológico y su conservación. Situación y perspectivas. En: Patrimonio geológico y su conservación en América Latina (J.L. Palacio Prieto, J.L. Sánchez Cortez y M.E. Schilling eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., 247-266.
- Gray, M. (2004). Geodiversity: Valuing and conserving abiotic nature. John Wiley & Sons.
- Gray JM (2008) Geodiversity: developing the paradigma. Proc Geol. Assoc 119:287–298
- Gray, M., Gordon, J., Brown, E., (2013). Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management. Proc. Geol. Assoc. 124, 659-673.
- Hartmann, L. A., Wildner, W., Duarte, L. C., Duarte, S. K., Pertille, J., Arena, K. R., ... & Dias, N. L. (2010). Geochemical and scintillometric characterization and correlation of amethyst geode-bearing Paraná lavas from the Quaraí and Los Catalanes districts, Brazil and Uruguay. Geological Magazine, 147(6), 954-970.
- Hartmann, L. A., da Cunha Duarte, L., Massonne, H. J., Michelin, C., Rosenstengel, L. M., Bergmann, M., ... & Wildner, W. (2012). Sequential opening and filling of cavities forming vesicles, amygdalae and giant amethyst geodes in lavas from the southern Paraná volcanic province, Brazil and Uruguay. International Geology Review, 54(1), 1-14.
- Henriques, M.H., Pena dos Reis, R., Brilha, J., Mota, T.S., (2011). Geoconservation as an emerging geoscience. Geoheritage 3 (2), 117-128.
- Inda H, del Puerto L (2002) Identificación taxonómica de muestras de material leñoso. Informe inédito. FC. 1–8p
- Intendencia Departamental de Artigas (2022). Video de la Piedra Pintada. Disponible en: <http://www.artigas.gub.uy/?p=1592>. Acceso en 12 de abr. 2023.
- Intendencia Departamental de Tacuarembó (2023). Sobre Tacuarembó. Disponible en: <https://tacuarembogub.uy/stg/>. Acceso en 3 de abr. de 2023.
- Intendencia Departamental de Rivera (2017). Departamento. Disponible en: <https://www.rivera.gub.uy/portal/historia-y-localidades/>. Acceso en 7 de abr. de 2023.

- INUMET. Inicio>Clima>Estadísticas climatológicas>Características climáticas. Disponible en: <https://www.inumet.gub.uy/clima/estadisticas-climatologicas/caracteristicas-climaticas>. Acceso en: 18 de abr. de 2022.
- IUCN. (1996). Guidelines for Protected Area Management Categories. International Union for Conservation of Nature.
- Joyce, E.B. (2010). Geoparks: Celebrating Earth Heritage, Sustaining Local Communities. *Natural Resources Research*, 19(1), 33-41.
- Koepfen, W. (1918). Klassifikation der klima nach temperatur, niederschlag und Jahreslauf. *Pet. Mitt.*, 64, 243-248.
- Kormann, T.C. & Wiggers, M.M. (2021). Interface entre patrimônio geomorfológico e cultural no Pampa: discussão a partir do Cerro do Jarau e do Cerro dos Porongos (Rio Grande do Sul, Brasil). *Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente*. 3(1-2):3-22.
- La Manana (2019). Minas de Corrales, sin minas. Disponible en: <https://www.xn--lamaana-7za.uy/agro/minas-de-corrales-sin-minas/>. Acceso en: 6 de nov. de 2022).
- Lemes, D.P. O geopatrimônio na província geomorfológica da cuesta de haedo: atividades interpretativas, educativas e geoturísticas. Trabajo de calificación de doctorado. Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.
- Lima, F.F., Brilha, J.B. & Salamuni, E. (2010). Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil. *Geoheritage*, 2(3-4): 91-99.
- Mac Millan, J.G. (1931). Regiones mineras de Cunapiru, Corrales, Zapuay y Curtumé. Instituto de Geología y Perforaciones. Montevideo. Boletín N° 14.
- Marzoli, A., Renne, P. R., Piccirillo, E. M., Ernesto, M., Bellieni, G., & Min, A. D. (1999). Extensive 200-million-year-old continental flood basalts of the Central Atlantic Magmatic Province. *Science*, 284(5414), 616-618.
- Martínez S, Rojas A (2004) Quaternary continental mollusks from northern Uruguay: distribution and paleoecology. *Quat Int* 114:123–128
- Masquelin, H. (2006). El Escudo Uruguayo. En: Cuencas Sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos minerales – Paleozoico. G. Veroslavsky, M. Ubilla y S. Martínez. Ed. DIRAC. Cap. 2, pp. 37-106. Montevideo.

- Mesa, V. (2016). "Caracterización litofaciológica y análisis paleoambiental del Miembro Batoví de la Formación Tacuarembó (Jurásico Tardío – Cretácico Temprano) en los alrededores de la ciudad de Tacuarembó". Trabajo Final Licenciatura en Geología, Facultad de Ciencias - UDELAR, Uruguay.
- Ministerio de Turismo (2021). Autoridades del Mintur participaron de taller informativo sobre proyecto Geoparque Minero Botucatu, en el Norte del país. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-turismo/comunicacion/noticias/autoridades-del-mintur-participaron-taller-informativo-sobre-proyecto>. Acceso en: 05 de ene. de 2022.
- Ministerio de Turismo (2022). Comienzan las obras en Minas de Corrales para la denominada "Ruta del Oro". Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-turismo/comunicacion/noticias/comienzan-obras-minas-corrales-para-denominada-ruta-del-oro>. Acceso en: 10 de feb. de 2023.
- Morteani, G., Kostitsyn, Y., Preinfalk, C. *et al.* (2010). The genesis of the amethyst geodes at Artigas (Uruguay) and the paleohydrology of the Guaraní aquifer: structural, geochemical, oxygen, carbon, strontium isotope and fluid inclusion study. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 99, 927–947. <https://doi.org/10.1007/s00531-009-0439-z>
- Muzio, R. (2004). El magmatismo mesozoico en Uruguay y sus recursos minerales. Cuencas sedimentarias de Uruguay, Geología, paleontología y recursos naturales - Mesozoico - Capítulo V. DIRAC, Uruguay
- Nascimento, M. A. L., Silva, M. L. N., Almeida, M. C., & Costa, S. S. S. (2021). Evaluation of Typologies, Use Values, Degradation Risk, and Relevance of the Seridó Aspiring UNESCO Geopark Geosites, Northeast Brazil. *Geoheritage*, 13(2), 1-17. doi: 10.1007/s12371-021-00542-2.
- Nieto, L.M. (2001). Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. *Boletín Geológico y Minero*, 112 (2): 3-11.
- Panario, D. (1988). Geomorfología del Uruguay (No. DOC 0800).
- Pena dos Reis R, Henriques MH (2009) Approaching an integrated qualification and evaluation system for geological heritage. *Geoheritage* 1:1–10
- Peate, D. W. (1997). The parana-etendeka province. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 100, 217-246.

- Perea, D. (2007). La formación tacuarembó (jurásico tardío-cretácico temprano): una aproximación tafonómica. *Revista SUG* N°, 19-25.
- Perea, D., Ubilla, M., Rojas, A. and Goso, C.A. (2001). The West Gondwanan occurrence of the hybodontid shark *Priohybodus*, and the Late Jurassic-Early Cretaceous age of Tacuarembó Formation, Uruguay. *Palaeontology*, 44: 1227–1235.
- Perea, D., Ubilla, M., & Rojas, A. (2003). First report of theropods from the Tacuarembó Formation (Late Jurassic-Early Cretaceous), Uruguay. *Alcheringa*, 27(2), 79-83.
- Perea, D., Soto, M., Veroslavsky, G., Martínez, S. and Ubilla, M. (2009) A Late Jurassic fossil assemblage in Gondwana: Biostratigraphy and correlations of the Tacuarembó Formation, Paraná Basin, Uruguay. *Journal of South American Earth Sciences*, 28: 168-179.
- Perea, D., Soto, M., Toriño, P., Mesa, V., & Maisey, J. G. (2018). A Late Jurassic-? earliest Cretaceous ctenochasmatid (Pterosauria, Pterodactyloidea): The first report of pterosaurs from Uruguay. *Journal of South American Earth Sciences*, 85, 298-306.
- Pereira, P., Pereira, D.I. & Caetano Alves, M.I. (2007). Geomorphosite assessment in Montesano Natural Park (Portugal). *Geographical Helvetica*, 62(3): 159-168.
- Pereira, P. & Pereira, D.I. (2010). Methodological guidelines for geomorphosite assessment. *Géomorphol Relief Processus Environ*, 2: 215-222.
- Pérez, A., Rocha, L., Decoud, P., & Carbajal, A. (2000). COMPORTAMIENTO DEL ACUIFERO GUARANI EN LA CIUDAD DE ARTIGAS URUGUAY. *Águas Subterrâneas*. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23511>
- Pertille, L.A. Hartmann, S.K. Duarte, K. Arena, M.L.C.C. Rosa, E.G. Barboza (2013). Gossan characterization in the Quaraí and Los Catalanes amethyst geode districts (Brazil and Uruguay), Paraná volcanic province, using rock geochemistry and gamma-spectrometry. *Journal of Geochemical Exploration*. 124: 127-139
- Philipp, R.P., Rolim, S., Sommer, C., Filho, C.R., Lisboa, N.A. (2010). A estrutura -de impacto do Cerro do Jarau, Quaraí, RS. *Revista Brasileira de Geociências*. 40(4): 468-483.

- Picchi, D. (2018). Evaluación de metodologías para el inventario de geositos del Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio. Trabajo final de Grado. UDELAR, Uruguay.
- Pralong, J.P. (2005). A method for assessing the touristic potential and use of geomorphological sites. *Geomorphology: Relief, Processus, Environment*, 3: 189-196.
- Preciozzi F, Spoturno J, Heinzen W & Rossi P (1985): Carta geológica del Uruguay (1:500.000). DINAMIGE. Montevideo.
- Ramos, A. (2023). Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio: inventario de los geositos Pictografía Chamangá, Gabro Chamangá, Dique Máfico y San Martín del Yi. Trabajo Final de Grado Lic. en Geología. 63 pp. Montevideo.
- Recuerdos de nuestro pasado (2016). Disponible en <http://recuerdosdenuestropasado.blogspot.com/2016/06/una-vertientehistorica-labica-enlos.html>. Acceso en 14/07/2023.
- Referencia digital 1. Disponible en <https://www.sgb.gov.br/geossit/>. Acceso en 9/12/2022
- Referencia digital 2. Disponible en <https://adarve5.blogspot.com/2016/03/coplas-pleito-y-triunfo-del-mirinaque.html>. Acceso en 10/03/2023
- Referencia digital 3. Disponibel en <https://www.geocaching.com/geocache/GC8VZ6J>. Acceso en 4/02/2023.
- Reynard, E. & Coratza, P. (2013). Scientific research on geomorphosites. A review of the activities of the IAG working group on geomorphosites over the last twelve years. *Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 36(1): 159-168
- Rosado-González, E., Sá, A., Palacio-Prieto, J. (2020). UNESCO Global Geoparks in Latin America and the Caribbean, and Their Contribution to Agenda 2030 Sustainable Development Goals. *Geoheritage*, 12:36.
- Ruocco, G. (2018). Patrimonio Natural y Desarrollo Sostenible en Uruguay. Monografías de la Revista Aragonesa de Administración Pública ISSN 1133-4797, XVII, Zaragoza, pp. 459-477.

- Sánchez, J.P. & Garcia, M. (2013). A cratera de impacto do Cerro do Jarau-RS, Brasil: uma abordagem geoturística. *Geonomos*, 21(2): 102-110
- Sánchez, J.P., Simões, L.S.A., Martins, L.E.B. (2014). Estratigrafia e estrutura do Cerro do Jarau: nova proposta. *Brazilian Journal of Geology*. 44 (2).
- Sanguinetti, P. I. M. (2021). Inventario de geositios para la geoconservacion en los Geositios Balneario Don Ricardo, Piedras Blancas y Falla Villasboas, en el Geoparque Mundial UNESCO Grutas del Palacio. Trabajo final de Grado. UDELAR, Uruguay.
- Schobbenhaus, C. & Bley de Brito Neves, B. (2003). A geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana. In: *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. L.A.Bizzu, C. Schobbenhaus, R.M. Vidotti e J.H. Gonçalves (Eds). CPRM, Brasília.
- Sell, J.C. (2017). Estradas paisagísticas: estratégia de promoção e conservação do patrimônio paisagístico do Pampa Brasil - Uruguai. Tese Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.
- Sarmiento, G., N., C., (2005). Aspecto socioeconómico del patrimonio geológico, IV Seminario Recursos Geológicos, Ambiente e Ordenamento do Território Vila Real, pp. 9-12.
- Serra, J.P. (2019). Revisión y propuesta de mejora del modelo de gestión de la geodiversidad de los geoparques mundiales de la UNESCO. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, España.
- Serrano, E. & Gonzalez-Turba, J.J. (2005). Assessment of geomorphosites in natural protected areas: the Pico's Europa National Park (Spain). *Geomorphologie: Relief, Processus, Environment*, 3: 197-208.
- Serrano, E. & Ruiz-Flaño, E.C. (2007). Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial: el caso de Tiermes Caracena (Soria). *Boletín de la A.G.E*, 45:79-98.
- Sharples, C. (2002). Concepts and principles of geoconservation. *Tasmanian Parks & Wildlife Service*

- SIGEP – Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (2002) Formulário de Proposta de Sítio Geológico ou Paleobiológicos do Brasil. <http://sigep.cprm.gov.br/formulario.htm>. Acceso en 14 de abr. de 2022.
- Soto, M. (2014). Geología, geofísica y geoquímica de la región de Pepe Núñez, Cuenca Norte(Uruguay): M.S. thesis, PEDECIBA — UDELAR
- Soto, M., & Perea, D. (2005). Caracterización morfológica de dientes de terópodos de la Formación Tacuarembó (Jurásico Tardío–Cretácico Temprano), Uruguay. VIII Jornadas de Zoología del Uruguay (Montevideo). Actas, 107.
- Soto, M., & Perea, D. (2008). A ceratosaurid (dinosauria, theropoda) from the late jurassic-early cretaceous of Uruguay. *J. Vertebr. Paleontol.* 28 (2): 439-444.
- Soto, M., Perea, D., (2010). Late Jurassic lungfishes (Dipnoi) from Uruguay, with comments on the systematics of Gondwanan ceratodontiforms. *J. Vertebr. Paleontol.* 30 (4): 1049-1058.
- Soto, M., De Carvalho, M. S., Maisey, J. G., Perea, D., & Silva, J. D. (2012). Coelacanth remains from the Late Jurassic–? earliest Cretaceous of Uruguay: the southernmost occurrence of the Mawsoniidae. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 32(3), 530-537.
- Soto, M., Toriño, P., & Perea, D. (2020). Ceratosaurus (Theropoda, Ceratosauria) teeth from the Tacuarembó Formation (Late Jurassic, Uruguay). *Journal of South American Earth Sciences*, 103: 102781.
- Soto, M., Toriño, P., & Perea, D. (2020). A large sized megalosaurid (Theropoda, Tetanurae) from the late Jurassic of Uruguay and Tanzania. *Journal of South American Earth Sciences*, 98: 102458.
- Soto, M., Montenegro, F., Toriño, P., Mesa, V., & Perea, D. (2021). A new ctenochasmatid (Pterosauria, Pterodactyloidea) from the late Jurassic of Uruguay. *Journal of South American Earth Sciences*, 111, 103472.

- Soto, M., Delcourt, R., Langer, M. C., & Perea, D. (2022). The first record of Abelisauridae (Theropoda: Ceratosauria) from Uruguay (Late Jurassic, Tacuarembó Formation). *Historical Biology*, 1-10.
- Stewart, k., Turner, S., Kelley, S., Hawkesworth, C., Kirstein, L. and Mantovani, M., 1996. 3-d 40Ar/39Ar Geochronology in the Paraná continental flood basalt province: *Earth and Planetary Science Letters*, 143: 95-109.
- Tambussi C, Ubilla M, Acosta Hospitaleche C, Perea D (2005) Fossil records and palaeoenvironmental implications of *Chloephaga picta* (Gmelin, 1789) (Magellan Goose) and *Cariama cristata* (Linnaeus, 1766) (*Seriema*) from the Late Pleistocene of Uruguay. *N J Geol Palaeontol Mh* 5:257–268
- Techera, J, Loureiro, J, Spoturno, J, (2007). Geology and stratigraphy of the Los Catalanes gemmological District Artigas, Uruguay; *Geologia y Estratigrafía del Distrito Gemológico Los Catalanes - Artigas, Uruguay*. Uruguay: N. p., 2007. Web.
- Techera, J. (2011). Agate and Amethyst Project. Detailed Exploration of amethyst deposits. Gemological District Los Catalanes - Artigas, Uruguay; *Proyecto Agatas y Amatistas. Exploración detallada de yacimientos de amatistas. Distrito gemológico Los Catalanes - Artigas, Uruguay*. . Web.
- Thomaz Filho, A., MIZUSAKI, A. M. P., MILANI, E. J., & DE CESERO, P. E. D. R. O. (2000). Rifting and magmatism associated with the South America and Africa break up. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1), 017-019.
- Toriño, P., Soto, M., Perea, D., de Carvalho, M.S.S. (2021). New findings of the coelacanth *Mawsonia* Woodward (Actinistia, Latimerioidei) from the Late Jurassic – Early Cretaceous of Uruguay: Novel anatomical and taxonomic considerations and an emended diagnosis for the genus. *Journal of South American Earth Sciences*. (107):103054.
- Ubilla, M. (2008). Postcranial morphology of the extinct caviine rodent *Microcavia criolloensis* (late Pleistocene, South America). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 154(4), 795-806.

- Ubilla, M., Piñeiro, G., & Quintana, C. A. (1999). A new extinct species of the genus *Microcavia* (Rodentia, Caviidae) from the upper Pleistocene of the northern basin of Uruguay, with paleobiogeographic and paleoenvironmental comments. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 34(3), 141-149.
- Ubilla, M.; Veroslavsky, G. y Martínez, S. (2003) El Mesozoico. En: Veroslavsky, G., Ubilla, M. y Martínez, S. (eds), *Cuencas Sedimentarias de Uruguay: Geología, Paleontología y Recursos Naturales-Mesozoico*. DI.R.A.C., Montevideo, 11-32.
- Ubilla, M., Perea, D., Aguilar, C. G., & Lorenzo, N. (2004). Late Pleistocene vertebrates from northern Uruguay: tools for biostratigraphic, climatic and environmental reconstruction. *Quaternary International*, 114(1), 129-142.
- Ubilla, M., Perea, D., Goso Aguilar, C., & Lorenzo, N. (2004). Late Pleistocene vertebrates from northern Uruguay: tools for biostratigraphic, climatic and environmental reconstruction. *Quaternary International*, 114(1), 129–142. doi:10.1016/s1040-6182(03)00048-x
- Ubilla M, Perea D, Bond M, Rinderknecht A (2011) The first cranial remains of the Pleistocene Proterotheriid *Neolicaphrium Frenguelli*, 1921 (Mammalia, Litopterna): a comparative approach. *J Vert Paleontol* 31(1):193–201
- Ubilla, M., & Martínez, S. (2016). *Geology and Paleontology of the Quaternary of Uruguay*. Montevideo: Springer International Publishing.
- Ubilla, M., Corona, A., Rinderknecht, A., Perea, D., & Verde, M. (2016). Marine Isotope Stage 3 (MIS 3) and continental beds from northern Uruguay (Sopas Formation): paleontology, chronology, and climate. *Marine Isotope Stage 3 in Southern South America*, 60 KA BP-30 KA BP, 183-205.
- Umpierre M & Halpern M (1971): Edades Rb-Sr en las rocas cristalinas del sur de la República Oriental del Uruguay. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 26(2): 133-151.

- UNESCO 1 <https://www.unesco.org/en/igpp/geoparks> (Visitado el 05/11/2023)
- UNESCO 2 <https://www.unesco.org/en/igpp/geoparks/about#main-focus-areas> (Visitado el 10/05/2023).
- UNESCO. (2004). Guía para la creación y gestión de geoparques. París: UNESCO. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001342/134268s.pdf>
- UNESCO (2008). Operational Guidelines for the Implementatin of the World Heritage Convention; (Disponible en whc.unesco.org)
- UNESCO, 2010. Global Geoparks Network. Guidelines and criteria for National Geoparks seeking UNESCO's assistance to join the Global Geoparks Network. Recuperado de [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/sc\\_geoparcs\\_2010guidelines.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/sc_geoparcs_2010guidelines.pdf)
- UNESCO. (2015). Statutes of the International Geoscience and Geoparks Programme and Operational Guidelines for UNESCO Global Geoparks. 38 C/14, UNESCO, Paris. Recuperado de [http://www.globalgeopark.org/UploadFiles/2012\\_9\\_6/IGGP\\_EN\\_Statutes\\_and\\_Guidelines.pdf](http://www.globalgeopark.org/UploadFiles/2012_9_6/IGGP_EN_Statutes_and_Guidelines.pdf).
- UNESCO. (2021). Geoparks: UNESCO Global Geoparks. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/>
- UNESCO. (2022). Geoparks: UNESCO Global Geoparks. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/>
- Valle del Lunarejo. Disponible en: <https://valledellunarejo.uy/>. Acceso en 2 de abr 2023.
- Verde Cataldo, M., Genise, J. F., Ubilla Gutiérrez, M., & Jiménez, J. J. (2002). Cámaras de estivación de lombrices en sedimentos del pleistoceno tardío de Uruguay (formación sopas), implicancias icnológicas y paleoambientales.[Trabajos presentados]. Jornadas Uruguayas del Cenozoico. Montevideo, UY. 11-13 dic. 2002.

- Verde, M., Ubilla, M., Jiménez, J. J., & Genise, J. F. (2007). A new earthworm trace fossil from paleosols: aestivation chambers from the Late Pleistocene Sopas Formation of Uruguay. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 243(3-4), 339-347.
- Veroslavsky, G., Ubilla, M., Martínez, S. (eds.), (2006). *Cuencas Sedimentarias de Uruguay: Paleozoico*. Montevideo (Uruguay), Dirac - Facultad de Ciencias, 325pp.
- Walther, K. (1911) Über permotriassische Sandsteine und Eruptivdecken aus der Norden der Republik Uruguay. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie, und Paläontologie*, 31: 575–609.
- Whitford, W. G. (2001). *Ecology of Desert Systems*. Academic Press.
- Wimbledon, W.A., Smith, M.P., & Farrant, A.R. (2000). The English Channel: Geology and geophysics of the Western Approaches. *Geological Society, London, Memoirs*, 22(1).
- Wimbledon WA (2011) Geosites—a mechanism for protection, integrating national and international valuation of heritage sites. *Geologia dell’Ambiente, supplemento n. 2/2011:13–25*
- Zouros, N. (2004). The European Geoparks Network - Geological heritage protection and local development. *Episodes*, 27 (3), 165-171.
- Zouros, N., & McKeever, P. (2004). *Geoparks: Conservation, Management and Interpretation*. Elsevier.
- Zouros, N., & Valiakos, I. (2010). GEOPARKS MANAGEMENT AND ASSESSMENT. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 43(2), 965–977. <https://doi.org/10.12681/bgsg.11262>

## ANEXO A - FICHAS DE CARACTERIZACIÓN

### 1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad

Bocamina Ernestinita (Nº1)

### 2. Valor

Turístico / Educativo

### 3. Localización

Localidad

Minas de Corrales

Coordenadas

x

645280

Departamento

Rivera

y

6505443

### 4. Tipología

Astroblema

Espeleológico

Estratigráfico

Geomorfológico

Historia de la geología, minería, paleontología

Hidrogeológico

Tectono-estructural

Ígneo

Metamórfico

Metalogénico

Paleoambiental

Mineralógico

Sedimentario

Paleontológico

Otro(s)

Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural

### 5. Categoría temática

Mineralizaciones metálicas precámbricas - MMP

6. Propietario  Público  Privado

### 7. ¿Se encuentra en un área protegida?

No  Sí ¿Cuál? .....

### 8. Accesibilidad

Fácil  Mediana  Difícil

### Descripción

La Bocamina se encuentra ubicada debajo del poblado de Minas de Corrales, con acceso por la calle Senda de Paso. Se encuentra aproximadamente a 100 metros del sitio conocido como "Polvorín", que son los restos de una construcción que solía utilizarse como depósito de explosivos en la explotación del oro.

### 9. Estado de conservación

Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado

### 10. Tipo de sitio

Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

La bocamina Ernestinita es una de las cuatro galerías subterráneas que atraviesan el pueblo de Minas de Corrales. Representa un importante registro de la explotación de oro en el arroyo Corrales, realizada por la empresa Hermanos Mining en 1882. Es un testimonio histórico de la actividad minera en la región.

**12. Limitaciones de uso:**

No     Sí    ¿Cuál? .....

**13. Referencias bibliográficas**

Mención en Chirico, S. (2005). Pradera, oro y frontera. Revista de la Sociedad Uruguaya de Geología. No. 12.

Mención en Palermo, E. (2019). Paisaje cultural minero: la región aurífera de Minas de Corrales (Uruguay) a través de la fotografía de época (siglo XIX). Estudios Historicos – CDHRPyB - Año XI - N.º 22 – ISSN: 1688-5317

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

Localidad fosilífera Martinote (Nº2)

**2. Valor**

Científico

**3. Localización**

Localidad Sauce de Batoví

Coordenadas x 607186

Departamento Tacuarembó

y 6470865

**4. Tipología**

- Astroblema
- Estratigráfico
- Historia de la geología, minería, paleontología
- Tectono-estructural
- Metamórfico
- Paleoambiental
- Sedimentario
- Otro(s)
- Espeleológico
- Geomorfológico
- Hidrogeológico
- Ígneo
- Metalogenético
- Mineralógico
- Paleontológico

Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural

**5. Categoría temática**

Cuencas Gondwanicas - CG

**6. Propietario**  Público  Privado

**7. ¿Se encuentra en un área protegida?**

No  Si ¿Cuál? .....

**8. Accesibilidad**

Fácil  Mediana  Difícil

**Descripción**

Los afloramientos de este geositio se encuentran a los lados de la ruta Nº59 (camino de tierra), a 26 km de la ciudad de Tacuarembó. La exposición ocurre por más de 2.000 m siguiendo el camino y por caminos perpendiculares, siendo en realidad un área.

**9. Estado de conservación**

Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado

**10. Tipo de sitio**

Punto  Sección  Área  Mirador

### 11. Justificación o importancia científica

En esta localidad se han descrito varios ejemplares de la fauna del Miembro Batoví (sensu Perea *et al.*, 2007) de la Formación Tacuarembó (sensu Bossi, 1966). Se han encontrado bancos osarios, dientes de tiburón, restos de tortugas y dientes de terópodos, lo que lo convierte en un sitio importante para los paleontólogos que llevan a cabo actividades de investigación sobre el Jurásico tardío.

### 12. Limitaciones de uso:

No     Sí    ¿Cuál? .....

### 13. Referencias bibliográficas

Matías Soto & Daniel Perea (2010). Late Jurassic lungfishes (Dipnoi) from Uruguay, with comments on the systematics of Gondwanan ceratodontiforms. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30(4), 1049-1058.

Daniel Perea, Martín Ubilla & Alejandra Rojas (2003). First report of theropods from the Tacuarembó Formation (Late Jurassic-Early Cretaceous), Uruguay. *Alcheringa: An Australasian Journal of Palaeontology*, 27(2), 79-83.

Matías Soto, Pablo Toriño & Daniel Perea (2020). Ceratosaurus (Theropoda, Ceratosauria) teeth from the Tacuarembó Formation (Late Jurassic, Uruguay). *Journal of South American Earth Sciences*, 103.

Otros: Perea, 2007; Perea *et al.*, 2001; 2003; Soto and Perea, 2008, 2010

**1. Nombre del geosito / sitio de geodiversidad**

Huellas de Dinosaurios de la Cuchilla del Ombú (N°3)

**2. Valor** Científico

**3. Localización**

Localidad Cuchilla de Ombú

Coordenadas x 623121

Departamento Tacuarembó

y 6485389

**4. Tipología**

- Astroblema
- Estratigráfico
- Historia de la geología, minería, paleontología
- Tectono-estructural
- Metamórfico
- Paleoambiental
- Sedimentario
- Otro(s)
- Espeleológico
- Geomorfológico
- Hidrogeológico
- Ígneo
- Metalogenético
- Mineralógico
- Paleontológico

Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural

**5. Categoría temática**

Cuencas Gondwanicas - CG

**6. Propietario**  Público  Privado

**7. ¿Se encuentra en un área protegida?**

No  Si ¿Cuál? Monumento Histórico Nacional (Res N°810/013)

**Accesibilidad**

Fácil  Mediana  Difícil

**Descripción**  
Está ubicado en la ruta 26 en el km 262 del lado sur de la carretera

**9. Estado de conservación**

Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado

**10. Tipo de sitio**

Punto  Sección  Área  Mirador

### 11. Justificación o importancia científica

Este sitio paleontológico constituye el primer registro de pisadas fósiles (icnofósiles) tanto de vertebrados como de dinosaurios para el Uruguay. Está compuesto por dos pistas (conjunto de huellas consecutivas dejadas por el mismo animal) de saurópodo y una huella aislada de ornitópodo sobre un afloramiento de roca arenisca de la formación geológica Tacuarembó. Este tipo de icnofósiles brinda una oportunidad para comprender mejor la estructuración de las comunidades animales que habitaban esta región en la era Mesozoica durante la transición de los períodos Jurásico Tardío - Cretácico Temprano.

### 12. Limitaciones de uso:

No     Sí    ¿Cuál? .....

### 13. Referencias bibliográficas

Valeria Mesa & Daniel Perea (2015). Primer registro de huellas de terópodos y ornitópodos y descripción detallada de rastros de saurópodos de la Formación Tacuarembó (Jurásico tardío-Cretácico temprano) de Uruguay. *Ichnos*, 22(2), 109-121. DOI: 10.1080/10420940.2015.1030075

Dentzien-Dias *et al.* (2014). Huellas de vertebrados y madrigueras del Jurásico superior de Brasil y Uruguay. *Ichnology of Latin America Selected Papers*, (2), 129-140.

Mesa, V.; Perea, D.; Corona, A.; Toriño, P.; Samaniego, L. & Soto, M. (2010). Primeras pisadas fósiles de vertebrados de Uruguay: saurópodos en el Miembro Batoví de la Formación Tacuarembó (Jurásico tardío-Cretácico temprano). En: CONGRESO URUGUAYO DE GEOLOGÍA, 6, 2010. Libro de Resúmenes, Minas, p. 11.

Mesa, V.; Soto, M. & Perea, D. (2008). La fauna del Jurásico tardío de Uruguay: una revisión y nuevos hallazgos. En: JORNADAS DE ZOOLOGÍA DE URUGUAY, 9, 2008. Resúmenes, Montevideo, p. 63.

Mesa, V. & Perea, D. (2010). Primer registro de huellas fósiles de saurópodos (una pista "narrow gauge") en la Formación Tacuarembó (Jurásico tardío-Cretácico temprano), Uruguay. En: CONGRESO ARGENTINO DE PALEONTOLOGÍA Y BIOESTRATIGRAFÍA, 10/CONGRESO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGÍA, 7, 2010. Resúmenes, La Plata, p. 138-139.

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

Paleodunas de la Cuchilla del Ombú (N°4)

**2. Valor**

Científico / Educativo

**3. Localización**

Localidad

Cuchilla de Ombú

Coordenadas

x

622612

Departamento

Tacuarembó

y

6485766

**4. Tipología** Astroblema Espeleológico Estratigráfico Geomorfológico Historia de la geología, minería, paleontología Hidrogeológico Tectono-estructural Ígneo Metamórfico Metalogenético Paleoambiental Mineralógico Sedimentario Paleontológico Otro(s)Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural**5. Categoría temática**

Cuencas Gondwánicas - CG

**6. Propietario**  Público  Privado**7. ¿Se encuentra en un área protegida?** No  Sí ¿Cuál? Monumento Histórico Nacional (Res N°810/013)**8. Accesibilidad** Fácil  Mediana  Difícil**Descripción**

Está ubicado en la ruta 26 en el km 263 del lado norte de la carretera, a unos 700 metros del Geositio Pisadas de Dinosaurios.

**9. Estado de conservación** Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado**10. Tipo de sitio** Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

Esta sección se encuentra dentro de la zona declarada Monumento Histórico Nacional y representa paleodunas que permiten reconstruir las condiciones climáticas del Juro-eocretácico. Además de la información paleoambiental y climática, en esta localidad también se encuentran otros registros fósiles constituyentes de la fauna Juro-eocretácica (dientes de peces pulmonados, tiburones, terópodos, etc) y un nivel en las facies arenosas eólicas en donde la estratificación se halla perturbada por la actividad de vertebrados.

**12. Limitaciones de uso:**

No     Sí ¿Cuál? .....

**13. Referencias bibliográficas**

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

Subida de Pena (N°5)

**2. Valor**

Científico/Turístico / Educativo

**3. Localización**

Localidad

Rural

Coordenadas

x

605118

Departamento

Riviera

y

6553404

**4. Tipología** Astroblema Espeleológico Estratigráfico Geomorfológico Historia de la geología, minería, paleontología Hidrogeológico Tectono-estructural Ígneo Metamórfico Metalogenético Paleoambiental Mineralógico Sedimentario Paleontológico Otro(s)Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural**5. Categoría temática**

Cuencas Gondwánicas - CG

**6. Propietario**  Público  Privado**7. ¿Se encuentra en un área protegida?** No  Si ¿Cuál? Paisaje: Bajada de Pena

(Ley 14.040, Res. 408/981, 15/08/1981)

**8. Accesibilidad** Fácil  Mediana  Dificil**Descripción**

Ubicada a 65 kilómetros de la ciudad de Riviera y a 22 kilómetros de Tranqueras, sobre el lado Norte de la ruta N° 30

**9. Estado de conservación** Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado**10. Tipo de sitio** Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

Esta sección expone de forma excepcional las paleodunas del Miembro Rivera de la Formación Tacuarembó, donde es posible estudiar los procesos eólicos que dominaron el período semiárido del Paleodesierto de Botucatu. Además de las estructuras sedimentarias, en esta región se destacan las escarpas de la cuesta basáltica (Cuchilla Negra), formando uno de los paisajes más emblemáticos del Valle de Lunajero.

**12. Limitaciones de uso:**

No     Si    ¿Cúal? .....

**13. Referencias bibliográficas**

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

Pilares de Klinger (N°6)

**2. Valor**

Turístico / Educativo

**3. Localización**

Localidad Zapará

Coordenadas x 587462

Departamento Tacuarembó

y 6502230

**4. Tipología**

- Astroblema
- Estratigráfico
- Historia de la geología, minería, paleontología
- Tectono-estructural
- Metamórfico
- Paleoambiental
- Sedimentario
- Otro(s)
- Espeleológico
- Geomorfológico
- Hidrogeológico
- Ígneo
- Metalogenético
- Mineralógico
- Paleontológico

Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural

**5. Categoría temática**

Cuencas Gondwanicas - CG

**6. Propietario**  Público  Privado

**7. ¿Se encuentra en un área protegida?**

No  Si ¿Cuál? .....

**8. Accesibilidad**

Fácil  Mediana  Difícil

**Descripción**

Los pilares se encuentran a 17 kilómetros de la ciudad de Tacuarembó, en el Campo Militar N° 2 "Zapará". La zona de los pilares dista aproximadamente 2 km de la base del Campo Militar y puede visitarse en automóvil hasta cierto punto, después de lo cual la visita se realiza a pie.

**9. Estado de conservación**

Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado

**10. Tipo de sitio**

Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

Los pilares son testimonios de la sedimentación fluvio-eólica que se produjo en el Juroeo-Cretácico y conservan estructuras sedimentarias que proporcionan importantes datos paleoambientales y paleoclimáticos. Además de las estructuras sedimentarias, su patrón de erosión ayuda a contar la evolución del relieve uruguayo y muestra areniscas friables que se erosionaron siguiendo el patrón de pilares, a diferencia de otras areniscas de la misma formación geológica, que, al estar más silicificadas, se erosionaron de forma diferente, escalonada.

**12. Limitaciones de uso:**

No  Sí ¿Cuál? Entrada controlada por el Ministerio de la Defensa

**13. Referencias bibliográficas**

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

Mina Oliveira Minerals (N°7)

**2. Valor**

Turístico

**3. Localización**

Localidad

Los Catalanes

Coordenadas x

562553

Departamento

Artigas

y

6585312

**4. Tipología** Astroblema Espeleológico Estratigráfico Geomorfológico Historia de la geología, minería, paleontología Hidrogeológico Tectono-estructural Ígneo Metamórfico Metalogénico Paleoambiental Mineralógico Sedimentario Paleontológico Otro(s)Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural**5. Categoría temática**

Magmatismo Mesozoico - MM

**6. Propietario**  Público  Privado**7. ¿Se encuentra en un área protegida?** No Si

¿Cuál?

**8. Accesibilidad** Fácil Mediana Difícil**Descripción**

Se accede por la ruta 30, cerca del km 175, entrando al Suroeste por el camino Meneses, que lleva al pueblo de La Bolsa. Para visitar las minas se debe reservar con anticipación, uno de los lugares que ofrece este tipo de visitas es el Hotel Casino San Eugenio.

**8. Estado de conservación** Buen estado Medianamente alterado Altamente alterado**10. Tipo de sitio** Punto Sección Área Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

El servicio geológico de Uruguay llevó a cabo un estudio sobre el distrito de Los Catalanes, el cual se destaca por su valor en el ámbito mineralógico. En este sitio se encuentran depósitos de amatistas de alta calidad, las cuales son consideradas como piedras semipreciosas debido a su intensa tonalidad violeta. Las amatistas se encuentran en el interior de geodas que se hallan en roca basáltica de la Formación Arapey. Estas gemas son el resultado del magmatismo intenso que se produjo durante la separación de Sudamérica y África, y la apertura del océano Atlántico Sur, que tuvo lugar hace alrededor de 135 millones de años durante el Mesozoico. Recientemente, la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS-Unesco) ha reconocido a Los Catalanes como Sitio de Patrimonio Geológico Mundial, incluyéndolo en su lista de los 100 lugares más destacados.

**12. Limitaciones de uso:**

No     Si    ¿Cúal? .....

### 13. Referencias bibliográficas

"Léo A. Hartmann, Wilson Wildner, Lauren C. Duarte, Sandro K. Duarte, Juliana Pertille, Karine R. Arena, Laura C. Martins, Norberto Lessa Dias (2010). Geochemical and scintillometric characterization and correlation of amethyst geode-bearing Paraná lavas from the Quaraí and Los Catalanes districts, Brazil and Uruguay. *Geological Magazine*, 147(6), 954-970. doi: <https://doi.org/10.1017/S0016756810000592>

Hartmann, L. A., da Cunha Duarte, L., Massonne, H. J., Michelin, C., Rosenstengel, L. M., Bergmann, M., ... & Wildner, W. (2012). Sequential opening and filling of cavities forming vesicles, amygdales and giant amethyst geodes in lavas from the southern Paraná volcanic province, Brazil and Uruguay. *International Geology Review*, 54(1), 1-14.

J. Pertille, L. A. Hartmann, S. K. Duarte, K. Arena, M. L. C. C. Rosa, E. G. Barboza (2013). Gossan characterization in the Quaraí and Los Catalanes amethyst geode districts (Brazil and Uruguay), Paraná volcanic province, using rock geochemistry and gamma-spectrometry. *Journal of Geochemical Exploration*, 124, 127-139.

Morteani, G., Kostitsyn, Y., Preinfalk, C. *et al.* (2010). The genesis of the amethyst geodes at Artigas (Uruguay) and the paleohydrology of the Guaraní aquifer: structural, geochemical, oxygen, carbon, strontium isotope and fluid inclusion study. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 99, 927-947. doi: <https://doi.org/10.1007/s00531-009-0439-z>

L. C. Duarte, L. A. Hartmann, M. A. Z. Vasconcellos, J. T. N. Medeiros, T. Theye (2009). Epigenetic formation of amethyst-bearing geodes from Los Catalanes gemological district, Artigas, Uruguay, southern Paraná Magmatic Province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 184(3-4), 427-436.

Duarte, L. C., Hartmann, L. A., Ronchi, L. H. *et al.* (2011). Stable isotope and mineralogical investigation of the genesis of amethyst geodes in the Los Catalanes gemological district, Uruguay, southernmost Paraná volcanic province. *Mineralium Deposita*, 46, 239-255. doi: <https://doi.org/10.1007/s00126-010-0323-6>

Faraone, M. (2022). Valoración del patrimonio geológico en Uruguay: hacia la definición de contextos geológicos como estrategia para un inventario nacional de geositos. In XIV Reunión de la Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España, pp. 45-48.

Techera, J., Loureiro, J., Spoturno, J., miem gub uy, judith loureiro@dinamige, and miem gub uy, jorge spoturno@dinamige. (2007). Geology and stratigraphy of the Los Catalanes gemmological District Artigas, Uruguay; *Geología y Estratigrafía del Distrito Gemológico Los*

Catalanes - Artigas, Uruguay. Uruguay.

Techera, J. (2011). Agate and Amethyst Project. Detailed Exploration of amethyst deposits. Gemological District Los Catalanes - Artigas, Uruguay; Proyecto Agatas y Amatistas. Exploracion detallada de yacimientos de amatistas. Distrito gemologico Los Catalanes - Artigas, Uruguay. Uruguay.

Arduin Rode, A. F., Sosa, G., van den Kerkhof, A., Kruger, Y., Oyahantçabal, P., Wemmer, K., Siegesmund, S. (2022). Uruguayan amethyst and agate deposits: mineralogy and fluid inclusions. In X Congreso Uruguayo de Geologia, Montevideo."

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

Establecimiento Bichadero (N°8)

**2. Valor**

Turístico

**9. Localización**

Localidad

Laureles

Coordenadas x

596546

Departamento

Tacuarembó

y

6530086

**10. Tipología**

Astroblema

Espeleológico

Estratigráfico

Geomorfológico

Historia de la geología, minería, paleontología

Hidrogeológico

Tectono-estructural

Ígneo

Metamórfico

Metalogénico

Paleoambiental

Mineralógico

Sedimentario

Paleontológico

Otro(s)

Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural

**11. Categoría temática**

Magmatismo Mesozoico - MM

**12. Propietario**  Público  Privado

**13. ¿Se encuentra en un área protegida?**

No  Sí ¿Cuál? Se encuentra en proceso de ingreso al SNAP

Laureles-Cañas (DINAMA, 2009)

**14. Accesibilidad**

Fácil  Mediana  Difícil

**Descripción**

Se encuentra a 60 kilómetros de la ciudad de Tacuarembó y a 88 kilómetros de Minas de Corrales.

El acceso es por la vía Brigadier Gral. Fructuoso Rivera/Trajeto 5

**15. Estado de conservación**

Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado

**10. Tipo de sitio**

Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

Es una propiedad rural dedicada a la ganadería, junto con algunos proyectos de producción responsable y ecoturismo orientados a la conservación de la biodiversidad que se encuentra ubicada en la Cuchilla de Laureles, estando en la zona central de la región comprendida por las Quebradas del Norte, entre los arroyos Las Cañas y Laureles. En esta región es posible observar paredes basálticas y diferentes tipos de basaltos y estructuras asociadas al magmatismo mesozoico.

**12. Limitaciones de uso:**

No  Sí ¿Cuál? .....

**13. Referencias bibliográficas**

Tabakian, G. (2017). Plantas medicinales vinculadas a tradiciones indígenas en el norte uruguayo. Trama, (8). Recuperado de <http://auas.org.uy/trama/index.php/Trama/article/view/133>

Rivero, P., Azpiroz, A. (2018). Ensamblajes de aves de la Cuchilla de Laureles: un área prioritaria para la conservación en los campos del norte de Uruguay. Ornitología Neotropical, 29, 59-70.

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

Mirador Valle Éden (N°9)

**2. Valor**

Turístico

**3. Localización**

Localidad Valle Éden

Coordenadas x 575663

Departamento Tacuarembó

y 6477867

**4. Tipología**

- Astroblema
- Estratigráfico
- Historia de la geología, minería, paleontología
- Tectono-estructural
- Metamórfico
- Paleoambiental
- Sedimentario
- Otro(s)
- Espeleológico
- Geomorfológico
- Hidrogeológico
- Ígneo
- Metalogenético
- Mineralógico
- Paleontológico

Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural

**5. Categoría temática**

Magmatismo Mesozoico – MM

**6. Propietario**  Público  Privado

**7. ¿Se encuentra en un área protegida?**

No  Si ¿Cuál? .....

**8. Accesibilidad**

Fácil  Mediana  Difícil

**Descripción**

Está en en Valle Edén, que se accede por la Ruta 26 en el km 208. Está en el camino que va a la localidad de Tambores desde el museo, y luego de pasar por la Cueva del Chivo.

**9. Estado de conservación**

Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado

**10. Tipo de sitio**

Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

Es un lugar donde se puede ver el espesor y la estructura de los derrames de basalto de la Fm. Arapey aflorando en paredones de más de 15 metros. Desde este punto también se pueden ver las Quebradas del Norte (cuesta basáltica) y en los alrededores del mirador es posible observar diferentes litologías asociadas al basalto, como basaltos con textura vesicular y areniscas "fritas".

**12. Limitaciones de uso:**

No     Si    ¿Cuál? .....

**13. Referencias bibliográficas**

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

Parque Gran Bretaña (N°10)

**2. Valor**

Turístico

**3. Localización**

Localidad

Rivera

Coordenadas

x

633711

Departamento

Rivera

y

6584520

**4. Tipología** Astroblema Espeleológico Estratigráfico Geomorfológico Historia de la geología, minería, paleontología Hidrogeológico Tectono-estructural Ígneo Metamórfico Metalogenético Paleoambiental Mineralógico Sedimentario Paleontológico Otro(s)Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural**5. Categoría temática**

Magmatismo Mesozoico - MM

**6. Propietario**  Público  Privado**7. ¿Se encuentra en un área protegida?** No  Sí ¿Cuál? Monumento Histórico Nacional**8. Accesibilidad** Fácil  Mediana  Difícil**Descripción**

El Parque Gran Bretaña es un parque municipal ubicado a 7 km al Oeste de la ciudad de Rivera. Este parque es conocido por sus características naturales y por ser un lugar popular para la recreación y el esparcimiento de los riverenses.

**9. Estado de conservación** Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado**10. Tipo de sitio** Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

Comprende 50 há agrestes sobre la Cuchilla Negra conformada por basaltos de la Formación Arapey.

**12. Limitaciones de uso:**

No    Si   ¿Cúal? .....

**13. Referencias bibliográficas**



**11. Justificación o importancia científica**

En este yacimiento se encuentran fósiles de la megafauna del Plesitoceno.

**12. Limitaciones de uso:**

No     Si    ¿Cúal? .....

**13. Referencias bibliográficas**

Ubilla, M. Conrona, A., Rinderknecht, A., Perea, D., Verde. M. 2016. Marine Isotope Stage 3 (MIS 3) and Continental Beds from Northern Uruguay (Sopas Formation): Paleontology, Chronology, and Climate. Springer Earth System Sciences

Martín Ubilla, Daniel Perea , César Goso Aguilar , Nora Lorenzo. (2004). Late Pleistocene vertebrates from northern Uruguay: tools for biostratigraphic, climatic and environmental reconstruction. Quaternary International. 114 (1): 129-142

Martín Ubilla (2004). Mammalian biostratigraphy of Pleistocene fluvial deposits in northern Uruguay, South America. Proceedings of the Geologists' Association.115 (4): 347-357

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

Cerro Miriñaque (N°12)

**2. Valor**

Turístico / Educativo

**3. Localización**

Localidad

Ruta 29, km 5

Coordenadas x

629878

Departamento

Rivera

y

6510116

**4. Tipología** Astroblema Espeleológico Estratigráfico Geomorfológico Historia de la geología, minería, paleontología Hidrogeológico Tectono-estructural Ígneo Metamórfico Metalogénico Paleoambiental Mineralógico Sedimentario Paleontológico Otro(s)Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural**5. Categoría temática**

Unidades geomorfológicas y formas de relieve - UGyFR

**6. Propietario**  Público  Privado**7. ¿Se encuentra en un área protegida?** No Sí ¿Cuál? Paisaje: Zona de los Cerros del Miriñaque - Cerro

Grande y Cerro Chato (Ley 14.040, Res. 408/981, 15/08/1981)

**8. Accesibilidad** Fácil Mediana Difícil**Descripción**

Acceso por la Ruta 29, en el km 5. Hay excursiones que ofrecen una caminata guiada hasta la cumbre del Cerro Miriñaque. Es un sendero de dificultad media y dura 3 horas.

**9. Estado de conservación** Buen estado Medianamente alterado Altamente alterado**10. Tipo de sitio** Punto Sección Área Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

El sitio forma parte del paisaje de los cerros chatos y se encuentra en una ruta paisajística. Además presenta importancia ecológica por las palmeras enanas (*Syagrus paraguayenses*) que se encuentran en su cumbre.

**12. Limitaciones de uso:**

No     Si    ¿Cúal? .....

**13. Referencias bibliográficas**

Mención en Chebataroff, J. (1969). Relieves y costas. Nuestra terra N°3, p. 35.

Mención en Chebataroff, J. (1975). Revista Uruguaya de geografía - Segunda Série N°3. Asociación de geógrafos de Uruguay, p. 20.

Descripción en Sell, J. (2017). Estradas paisagísticas: estratégia de promoção e conservação do patrimônio paisagístico do pampa Brasil-Uruguaí. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria (RS).

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

Cerro Batoví (N°13)

**2. Valor**

Turístico / Educativo

**3. Localización**

Localidad

Coordenadas x

Departamento

y

**4. Tipología**

- Astroblema
- Estratigráfico
- Historia de la geología, minería, paleontología
- Tectono-estructural
- Metamórfico
- Paleoambiental
- Sedimentario
- Otro(s)
- Espeleológico
- Geomorfológico
- Hidrogeológico
- Ígneo
- Metalogenético
- Mineralógico
- Paleontológico

Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural

**5. Categoría temática**

Unidades geomorfológicas y formas de relieve - UGyFR

**6. Propietario**  Público  Privado

**7. ¿Se encuentra en un área protegida?**

No  Si ¿Cuál? -----

**8. Accesibilidad**

Fácil  Mediana  Difícil

**Descripción**

Se encuentra al Noroeste de la carretera nacional n.º 5, cerca del km 370. Está a 25 km de la capital del departamento de Tacuarembó, tiene una cota altimétrica de 225 m y un área basal de aproximadamente 2 ha.

**9. Estado de conservación**

Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado

**10. Tipo de sitio**

Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

El Cerro Batoví es un importante testigo de la sedimentación gondwánica que se preservó de la meteorización y de las acciones fluviales que modelaron el relieve de esta región durante el Terciario y Cuaternario. Además, presenta una importancia cultural para el departamento de Tacuarembó, siendo representado en su escudo. Batoví es una expresión guaraní que significa "seno femenino".

**12. Limitaciones de uso:**

No     Sí    ¿Cuál? .....

**13. Referencias bibliográficas**

Mención en Chebataroff, J. (1975). Revista Uruguaya de geografía - Segunda Série N°3. Asociación de geógrafos de Uruguay, p. 20.

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

Cerro Batoví Dorado (N°14)

**2. Valor**

Turístico

**3. Localización**

Aduana de Batoví

Coordenadas x

629675

Rivera

y

6510323

Localidad

Departamento

**4. Tipología**

- Astroblema
- Estratigráfico
- Historia de la geología, minería, paleontología
- Tectono-estructural
- Metamórfico
- Paleoambiental
- Sedimentario
- Otro(s)
- Espeleológico
- Geomorfológico
- Hidrogeológico
- Ígneo
- Metalogénico
- Mineralógico
- Paleontológico

Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural

**5. Categoría temática**

Unidades geomorfológicas y formas de relieve - UGyFR

**6. Propietario**  Público  Privado

**7. ¿Se encuentra en un área protegida?**

No  Si ¿Cuál? .....

**8. Accesibilidad**

Fácil  Mediana  Difícil

**Descripción**

El camino que conduce a la entrada del campo en el que se encuentra el Cerro Batoví Dorado está ubicado al Noreste de la Ruta 27, cerca del km 19. Otro punto de referencia para la entrada es la Aduana de Batoví, que se encuentra 300 m. Posee aproximadamente 1,6 ha de área

**9. Estado de conservación**

Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado

**10. Tipo de sitio**

Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

El Cerro Batoví Dorado es un importante testigo de la sedimentación gondwánica que se preservó de la meteorización y de las acciones fluviales que modelaron el relieve de esta región durante el terciario y cuaternario.

**12. Limitaciones de uso:**

No  Si ¿Cuál? .....

**13. Referencias bibliográficas**

**1. Nombre del geosito / sitio de geodiversidad**

Piedra Pintada (N°15)

**2. Valor**

Turístico / Educativo

**3. Localización**

Localidad

Rural

Coordenadas

x

559601

Departamento

Artigas

y

6624336

**4. Tipología**

Astroblema

Espeleológico

Estratigráfico

Geomorfológico

Historia de la geología, minería, paleontología

Hidrogeológico

Tectono-estructural

Ígneo

Metamórfico

Metalogenético

Paleoambiental

Mineralógico

Sedimentario

Paleontológico

Otro(s)

Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural

**Unidades Geomorfológicas y Formas de Relieve - UGyFR**

Desierto gondwánico Botucatu - DGB

**6. Propietario**

Público  Privado

**7. ¿Se encuentra en un área protegida?**

No  Si ¿Cuál? .....

**8. Accesibilidad**

Fácil  Mediana  Difícil

**Descripción**

Se ubica a unos 17 km de la ciudad de Artigas y a unos 8 km de distancia de la Ruta 30, en el Parque "Congreso de Abril". Para llegar a esta zona, existen dos caminos vecinales que parten de los km 139 y 144 de la Ruta 30.

**9. Estado de conservación**

Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado

**10. Tipo de sitio**

Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

La Pedra Pintada tiene una importancia geológica desde el punto de vista de ser una isla de areniscas de la Fm. Tacuarembó en medio de los basaltos de la Fm. Aparey. Es uno de los símbolos de Artigas y ha sido mencionada en varias obras que explican la evolución del paisaje de esta región.

**12. Limitaciones de uso:**

No     Sí    ¿Cuál? .....

**13. Referencias bibliográficas**

Nelly Nuñez de Alegre (1970). Aspectos geológicos y geomorfológicos. En: Los departamentos: Artigas. Editorial "Nuestra tierra". p.13

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

Las Marmitas (N°16)

**2. Valor**

Turístico / Educativo

**3. Localización**

Localidad

Coordenadas x

Departamento

y

**4. Tipología**

- Astroblema
- Estratigráfico
- Historia de la geología, minería, paleontología
- Tectono-estructural
- Metamórfico
- Paleoambiental
- Sedimentario
- Otro(s)
- Espeleológico
- Geomorfológico
- Hidrogeológico
- Ígneo
- Metalogenético
- Mineralógico
- Paleontológico

Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural

**5. Categoría temática**

Unidades Geomorfológicas y Formas de Relieve - UGyFR

**6. Propietario**  Público  Privado

**7. ¿Se encuentra en un área protegida?**

No  Si ¿Cuál? .....

**8. Accesibilidad**

Fácil  Mediana  Difícil

**Descripción**

Están ubicadas a 6 km de la estación ferroviaria, en el Valle Eden, El acceso es por camino de tierra.

**9. Estado de conservación**

Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado

**10. Tipo de sitio**

Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

Las Marmitas son un área de interés geomorfológico, que se compone de formaciones de arenisca huecas (pilancones en la Fm. Tacuarembó) con un diámetro y profundidad de hasta un metro. Estas formaciones presentan paredes cilíndricas y fondos cóncavos, que son resultado de la erosión provocada por la acción de los cantos rodados que son arrastrados por las aguas torrenciales que se producen durante precipitaciones intensas.

**12. Limitaciones de uso:**

No     Si    ¿Cuál? .....

**13. Referencias bibliográficas****1. Nombre del geosito / sitio de geodiversidad**

Pozo Hondo (N°17)

**2. Valor**

Turístico

**3. Localización**

Localidad

Valle Éden

Coordenadas x

573961

Departamento

Tacuarembó

y

6476658

**4. Tipología**

Astroblema

Espeleológico

Estratigráfico

Geomorfológico

Historia de la geología, minería, paleontología

Hidrogeológico

Tectono-estructural

Ígneo

Metamórfico

Metalogénico

Paleoambiental

Mineralógico

Sedimentario

Paleontológico

Otro(s)

Interés adicional:     Arqueológico     Histórico/cultural

**5. Categoría temática**

Unidades Geomorfológicas y Formas de Relieve - UGyFR

**6. Propietario**  Público     Privado

**7. ¿Se encuentra en un área protegida?**

No     Si    ¿Cuál? .....

**8. Accesibilidad**

Fácil     Mediana     Difícil

**Descripción**

Se encuentra entre Valle Edén y Tambores. Ruta 26 km 208 y se entra al Valle Edén, haciendo unos 6 km. Otra forma de llegar es desde Tambores, de donde está a unos 2 km, pero no hay cartelería.

**9. Estado de conservación**

Buen estado     Medianamente alterado     Altamente alterado

**10. Tipo de sitio**

Punto     Sección     Área     Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

El Pozo Hondo es una cascada de 15 m de altura que se alimenta de las lluvias y de las numerosas corrientes de agua que fluyen hacia la zona originando el Arroyo Jabonería. Este arroyo se encuentra en la Cuchilla de Haedo, que forma parte de las Quebradas del Norte (importancia geomorfológica)

**12. Limitaciones de uso:**

No     Si ¿Cuál? .....

**13. Referencias bibliográficas**

**1. Nombre del geosito / sitio de geodiversidad**

Cueva del Indio (N°18)

**2. Valor**

Turístico / Educativo

**3. Localización**

Localidad

Valle del Lunajero

Coordenadas x

604282

Departamento

Riviera

y

6557323

**4. Tipología** Astroblema Espeleológico Estratigráfico Geomorfológico Historia de la geología, minería, paleontología Hidrogeológico Tectono-estructural Ígneo Metamórfico Metalogénico Paleoambiental Mineralógico Sedimentario Paleontológico Otro(s)Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural**5. Categoría temática**

Unidades Geomorfológicas y Formas de Relieve - UGyFR

**6. Propietario**  Público  Privado**7. ¿Se encuentra en un área protegida?** No  Sí ¿Cuál? SNAP Valle del Lunarejo**8. Accesibilidad** Fácil  Mediana  Difícil**Descripción**

La entrada al sendero de la Cueva del Indio se encuentra en una propiedad privada, a 7 km al Norte del Centro de Visitantes del Parque Nacional Valle del Lunarejo. El acceso a la entrada de la propiedad se realiza en automóvil, y una vez allí, los visitantes pueden recorrer un sendero de aproximadamente 2 km para visitar los atractivos del lugar. El sendero está señalizado con carteles y tiene una dificultad moderada, lo que significa que puede ser accesible para niños y personas mayores, pero requiere un esfuerzo físico.

**9. Estado de conservación** Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado**10. Tipo de sitio** Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

La Cueva del Indio es un área que ofrece buenas exposiciones del contacto entre las areniscas de la Formación Tacuarembó y los basaltos de la Formación Arapey. Estas exposiciones permiten observar de cerca la transición entre estos dos tipos de rocas y apreciar las características geológicas y geomorfológicas asociadas. Es un lugar interesante para estudiar y comprender la relación entre las formaciones sedimentarias y volcánicas en la región.

**12. Limitaciones de uso:**

No     Sí    ¿Cuál? .....

**13. Referencias bibliográficas**

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

Cerro del Apretado (N°19)

**2. Valor**

Educativo

**3. Localización**

Localidad

Valle del Lunajero

Coordenadas x

610773

Departamento

Riviera

y

6551517

**4. Tipología** Astroblema Espeleológico Estratigráfico Geomorfológico Historia de la geología, minería, paleontología Hidrogeológico Tectono-estructural Ígneo Metamórfico Metalogénico Paleoambiental Mineralógico Sedimentario Paleontológico Otro(s)Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural**5. Categoría temática**

Unidades Geomorfológicas y Formas de Relieve - UGyFR

**6. Propietario**  Público  Privado**7. ¿Se encuentra en un área protegida?** No  Sí ¿Cuál? SNAP Valle del Lunajero**8. Accesibilidad** Fácil  Mediana  Difícil**Descripción**

Este sitio se encuentra ubicado sobre la Ruta 30, en el km 243. Está a una distancia de 6.2 km del sitio de geodiversidad Subida de Pena. En un entorno que presenta un aspecto serrano, donde el cerro muestra un conjunto de promontorios alargados.

**9. Estado de conservación** Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado**10. Tipo de sitio** Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

Se trata de un cerro que en su cumbre tiene una cantera en la que se explotó material granular para su empleo en caminería. En el cerro se exponen en la base areniscas rojizas con estratificación cruzada eólicas del Mb. Rivera, a las que se yuxtaponen basaltos vacuolares y un sill de una roca básica. Por otro lado, el Cerro del Apretado se caracteriza por ser un conjunto de cerros que presentan una diferencia de altura de 150 m desde la base. Estos cerros están compuestos en su cumbre por basaltos grises masivos pertenecientes a la Formación Arapey.

**12. Limitaciones de uso:**

No  Si ¿Cúal? -----

**13. Referencias bibliográficas**

**1. Nombre del geositio / sitio de geodiversidad**

La Bica (N°20)

**2. Valor** Turístico / Educativo

**3. Localización**

Localidad Ciudad de Rivera

Coordenadas x 639594

Departamento Rivera

y 6581003

**4. Tipología**

Astroblema

Espeleológico

Estratigráfico

Geomorfológico

Historia de la geología, minería, paleontología

Hidrogeológico

Tectono-estructural

Ígneo

Metamórfico

Metalogenético

Paleoambiental

Mineralógico

Sedimentario

Interés adicional:  Arqueológico  Histórico/cultural

**5. Categoría temática**

Sistema Acuífero Guaraní - SAG

**6. Propietario**  Público  Privado

**7. ¿Se encuentra en un área protegida?**

No  Si ¿Cuál? Patrimonio histórico (Resolución N° 2163/981)

**8. Accesibilidad**

Fácil  Mediana  Difícil

**Descripción**

Se encuentra en el centro de la ciudad de Rivera, próximo al límite entre Uruguay y Brasil, localizado en la calle Uruguay esquina Ceballos.

**9. Estado de conservación**

Buen estado  Medianamente alterado  Altamente alterado

**10. Tipo de sitio**

Punto  Sección  Área  Mirador

**11. Justificación o importancia científica**

Se trata de una descarga natural del sistema acuífero en el área del proyecto de Geoparque. Tiene una importancia geológica (hidrogeológica), económica y social (la ciudad de Rivera se abastece completamente de agua potable de este sistema), así por su relevancia para la conservación.

**12. Limitaciones de uso:**

No  Si ¿Cuál? .....

**13. Referencias bibliográficas**

## ANEXO B - PUNTAJES DE LA EVALUACIÓN CUANTITATIVA

### ANEXO B - I – Evaluación cuantitativa del Valor Científico

Tabla B 2: Parámetros de 1, 2 o 4 asignados para cada geositio para el VC

VALOR CIENTÍFICO (VC)		2	3	4	5	7	11
		Yacimiento paleontológico Martinote	Huellas de dinosaurio de Cuchilla del Ombú	Paleodunas de Cuchilla del Ombú	Subida de Pena	Mina Oliveira Minerals	La Estiba del Rio Cuareim
Criterios/indicadores	Peso						
A. Representatividad	30	4	4	2	2	4	4
B. Localidad clave	20	1	2	1	1	4	2
C. Conocimiento científico	5	4	4	2	2	4	4
D. Integridad	15	2	2	4	4	4	2
E. Diversidad Geológica	5	2	4	1	1	4	2
F. Rareza	15	2	4	2	1	4	4
G. Limitaciones de uso	10	4	2	2	4	2	4

Tabla B 1: Valor de los parámetros multiplicados por su peso y su total de la suma ponderada para el VC

VALOR CIENTÍFICO (VC)		2	3	4	5	7	11
		Yacimiento paleontológico Martinote	Huellas de dinosaurio de Cuchilla del Ombú	Paleodunas de Cuchilla del Ombú	Subida de Pena	Mina Oliveira Minerals	La Estiba del Rio Cuareim
Criterios/indicadores	Peso						
A. Representatividad	30	120	120	60	60	120	120
B. Localidad clave	20	20	40	20	20	80	40
C. Conocimiento científico	5	20	20	10	10	20	20
D. Integridad	15	30	30	60	60	60	30
E. Diversidad Geológica	5	10	20	5	5	20	10
F. Rareza	15	30	60	30	15	60	60
G. Limitaciones de uso	10	40	20	20	40	20	40
<b>TOTAL</b>		<b>270</b>	<b>310</b>	<b>205</b>	<b>210</b>	<b>380</b>	<b>320</b>

## Anexo B-II - Evaluación cuantitativa del Potencial Uso Educativo

Tabla B 3: Parámetros de 1, 2, 3 o 4 asignados para el PUE

POTENCIAL USO EDUCATIVO (PUE)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Bocamina Ernestinita	Yacimiento fosilífero Martinote	Huellas de dinosaurio de la Cuchilla del Ombú	Paleodunas de la Cuchilla del Ombú	Subida de Pena	Pilares de Klinger	Mina Oliveira Minerals	Establecimiento Bichadero	Mirador del Valle Edén	Parque Gran Bretaña	La Estiba del Río Cuareim	Cerro Miriñaque	Cerro Batovi	Cerro Batovi Dorado	Piedra Pintada	Las Marmitas	Pozo Hondo	Cueva del Indio	Cerro del Apretado	La Bica
Criterios/indicadores	Peso																				
A. Vulnerabilidad	10	4	1	4	3	3	4	4	4	4	4	2	4	4	4	3	3	4	4	2	4
B. Accesibilidad	10	3	2	4	4	4	1	2	2	2	4	2	3	3	2	4	2	1	2	3	4
C. Limitaciones de uso	5	3	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4
D. Seguridad	10	4	2	3	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	4
E. Logística	5	4	3	3	3	2	3	2	1	3	4	4	3	3	3	4	3	3	2	2	4
F. Densidad de la población	5	3	2	1	1	1	2	1	1	1	3	2	3	2	1	2	1	1	1	1	3
G. Asociación con otros valores	5	4	2	2	2	4	3	4	4	3	4	3	3	2	2	2	3	2	4	4	3
H. Paisaje	5	4	0	3	0	2	1	4	2	4	2	0	4	2	2	2	2	2	4	0	1
I. Singularidad	5	3	2	3	2	2	2	4	2	2	2	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2
J. Condiciones de observación	10	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3
K. Potencial didáctico	20	4	1	4	1	2	1	2	2	3	1	1	4	4	1	4	2	1	4	1	4
L. Diversidad geológica	10	3	2	3	2	2	2	2	3	2	2	3	3	3	2	2	2	2	4	3	1

Tabla B 4: Valor de los parámetros multiplicados por su peso y su total de la suma ponderada para el PUE

POTENCIAL USO EDUCATIVO (PUE)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Bocamina Ernestinita	Yacimiento fo silifero Martinote	Huellas de dinosaurio de la Cuchilla del Ombú	Paleodunas de la Cuchilla del Ombú	Subida de Pena	Pilares de Klinger	Mina Oliveira Minerals	Establecimiento Bichadero	Mirador del Valle Edén	Parque Gran Bretaña	La Estiba del Río Cuareim	Cerro Miriñaque	Cerro Batoví	Cerro Batoví Dorado	Piedra Pintada	Las Marmitas	Pozo Hondo	Cueva del Indio	Cerro del Apretado	La Bica
Criterios/indicadores	Peso																				
A. Vulnerabilidad	10	40	10	40	30	30	40	40	40	40	40	20	40	40	40	30	30	40	40	20	40
B. Accesibilidad	10	30	20	40	40	40	10	20	20	20	40	20	30	30	20	40	20	10	20	30	40
C. Limitaciones de uso	5	15	20	20	20	20	15	15	15	20	20	15	20	20	20	20	20	20	20	15	20
D. Seguridad	10	40	20	30	20	20	20	30	30	30	20	20	20	20	30	20	20	20	20	20	40
E. Logística	5	20	15	15	15	10	15	10	5	15	20	20	15	15	15	20	15	15	10	10	20
F. Densidad de la población	5	15	10	5	5	5	10	5	5	5	15	10	15	10	5	10	5	5	5	5	15
G. Asociación con otros valores	5	20	10	10	10	20	15	20	20	15	20	15	15	10	10	10	15	10	20	20	15
H. Paisaje	5	20	0	15	0	10	5	20	10	20	10	0	20	10	10	10	10	10	20	0	5
I. Singularidad	5	15	10	15	10	10	10	20	10	10	10	5	10	10	10	10	15	10	10	10	10
J. Condiciones de observación	10	30	40	30	40	40	40	40	40	30	40	30	40	40	40	40	40	40	40	40	30
K. Potencial didáctico	20	80	20	80	20	40	20	40	40	60	20	20	80	80	20	80	40	20	80	20	80
L. Diversidad geológica	10	30	20	30	20	20	20	20	30	20	20	30	30	30	20	20	20	20	40	30	10
<b>TOTAL</b>		355	195	330	230	265	220	280	265	285	275	205	335	315	240	310	250	220	325	220	325

## Anexo B-III - Evaluación cuantitativa del Potencial Uso Turístico

Tabla B 5: Parámetros de 1, 2, 3 o 4 asignados para el PUT

POTENCIAL USO TURÍSTICO (PUT)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Bocamina Ernestinita	Yacimiento paleontológico Martinote	Huellas de dinosaurio de la Cuchilla del Ombú	Paleodunas de la Cuchilla del Ombú	Subida de Pena	Pilares de Klinger	Mina Oliveira Minerals	Establecimiento Bichadero	Mirador del Valle Edén	Parque Gran Bretaña	La Estiba del Río Cuareim	Cerro Miriñaque	Cerro Batoví	Cerro Batoví Dorado	Piedra Pintada	Las Marmitas	Pozo Hondo	Cueva del Indio	Cerro del Apretado	La Bica
Criterios/indicadores	Peso																				
A. Vulnerabilidad	10	4	1	4	3	3	4	4	4	4	4	2	4	4	4	3	3	4	4	2	4
B. Accesibilidad	10	3	2	4	4	4	1	2	2	2	4	2	3	3	2	4	2	1	2	3	4
C. Limitaciones de uso	5	3	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4
D. Seguridad	10	4	2	3	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	4
E. Logística	5	4	3	3	3	2	3	2	1	3	4	4	3	3	3	4	3	3	2	2	4
F. Densidad de la población	5	3	2	1	1	1	2	1	1	1	3	2	3	2	1	2	1	1	1	1	3
G. Asociación con otros valores	5	4	2	2	2	4	3	4	4	3	4	3	3	2	2	2	3	2	4	4	3
H. Paisaje	15	4	0	3	0	2	1	4	2	4	2	0	4	2	2	2	2	2	4	0	1
I. Singularidad	10	3	2	3	2	2	2	4	2	2	2	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2
J. Condiciones de observación	5	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3
K. Potencial de interpretación	10	2	2	4	2	2	2	4	2	2	2	2	2	2	2	3	4	2	2	2	4
L. Nivel económico	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
M. Proximity of recreational areas	5	4	1	1	1	4	1	1	4	4	4	3	3	1	1	4	4	4	4	4	4
<b>TOTAL</b>		330	175	300	210	260	210	310	250	285	290	185	295	245	240	275	270	235	280	205	305

Tabla B 6: Valor de los parámetros multiplicados por su peso y su total de la suma ponderada para el PUT

POTENCIAL USO TURÍSTICO (PUT)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
		Bocamina Ernestinita	Yacimiento paleontológico Martinote	Huellas de dinosaurio de la Cuchilla del Ombú	Paleodunas de la Cuchilla del Ombú	Subida de Pena	Pilares de Klingner	Mina Oliveira Minerals	Establecimiento Bichadero	Mirador del Valle Edén	Parque Gran Bretaña	La Estiba del Río Cuareim	Cerro Miriñaque	Cerro Batoví	Cerro Batoví Dorado	Piedra Pintada	Las Marmitas	Pozo Hondo	Cueva del Indio	Cerro del Apretado	La Bica	
Criterios/indicadores	Peso																					
A. Vulnerabilidad	10	40	10	40	30	30	40	40	40	40	40	20	40	40	40	30	30	40	40	20	40	
B. Accesibilidad	10	30	20	40	40	40	10	20	20	20	40	20	30	30	20	40	20	10	20	30	40	
C. Limitaciones de uso	5	15	20	20	20	20	15	15	15	20	20	15	20	20	20	20	20	20	20	15	20	
D. Seguridad	10	40	20	30	20	20	20	30	30	30	20	20	20	20	30	20	20	20	20	20	40	
E. Logística	5	20	15	15	15	10	15	10	5	15	20	20	15	15	15	20	15	15	10	10	20	
F. Densidad de la población	5	15	10	5	5	5	10	5	5	5	15	10	15	10	5	10	5	5	5	5	15	
G. Asociación con otros valores	5	20	10	10	10	20	15	20	20	15	20	15	15	10	10	15	10	20	20	15		
H. Paisaje	15	60	0	45	0	30	15	60	30	60	30	0	60	30	30	30	30	30	60	0	15	
I. Singularidad	10	30	20	30	20	20	20	40	20	20	20	10	20	20	20	30	20	20	20	20	20	
J. Condiciones de observación	5	15	20	15	20	20	20	20	20	15	20	15	20	20	20	20	20	20	20	20	15	
K. Potencial de interpretación	10	20	20	40	20	20	20	40	20	20	20	20	20	20	20	30	40	20	20	20	40	
L. Nivel económico	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
M. Proximity of recreational areas	5	20	5	5	5	20	5	5	20	20	20	15	15	5	5	20	20	20	20	20	20	
<b>TOTAL</b>		330	175	300	210	260	210	310	250	285	290	185	295	245	240	275	270	235	280	205	305	

## Anexo B-IV - Evaluación cuantitativa del Riesgo de Degradación

Tabla B 7: Parámetros de 1, 2, 3 o 4 asignados para el RD

RIESGO DE DEGRADACIÓN (RD)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Bocamina Ernestinita	Yacimiento paleontológico Martinote	Huellas de dinosaurio de la Cuchilla del Ombú	Paleodunas de la Cuchilla del Ombú	Subida de Pena	Pilares de Klinger	Mina Oliveira Minerals	Establecimiento Bichadero	Mirador del Valle Edén	Parque Gran Bretaña	La Estiba del Río Cuareim	Cerro Miriñaque	Cerro Batoví	Cerro Batoví Dorado	Piedra Pintada	Las Marmitas	Pozo Hondo	Cueva del Indio	Cerro del Apretado	La Bica
<b>Criterios/indicadores</b>	<b>Peso</b>																				
A. Deterioro de los elementos geológicos	35	1	3	3	2	2	2	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	2	1
B. Proximidad a zonas/actividades con potencial de causar degradación	20	1	3	2	1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	4	1
C. Protección jurídica	20	3	4	2	2	2	3	3	3	4	1	4	2	2	3	2	4	4	1	2	1
D. Accesibilidad	15	3	2	4	4	4	1	2	2	2	4	2	3	3	2	4	2	1	2	3	4
E. Densidad de la población	10	3	2	1	1	1	2	1	1	1	3	2	3	2	1	2	1	1	1	1	3
<b>TOTAL</b>		190	295	255	200	200	185	195	155	175	165	290	170	180	175	175	175	160	115	245	165

Tabla B 8: Valor de los parámetros multiplicados por su peso y su total de la suma ponderada para el RD

RIESGO DE DEGRADACIÓN (RD)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		Bocamina Ernestinita	Yacimiento paleontológico Martinote	Huellas de dinosaurio de la Cuchilla del Ombú	Paleodunas de la Cuchilla del Ombú	Subida de Pena	Pilares de Klinger	Mina Oliveira Minerals	Establecimiento Bichadero	Mirador del Valle Edén	Parque Gran Bretaña	La Estiba del Río Cuareim	Cerro Miriñaque	Cerro Batoví	Cerro Batoví Dorado	Piedra Pintada	Las Marmitas	Pozo Hondo	Cueva del Indio	Cerro del Apretado	La Bica
<b>Criterios/indicadores</b>	<b>Peso</b>																				
A. Deterioro de los elementos geológicos	35	35	105	105	70	70	70	35	35	35	35	140	35	35	35	35	35	35	35	70	35
B. Proximidad a zonas/actividades con potencial de causar degradación	20	20	60	40	20	20	20	60	20	20	20	20	20	40	40	20	20	20	20	80	20
C. Protección jurídica	20	60	80	40	40	40	60	60	60	80	20	80	40	40	60	40	80	80	20	40	20
D. Accesibilidad	15	45	30	60	60	60	15	30	30	30	60	30	45	45	30	60	30	15	30	45	60
E. Densidad de la población	10	30	20	10	10	10	20	10	10	10	30	20	30	20	10	20	10	10	10	10	30
<b>TOTAL</b>		190	295	255	200	200	185	195	155	175	165	290	170	180	175	175	175	160	115	245	165

## ANEXO C – MATERIALES COMPLEMENTARIOS

### ANEXO C-1: Perfiles del Geositio Localidad Fosilífera Martinote



Figura C-1: Mapa de ubicación de los perfiles levantados por Mesa (2016)

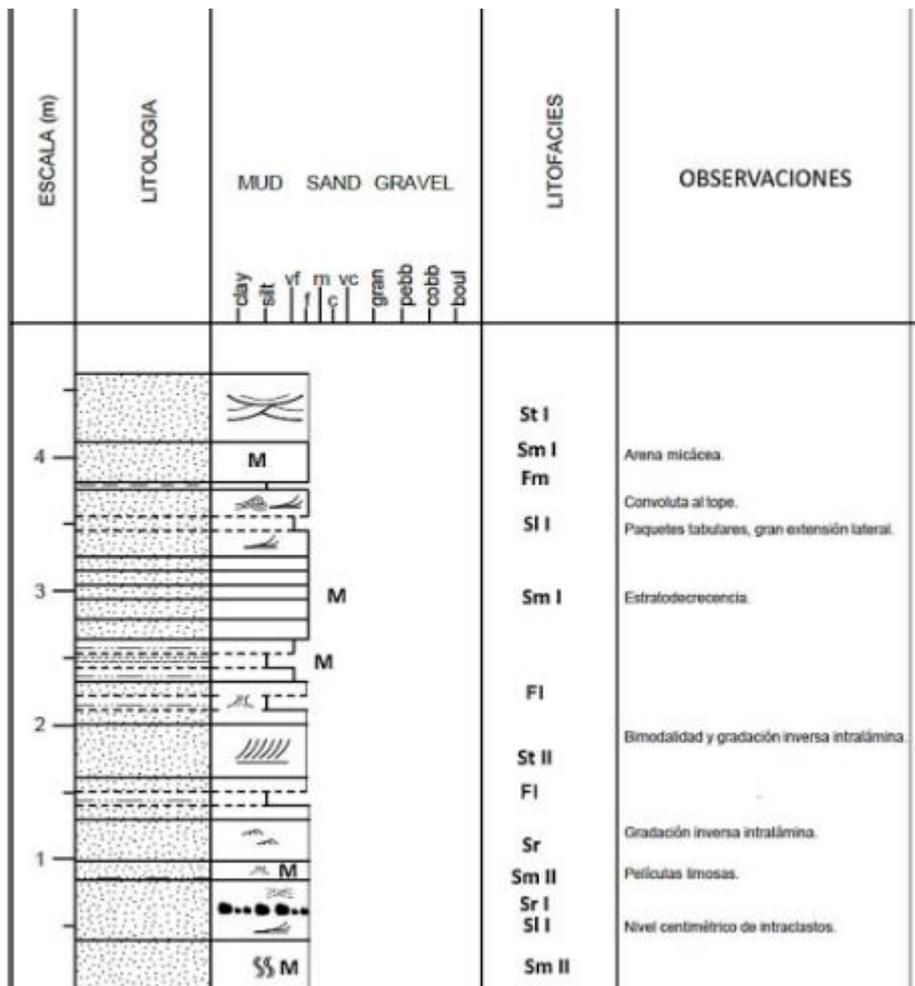


Figura C- 2: Perfil sedimentológico a escala 1:100 del punto Ruta 59 I

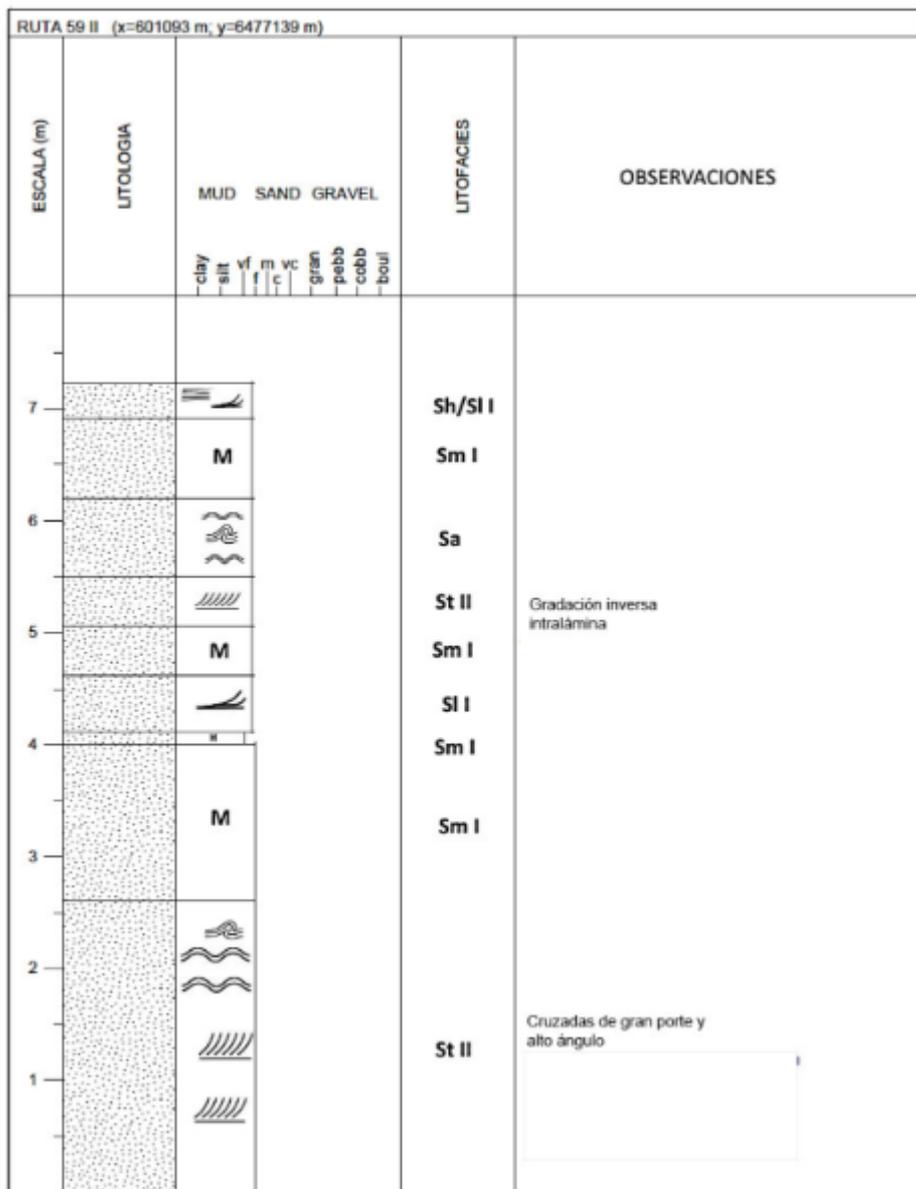


Figura C- 3: Perfil sedimentológico a escala 1:100 del punto Ruta 59 II.

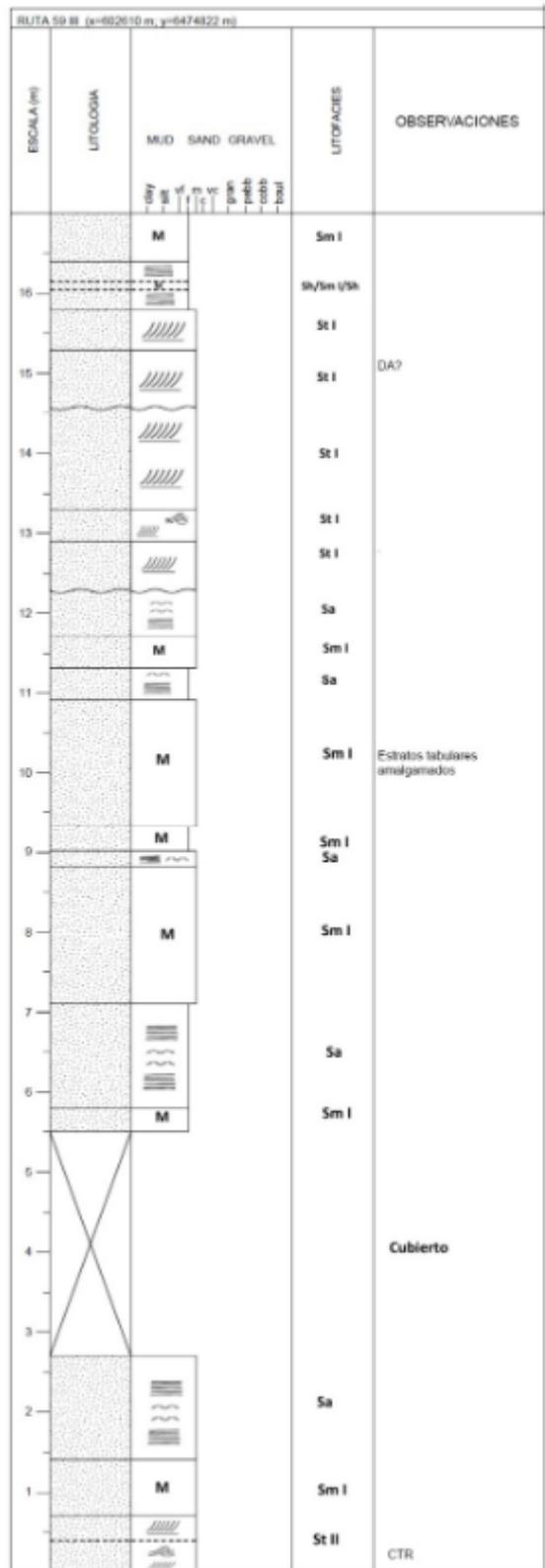


Figura C-4: Perfil sedimentológico a escala 1:100 de la transecta Ruta 59 III.

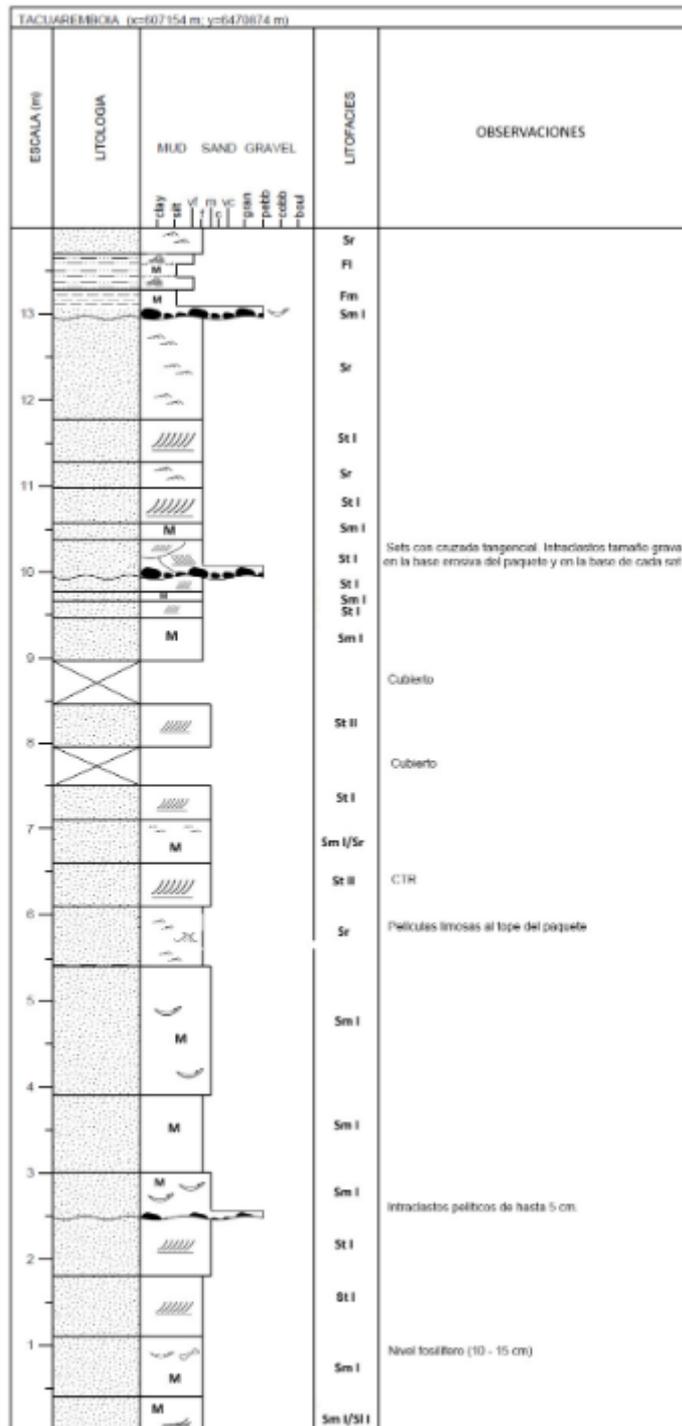


Figura C- 5: Perfil sedimentológico a escala 1:100 del punto Tacuarembóia.

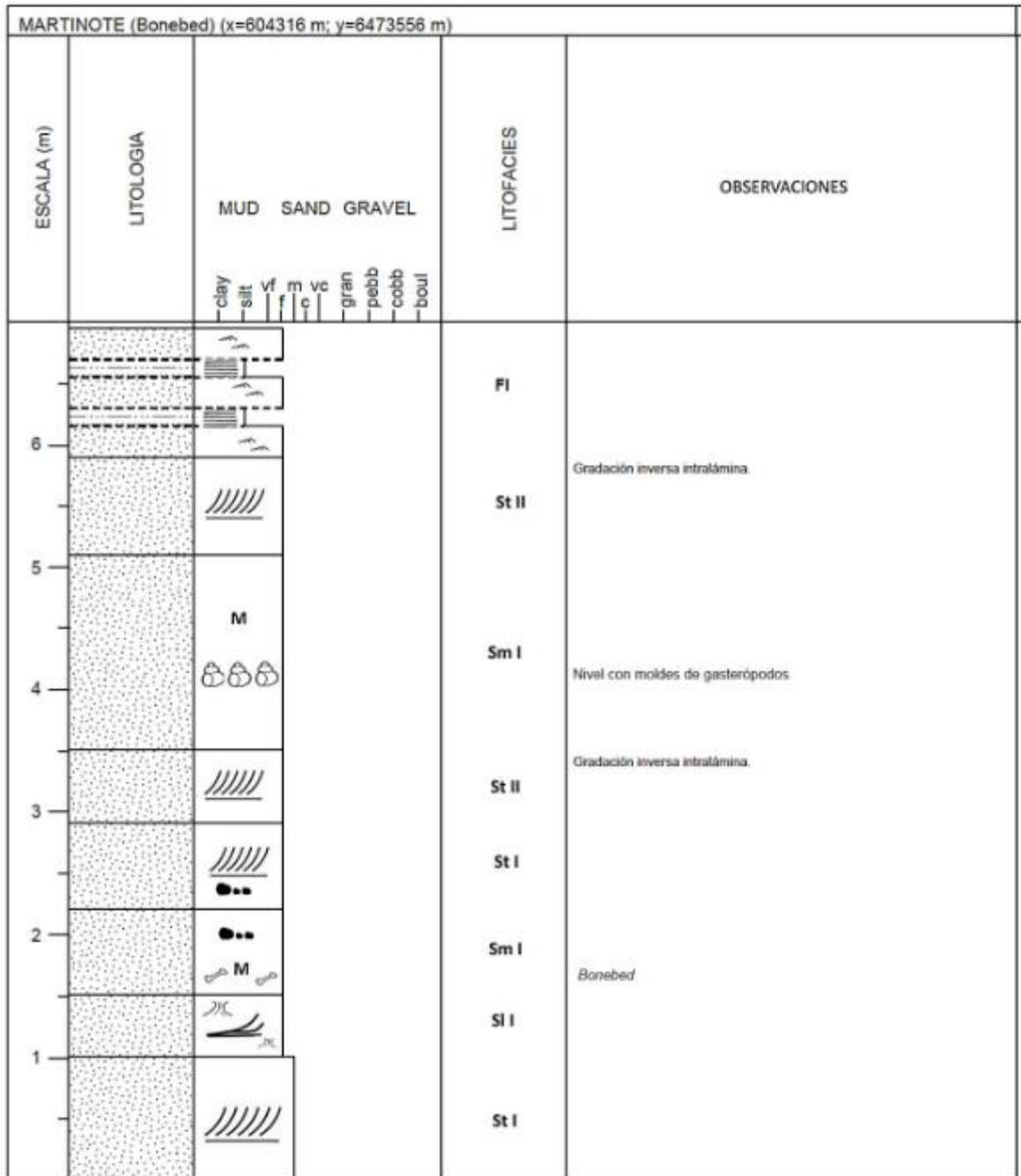


Figura C-6: Perfil sedimentológico a escala 1:100 del punto Martinote (*Bonebed*).