

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ADAPTACIÓN AGROECOLÓGICA DE LA VID EN LOS
TERROIRS COSTEROS DE URUGUAY**

por

Gerardo ECHEVERRÍA GROTIUZ

TESIS presentada como uno
de los requisitos para obtener
el título de
Doctor en Ciencias Agrarias

Montevideo
URUGUAY
Mayo de 2017

Tesis aprobada por el tribunal integrado por: Dr. Gustavo González-Neves, Dr. Bruno Tisseyre, Dra. Montserrat Nadal, el 15 de mayo de 2017.

Autor: Gerardo Echeverría Grotiuz

Directora: Dra. Milka Ferrer Baccino, Co-director: Dr. Jorge Ducati

AGRADECIMIENTOS

En primer término agradezco al Dr. Bruno Tisseyre, a la Dra. Monsterrat Nadal y al Dr. Gustavo González-Neves por aceptar integrar el tribunal de evaluación de la tesis.

El inicio de este doctorado demoró más de lo conveniente, pero cuando se abrió la oferta de Posgrados en nuestra Facultad me tuvo entre sus primeros candidatos. Así que saludo calurosamente a todos aquellos que trabajaron para instalar en nuestra institución la formación de Posgrados y los que hoy día sostienen este proyecto educativo. También agradezco a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación, por la beca recibida en la primera etapa del Doctorado

Fueron años de mucho trabajo y estudio con resultados que se pueden evaluar más allá de lo académico. Este viaje lo hice acompañado de mucha gente.

Agradezco a la Dra. Milka Ferrer por la dirección de la tesis, por sus aportes científicos y por compartir tantos momentos de intercambio que ayudaron a orientar mis esfuerzos. Al Dr. Jorge Ducati, que además de co-dirigir la tesis, me ayudó a descubrir nuevas metodologías y siempre me estimuló para avanzar con el trabajo.

A Gustavo González también debo agradecerle su ejemplo de trabajo científico riguroso y su vocación por llevar la ciencia al mundo del vino uruguayo.

A Gerard Barbeau y Valérie Bonnardot, integrantes del comité de seguimiento, que realizaron sugerencias interesantes sobre el camino a seguir.

Una distinción especial para el Dr. José Manuel Mirás, gran amigo español que me ayudó con la discusión de algunos artículos y sus traducciones. Siempre dispuesto a dar una mano.

Agradezco a las autoridades, funcionarios y colegas de Institut National de la Recherche Agronomique, Unité expérimentale de Pech Rouge, Francia, donde realicé una de mis pasantías de doctorado. A Jean-Louis Escudier en ese momento director de la Estación y en particular a Hernán Ojeda, un gran investigador, motivador y amigo. A los compañeros con quienes integramos el equipo de trabajo

en esa unidad experimental: Ana María Martínez Gil, Carolina Canoura, Verónica Parra y Ethiene Terblanche.

También fue muy importante la pasantía realizada en el Brasil hermano, por lo que doy gracias a las autoridades y colegas del Centro de Sensoriamiento Remoto de la Universidad Federal de Río Grande do Sul.

Muchos colegas colaboraron aportando laboratorios, equipos, ideas, información, etc. En tal sentido agradezco a los colegas expertos en edafología: Juan Horacio Molfino, Florencia Alliaume, Andrés Beretta, Verónica Berriel y a los compañeros del laboratorio de suelos de Facultad de Agronomía. A los especialistas en geología: Jorge Bossi, Antonella Celio y Raquel Caggiano. También a Omar Borsani y Jorge Monza del Dpto. de Biología Vegetal. A los especialistas en meteorología Rodolfo Pedocchi, Juan Pablo Chiara y Mario Bidegain. A los colegas de estadística, Alejandra Borges y Jorge Franco y a Federico Gallego por su apoyo con el uso de SIG. A Santiago Dogliotti que me orientó en algunos temas complejos y a Elena Beyahut que con su sentido práctico hizo sugerencias muy interesantes sobre el enfoque de algunos artículos.

A los colegas de Facultad de Ingeniería de UDELAR, José Cataldo y Rodolfo Pienika, con los que trabajamos en el primer proyecto de estudio de vientos en la costa y sus efectos sobre la viticultura. A los Ingenieros Gonzalo Abal y Rodrigo Alonso-Suárez, que aportaron información clave sobre la radiación solar y realizaron las estimaciones utilizadas en la tesis. Todos ellos fueron un soporte clave para el desarrollo de nuestro trabajo.

Al equipo de trabajo de viticultura, presente y pasado, pieza fundamental del proyecto: Milka Ferrer, Gianfranca Camussi, Julia Salvarrey, Rusley Avondet, Gustavo Pereyra, Yesica Bernaschina, Nicolás Demetriuk, Esteban Molina, Pablo Bieito, Emiliano Trigo y Mercedes Fourment, entre otros colegas. A Diego Piccardo y Guzmán Favre de Enología, quienes bajo la dirección de Gustavo González-Neves participaron de algunas etapas del trabajo.

A los viticultores Eduardo Barrotti y Oscar Daghero de la cooperativa CALUVA, que “prestan” sus viñedos para la investigación desde hace más de una década. Gente muy observadora y experiente que me transmitieron algunas claves sobre particularidades del ambiente físico de sus viñedos y sobre la adaptación de sus prácticas a esas condiciones. Al enólogo Marcos Carámbula, quien nos permitió trabajar en los viñedos de Atlántida, gran impulsor del terroir. Agradezco también al Establecimiento Juanicó, una empresa con las puertas abiertas a la investigación y a la innovación, a la familia Deicas, al Enólogo Luis Pua y a los ingenieros agrónomos Gustavo Blumetto y Camilo Abedala. Al enólogo Pablo Rodríguez de Bodega La Estancia, al establecimiento La Soleada y a la Ing. Paula Pivel de la empresa Alto de la Ballena quien siempre se mostró dispuesta a colaborar con la investigación.

Una mención especial al Ing. Agr. Néstor Merino, sólido eslabón entre la academia y el sector productivo uruguayo. Sus contactos y aportes técnicos fueron claves para el proyecto de doctorado.

A Soledad Mello, Marcos Fourment, Rodolfo Favaro y otras personas que de una forma u otra colaboraron desde sus respectivas empresas.

A los amigos y colegas del ciclo I.R.A. Gustavo Marisquirena, Julio González, Beatriz Bellenda, Pastora Correa, Rafael Vidal y tantos otros con quienes nos formamos en la Teoría de Sistemas.

A mis padres que me enseñaron a priorizar la ética y la verdad, un ejemplo de sabiduría. A mis hermanos de sangre y a mis hermanos de la vida con quienes pacientemente hemos construido una red capaz de amortiguar las caídas y sostener nuestra esencia.

A Pilar, mi compañera de camino, pilar esencial de lo mucho que hemos construido. A nuestros hijos Camilo, Nicolás y Mikaela, a Lisi, a Mati y a todos los niños que vendrán. Sus vidas son el principal estímulo para caminar.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	XII
SUMMARY	XIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
1.1 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LA VITIVINICULTURA URUGUAYA	3
1.2. EL CLIMA DE URUGUAY	4
1.3. LA PRODUCCIÓN VITÍCOLA EN LA COSTA DEL RÍO DE LA PLATA	5
1.4. EL TERROIR: COMO METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE AGROECOSISTEMAS	6
1.5. LAS PREGUNTAS QUE BUSCA RESPONDER EL ESTUDIO	13
1.6. OBJETIVO GENERAL	14
1.6.1. <u>Objetivos específicos</u>	14
1.7. PARÁMETROS DE DISEÑO	14
1.8. ESTRUCTURA DE LA TESIS	15
2. <u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA Y RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE EN TERROIRS DE LA COSTA DEL RÍO DE LA PLATA</u>	19
2.1. CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA DE LA COSTA DEL RÍO DE LA PLATA PARA LA PRODUCCIÓN VITÍCOLA: BRISAS DE MAR Y TIERRA Y SU INFLUENCIA SOBRE EL MICROCLIMA DEL VIÑEDO	19
2.1.1. <u>Introducción</u>	19
2.1.1.1. Clasificación climática de la zona, influencias y tendencias	23
2.1.1.2. El viento y su influencia sobre otros parámetros del clima	25
2.1.1.3. Brisas de mar y tierra	25
2.1.1.4. Antecedentes de estudios del viento en Uruguay	29

2.1.1.5. Objetivos del estudio	31
2.1.2. <u>Materiales y métodos</u>	32
2.1.2.1. Cálculo de índices de clima vitícola	36
2.1.2.2. Estudio de Brisas.	38
2.1.2.3. Estudio del microclima de la canopia	39
2.1.3. <u>Resultados</u>	39
2.1.3.1. Normales climáticas de la costa	39
2.1.3.2. Índices bioclimáticos de la vid	41
2.1.3.3. Cálculo de índices bioclimáticos a cosecha:	44
2.1.3.4. Estudio del viento	47
2.1.3.5. Microclima de la canopia: análisis de temperatura	55
2.1.3.6. Microclima de la canopia: humedad relativa	59
2.1.3.7. Viento y microclima de la canopia: el caso de dos viñedos de Maldonado	61
2.1.3.8. Relación entre factores geográficos y variables climáticas	65
2.1.4. <u>Discusión</u>	69
2.1.4.1. Brisas de mar y tierra	72
2.1.4.2. Microclima de la canopia en viñedos de la costa	74
2.1.4.3. Viento y microclima del viñedo en dos sitios de Maldonado	76
2.1.4.4. Relación entre factores geográficos y variables climáticas	77
2.1.5. <u>Conclusiones</u>	80
2.2. DISTRIBUCIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EN SEIS REGIONES DE LA COSTA DEL RÍO DE LA PLATA	81
2.2.1. <u>Introducción</u>	81
2.2.2. <u>Materiales y métodos</u>	86
2.2.3. <u>Resultados</u>	87
2.2.3.1. Efecto año	88
2.2.3.2. Efecto año x sitio	91
2.2.3.3. Irradiación acumulada a cosecha por parcela.	95
2.2.4. <u>Discusión</u>	97
2.2.5. <u>Conclusiones</u>	101

2.3.	SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF SOLAR IRRADIATION IN RÍO DE LA PLATA AS ESTIMATED BY SATELLITE IMAGERY. RELATIONSHIPS WITH CLIMATE VARIABLES OF INTEREST FOR VITICULTURAL PRODUCTION	102
2.3.1.	<u>Abstract</u>	102
2.3.2.	<u>Introduction</u>	103
2.3.3.	<u>Materials and Methods</u>	107
2.3.3.1.	Estimation of Solar Irradiation, Temperature, Reference Evapotranspiration, Relative Humidity and Sunshine Duration	107
2.3.3.2.	Correlations Between Solar Irradiation and Temperature ETo, Relative Humidity, Sunshine Duration and Multicriteria Climate Classification Indices	109
2.3.3.3.	Case Study at the Vineyard Level	110
2.3.3.4.	Statistical Analysis	111
2.3.4.	<u>Results</u>	111
2.3.4.1.	Correlation Between Solar Irradiation and Temperature, ETo, Relative Humidity and Sunshine Duration	111
2.3.4.2.	Spatial and Interannual Variability of Solar Irradiation	112
2.3.4.3.	Correlation Between Solar Irradiation with the Multicriteria Climate Classification System (MCCS) Indices	114
2.3.4.4.	Study Case at the Vineyard Level	116
2.3.5.	<u>Discussion</u>	118
2.3.5.1.	Irradiation and Climate	118
2.3.5.2.	Spatial Distribution of Irradiation	118
2.3.5.3.	Solar Irradiation and Climate Indices from the Multicriteria Climate Classification System (MCCS)	119
2.3.5.4.	Interannual Variability of Irradiation	120
2.3.5.5.	Solar Irradiation, PAR and Canopy Temperature	121
2.3.6.	<u>Conclusions</u>	122
2.3.7.	<u>Acknowledgments</u>	123

2.3.8. <u>References</u>	123
3. <u>CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE DIVERSOS TERROIRS VITÍCOLAS DE LA COSTA DEL RÍO DE LA PLATA: ANÁLISIS DE SU INFLUENCIA SOBRE VARIABLES VEGETATIVAS, COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN DE LA BAYA</u>	129
3.1. IMPLEMENTATION OF TECHNIQUES FOR REMOTE SENSING AS A METHOD TO DETERMINE THE PRODUCTIVE POTENTIAL OF A VITICULTURAL TERROIR.	129
3.1.1. <u>Summary</u>	129
3.1.2. <u>Resume</u>	130
3.1.3. <u>Introduction</u>	131
3.1.4. <u>Materials and methods</u>	132
3.1.5. <u>Results and discussion</u>	134
3.1.6. <u>Conclusions</u>	137
3.1.7. <u>References</u>	138
3.1.8. <u>Attachments</u>	140
3.2. EFFECTS OF SOIL TYPE ON VINEYARD PERFORMANCE AND BERRY COMPOSITION IN THE RÍO DE LA PLATA COAST (URUGUAY)	142
3.2.1. <u>Abstract</u>	142
3.2.2. <u>Introduction</u>	143
3.2.3. <u>Materials and Methods</u>	145
3.2.3.1. Location of the studied sites	145
3.2.3.2. Description of the experimental plots	145
3.2.3.3. Vine vigor measurements	146
3.2.3.4. Root characterization	146
3.2.3.5. Soil characterization	147
3.2.3.6. Leaf water potential	148
3.2.3.7. Yield components and bunch rot incidence	148
3.2.3.8. Grape samples and analysis	148

3.2.3.9. Statistical analysis	149
3.2.4. <u>Results</u>	149
3.2.5. <u>Discussion</u>	156
3.2.6. <u>Conclusions</u>	160
3.2.7. <u>References</u>	160
4. <u>QUANTIFYING THE RELATIVE IMPACT OF PHYSICAL AND HUMAN FACTORS ON THE VITICULTURAL EXPRESSION OF TERROIR</u>	166
4.1 ABSTRACT.	166
4.2 INTRODUCTION	167
4.3 MATERIAL AND METHOD	168
4.3.1 <u>Study sites description and locations</u>	168
4.3.2 <u>Climate indices (“year” factor)</u>	169
4.3.3 <u>Description of the study plots and plant material</u>	170
4.3.4 <u>Root system characterization</u>	170
4.3.5 <u>Soil characterization (soil factor)</u>	171
4.3.6 <u>Vegetative growth determination</u>	172
4.3.7 <u>Yield components and rot incidence</u>	172
4.3.8 <u>Determination of the leaf/fruit ratio (“source/sink” factor)</u>	173
4.3.9 <u>Determination of berry composition</u>	173
4.3.10 <u>Statistical analysis</u>	174
4.4. RESULTS	174
4.5. DISCUSSION	180
4.5.1 <u>Effect of the studied factors on the vegetative development</u>	181
4.5.2 <u>Effect of the studied factors on yield components</u>	182
4.5.3 <u>Effect of the studied factors on berry composition</u>	183
4.6 CONCLUSIONS	186
4.7. ACKNOWLEDGEMENTS	186
4.8. REFERENCES	187
5. <u>CONCLUSIONES GENERALES Y PERSPECTIVAS</u>	195
5.1 APORTES DE LA TESIS AL SECTOR PRODUCTIVO Y AL	

	DESARROLLO DE LA CIENCIA	196
5.2	NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	200
6	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	204
7	<u>ANEXOS</u>	220
	7.1 Valorización de la tesis	220

RESUMEN

El 93 % del viñedo de Uruguay se encuentra localizado en una estrecha franja junto al Río de la Plata. El objetivo del trabajo fue caracterizar el ambiente físico de diferentes unidades de terroirs vitícolas de la costa uruguaya del Río de la Plata y analizar su influencia sobre las variables de respuesta de la planta y la uva.

El trabajo fue conducido desde 2011 a 2014 en viñedos comerciales no irrigados de la variedad Tannat. Se seleccionaron 9 parcelas en 6 regiones distribuidas a lo largo de la costa. La información climática se obtuvo de una red de estaciones convencionales y sensores colocados en los viñedos. Se estimó la irradiación solar diaria mediante imágenes satelitales y se aplicaron métodos clásicos para el estudio de los suelos. Se estudió la respuesta de la planta, incluyendo variables de vigor, rendimiento, composición y sanidad de la uva.

Se confirmó la presencia de brisas de mar y tierra, se identificaron patrones de dirección del viento y se determinó el efecto sobre la temperatura de la canopia, hasta una distancia máxima de la costa de 29,2 km. La variación espacial y temporal de la irradiación solar se correlacionó con variables meteorológicas e índices climáticos de interés para la viticultura. El estudio conjunto del clima, suelo y relación fuente-fosa permitió discriminar el peso relativo de cada factor, sobre la respuesta de la planta y el funcionamiento del terroir. La síntesis de compuestos primarios de la baya tiene mayor dependencia del clima y el suelo, en tanto que, los compuestos secundarios presentaron mayor dependencia del factor fuente-fosa y del clima. La capacidad de suministro de agua del suelo representa una clave fundamental del funcionamiento del terroir.

Los resultados de esta investigación permitirán ajustar los itinerarios técnicos del terroir en función de las características del ambiente físico y el objetivo de producción

Palabras clave: terroir, viticultura, Tannat, radiación solar, brisa marina

AGROECOLOGICAL ADAPTATION OF THE VINE IN THE COASTAL TERROIRS OF URUGUAY

SUMMARY

The 93 % of Uruguayan vineyards are located in a narrow coastal area by the Río de la Plata (River Plate). The aim of this research was to describe the physical-settings of different units of wine's terroir in the south coast of Uruguay and to analyze its influence over the variable response of the plant and the grape.

The research was carried out from 2011 to 2014 in non-irrigated commercial vineyards of Tannat variety. Nine plots of land were selected in six regions along the coast. The weather information was gathered from a conventional weather stations and temperature sensors which were placed on the vineyards. Daily solar irradiation was estimated through satellite images, while traditional methods were applied in the study of the soil. The response of the plant was studied, considering different variables such as vigor, performance, composition and health of the grape.

A sea and a land breeze presence were confirmed. Wind patterns were identified and it was also determined their effect on the temperature of the canopy within a maximum distance from the coast of 29.2 km. Spatial and temporal variation of the solar irradiation was correlated with meteorological variables and climate Índices which are of interest to the field of the viticulture. The joint study of the weather, the soil and the relation sink-source led to the distinction of the relative influence of each factor over the response of the plant and the functioning of the terroir. The synthesis of primary components of the berry shows a higher dependence on the weather and the soil, whereas secondary components present a higher dependence on the weather and the element sink-source. The supply of water coming from the soil represents a key factor for the proper functioning of the terroir

The results of this investigation enable the adjustment of the technical itineraries of the terroir according to characteristics of the physical-setting and the production target.

Keywords: terroir, viticulture, Tannat, solar radiation, sea breeze

1- INTRODUCCIÓN

Desde sus inicios, la trayectoria tecnológica de la vitivinicultura comercial uruguaya, constituye un buen ejemplo de incorporación de innovaciones incrementales, a través de la cual el sector logró aumentar la eficiencia técnica, la productividad y la precisión de los procesos. Como fruto de esta progresión, en las últimas décadas se elevó la calidad de los vinos de manera significativa, se amplió la gama de usos posibles de la materia prima y se logró una diferenciación del producto. (Echeverría, 2003). Actualmente, la enorme presión competitiva externa, justifica de manera categórica sostener esta trayectoria con investigación nacional y aportes técnicos originales.

La vitivinicultura tiene gran arraigo en el acervo cultural de la nación. Los primeros viñedos comerciales se establecieron en Uruguay hace más de 140 años, pocas décadas después del nacimiento del país como nación independiente. En su comienzo la viticultura fue impulsada como bandera de la modernización, con generación de redes de productores que socializaron experiencias y conocimientos, facilitando los procesos de innovación (Beretta, 2012). Durante todo el siglo XX los inmigrantes europeos, entre otros italianos, españoles y portugueses, fueron los protagonistas fundamentales del desarrollo de la vitivinicultura en Uruguay.

A inicios de la década del 90 el grupo de vitivinicultura de Facultad de Agronomía, UDELAR, propuso al sector productivo nacional, revalorizar una uva tinta como es la variedad Tannat, por su larga tradición de cultivo, adaptación al ambiente físico, productividad y por la singularidad de su potencial enológico (González-Neves *et al.*, 2002, 2005, 2006). Este hecho constituyó el inicio de una trayectoria de investigación que permitió profundizar en el conocimiento de la variedad y su manejo, todo lo cual condujo a un proceso de innovación en los procesos productivos (Ferrer *et al.* 1998, 2001, 2002, 2003a, 2003b, 2009; Díaz y Toscanini 2001) y enológicos (González-Neves *et al.*, 2003, 2008, 2014), con rápida adopción por parte del sector productivo. El resultado fue una mejora sustantiva de la calidad y de la competitividad, expresada en el aumento de las exportaciones de

vinos de Tannat y en el reconocimiento alcanzado en concursos internacionales. Actualmente Tannat, como variedad emblemática, sostiene la mayor parte de las exportaciones de vinos finos.

A partir del año 2003, el mismo equipo de trabajo, introdujo la investigación en Terroirs a sus líneas de estudio para el aumento de la competitividad sectorial. Se desarrollaron proyectos interdisciplinarios con fuerte apoyo de los vitivinicultores, que permitieron identificar unidades básicas de terroir en cinco regiones distribuidas en todo el territorio nacional (Mal Abrigo, Mercedes, Colonia del Sacramento, Salto, El Carmen). Complementariamente, otros estudios profundizaron en aspectos de del cultivo y su relación con el ambiente en el Departamento de Canelones, principal zona productiva de Uruguay. Estos trabajos significaron un avance importante en la identificación de las características particulares de los vinos Tannat en relación a su procedencia geográfica (Ferrer *et al.*, 2011).

Actualmente, un total de 1370 viñedos que representan el 93,2% de la superficie vitícola de Uruguay (INAVI, 2016) se encuentra instalado en la región de influencia del Río de la Plata, dentro de los cinco departamentos administrativos que componen su litoral. Por otra parte, en los últimos años se registró un aumento de nuevas plantaciones en el departamento de Maldonado (región Este de la costa). De este modo, la viticultura uruguaya se presenta cada vez más abierta a un frente marítimo extenso, que justifica la aplicación de un enfoque de investigación que permita profundizar en la influencia que esta localización geográfica particular imprime a la producción.

Una faja de tierra de 50 km de ancho ubicado sobre la costa a lo largo del Río de la Plata, desde Colonia del Sacramento (W) hasta Punta del Este (E), es el territorio objetivo del presente trabajo, al que se mencionará como “costa del Río de la Plata” o simplemente territorio “costero”.

1.1 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LA VITIVINICULTURA URUGUAYA

Las estadísticas oficiales del Instituto Nacional de Vitivinicultura (INAVI, 2016), muestran que el principal destino de la producción vitícola de Uruguay es la vinificación (96 %), con un 80 % de la superficie destinada a variedades tintas y un 20 % a variedades blancas. El sistema de conducción predominante es la espaldera (65 %) seguido de la lira (27 %).

La variedad Tannat ocupa la mayor proporción de la superficie del viñedo nacional (25,7 %) y hace el mayor aporte a la producción (27.3%). El rendimiento medio anual en la última década fue de $15.480 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \pm 2.388 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, debido entre otras razones al efecto año. El 81 % de las plantas de esta variedad tienen 20 o menos años, lo que indica un proceso continuo de reimplantación.

Por otra parte, la evolución de la superficie de las principales variedades tintas, muestra una estabilidad relativa en la superficie de Tannat y de Merlot, una reducción importante de Cabernet-Sauvignon y un aumento significativo de Marselan.

La caracterización de los establecimientos vitícolas según estrato de tamaño, muestra que el 75 % está compuesto por viñedos de 5 o menos hectáreas. Este estrato registró una fuerte caída en el número y en la superficie controlada durante los últimos diez años. En ese período la superficie vitícola uruguaya se redujo un 36 % y la producción un 22 %. Por otra parte, el aumento de establecimientos de mayor superficie, indicaría un proceso de concentración.

En la base de estos cambios estaría la pérdida de competitividad, al menos para el estrato menor a 5 ha, cuyo destino principal de la uva es la elaboración de vinos de mesa para el mercado interno.

El consumo de vino por persona entre los años 1996 y 2007 se correlacionaba positivamente con el ingreso medio de salarios ($r=0,94$; $p<0,001$) (Echeverría G, no publicado). A partir de ese momento se produjo un punto de inflexión en la

tendencia por razones sobre las cuales no se ha profundizado. Como resultado de esa reducción actualmente el consumo por persona y por año equivale a aproximadamente 20 L. La consecuencia ha sido un excedente de vinos de mesa en el mercado interno, caída de precios y salida del sector de los actores más vulnerables.

Al descenso de la superficie vitícola, se ha sumado un aumento de la variabilidad de la producción por razones climáticas, en particular efecto año, pero también por aumento de fenómenos climáticos extremos surgidos en la última década, de acuerdo a lo señalado en informes del Instituto Nacional de Vitivinicultura (INAVI) Además de su contribución económica, la vitivinicultura representa una fuente importante de generación de empleo y contribuye al afincamiento de la población rural. Otra característica relevante es que presenta una distribución de sus ingresos más equitativa que otras cadenas agroindustriales.

1.2 EL CLIMA DE URUGUAY

Uruguay está dominado por el borde del sistema de alta presión del Océano Atlántico Sur o Anticiclón subtropical semipermanente, con una presión atmosférica anual promedio superior a los 1015 hPa, mientras que en la parte noroeste del país se presenta una relativa baja presión que es más intensa en verano, inferior a 1013 hPa

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen-Geiger, a Uruguay le corresponde la categoría “Caf”, es decir: Templado, Subtropical, sin estación seca (verano cálido). La temperatura media del mes más frío es inferior a los 18 C; y la del mes más cálido es superior a los 22 C. Las precipitaciones son constantes, repartidas a lo largo del año y superan los registros de evaporación.

La costa oriental de Sudamérica, muestra un comportamiento estacional de menor intensidad que el litoral Pacífico, influida por la corriente marina del Brasil y sus aguas cálidas, provocando que los climas en la costa Atlántica sean más cálidos y

con mayor contenido de humedad y mucho más lluviosos que en similar latitud del litoral Pacífico.

El régimen de lluvia en la cuenca del Plata está muy influenciado por el flujo meridional de humedad de niveles bajos, que llegan predominantemente del norte por la circulación del noroeste durante todo el año, y del Atlántico en invierno.

Durante la estación estival, de octubre a abril, los sistemas convectivos de mesoescala (SCM) son frecuentes e inciden en la variabilidad climática de la región. En particular el sistema El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), cuyas fases extremas son conocidas como eventos El Niño y La Niña, constituye la razón principal de la variabilidad interanual de la precipitación en la Cuenca del Plata. (Barros *et al.*, 2006, Berbery *et al.*, 2006).

1.3 LA PRODUCCIÓN VITÍCOLA EN LA COSTA DEL RÍO DE LA PLATA

A partir de la “Cumbre de la Tierra”, realizada en Río de Janeiro en 1992, se manifiesta una creciente preocupación mundial sobre la degradación de los ecosistemas costeros conduciendo a la implementación de diversas iniciativas para mantener el uso sostenible de los recursos. En Uruguay el Programa “EcoPlata” ha llevado adelante diversas actividades orientadas a apoyar la gestión integrada de la zona costera uruguaya (López Laborde *et al.*, 2000). El litoral costero uruguayo del Río de la Plata tiene una longitud de 452 km y representa una extensión muy importante dada las dimensiones del país.

Si bien la región costera está comprendida dentro de similar latitud, la geología, topografía, suelos y proximidad a la costa, así como el volumen de la masa de agua, entre otros factores, permiten suponer que las condiciones del ambiente, junto al material genético y las técnicas de cultivo generan combinaciones particulares que se expresan en diferencias de volumen y calidad de las cosechas. La viticultura predominantemente costera de Uruguay, le otorga a la uva cualidades originales que es necesario conocer para lograr una adecuada gestión del viñedo y la

valorización y diferenciación de la cosecha y del territorio. Trabajos realizados por Echeverría *et al.* (2007) y Ferrer *et al.* (2007), determinaron una zona de influencia del mar sobre el clima de los viñedos, hasta una distancia de la costa entre de 17 km a 30 km. Dentro de esta franja costera, los índices climáticos comúnmente utilizados para la zonificación vitícola (en particular las temperaturas nocturnas) mostraron diferencias significativas con las regiones adyacentes.

Por otro lado, es necesario razonar acerca de la vulnerabilidad y sustentabilidad de estos sistemas en un escenario de cambio climático. Existe abundante evidencia científica confirmando la existencia de cambios significativos del clima, en distintas zonas vitícolas del mundo (Jones *et al.*, 2005, Dry 2009). En particular para esta región se pronostican aumentos de temperatura media, aumento de temperaturas nocturnas, disminución de la amplitud térmica, aumento de la cantidad e intensidad de precipitaciones (Camilloni *et al.*, 2006), entre otros cambios, que podrían alterar el mapa climático e impactar fuertemente, sobre todo, la producción de vinos de calidad (Aruani, 2011)

En la medida que las tendencias climáticas se confirmen, los productores tendrán un margen de maniobra importante con la oportunidad de adecuar las variedades existentes y las unidades de Terroir, el uso de portainjertos y clones mejor adaptados a las propiedades físicas del medio ambiente y para implementar nuevas prácticas de manejo (Barbeau, 2007)

Los nuevos viñedos de Maldonado, además de la mayor exposición marina, se han instalado fundamentalmente en zonas de sierras, sobre suelos marginales o de baja productividad relativa para otras producciones agrícolas. Es necesario evaluar el desempeño de la viticultura en estas condiciones ambientales, ya que podría constituir una oportunidad para la explotación intensiva de amplias zonas que hoy presentan una productividad extremadamente baja.

1.4 EL TERROIR COMO METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE AGROECOSISTEMAS

La complejidad intrínseca de la producción agraria, dependiente de muchos factores y componentes interrelacionados, podrían ser entendidas y examinadas solo mediante un método sistemático. Un enfoque de global parece útil para estos fines ya que una comprensión de todo el sistema será al menos tan útil como el conocimiento de los componentes por separado (Dent y Anderson, 1971) y porque el dinamismo y la dependencia del tiempo tienen significancia en su comportamiento y resultados (González de Chaves Fernández, 1981). Cuando se piensa en la aplicación de un enfoque sistémico, inmediatamente surge la pregunta de ¿cómo se hace la síntesis? En el análisis ya se tienen las reglas del juego bien establecidas, en la síntesis todavía falta una estrategia global, comprobada y establecida (Brockington, 1988). Para dar respuesta a esta pregunta una posibilidad es la utilización de modelos, que representen la realidad de manera simplificada y que pueden construirse usando diferentes técnicas. El “modelo” siempre implica un grado de reduccionismo y por lo tanto el resultado final depende del observador y sus objetivos para estudiar el sistema (Tittone, 2010)

Un enfoque adecuado, para responder estas preguntas parece estar dada por el concepto de Terroir. El “Terroir” puede ser definido como la interacción de los factores-elementos-constituyentes que conforman un ecosistema: el clima, el suelo y la vida en un sitio geográfico determinado (Seguin, 1986), y factores humanos, expresados como las técnicas vitivinícolas (Deloire *et al.*, 2003, 2008). La cantidad, calidad de la cosecha y la tipicidad de sus vinos dependerá de la interacción de estos factores junto con las prácticas enológicas.

De acuerdo a la resolución OIV/VITI 333/2010 de la Organización Internacional del Vitivinicultura (www.oiv.org) un terroir vitivinícola se define como *“...un concepto que se refiere a un espacio sobre el cual se desarrolla un saber colectivo de las interacciones entre un medio físico y biológico identificable y las prácticas vitivinícolas aplicadas, que confieren unas características distintivas a los*

productos originarios de este espacio. El “terroir” incluye características específicas del suelo, de la topografía, del clima, del paisaje y de la biodiversidad”

El enfoque metodológico implicado en el estudio de terroirs, permite una buena aproximación al conocimiento del funcionamiento real de viñedo y posibilita la definición de itinerarios técnicos. Conceptualmente el Terroir constituye además, una estrategia adecuada para favorecer la inserción en el comercio mundial de vinos y asegura la trazabilidad. A nivel local, fomenta el desarrollo territorial, genera mayor valor económico y promueve el “anclaje” de las empresas y la permanencia del productor en su tierra.

De acuerdo a Morlat (1996) el estudio del “terroir” vitícola debe incluir una etapa de investigación sobre el medio “físico” (clima, geología, topografía, suelos) y otra sobre la respuesta de la planta a ese ambiente. Además de las consideraciones de este autor, la secuencia debería incluir un factor adicional, jerárquicamente superior, que es la energía solar recibida a nivel de suelo.

El clima es un factor relevante en la expresión del terroir. Influye en la fisiología de la vid a través de las temperaturas, la lluvia, el déficit de presión de vapor, evapotranspiración potencial, horas de sol y viento. Varía en el espacio en distintas escalas: de una región a otra (escala macro-climática), dentro de una misma región vitícola (escala meso-climática), con la topografía (escala topo-climática), dentro de un mismo terreno o de una canopia (escala micro-climática) (Van Leeuwen *et al.*, 2007). Estudios del clima para la viticultura a nivel macro fueron realizados en Uruguay por Ferrer *et al.* (2007) obteniendo como resultado una caracterización climática del país tomando como base el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio (Tonietto y Carboneau, 2004), demostrando como el clima condiciona la fenología y la composición de la baya. Un ejemplo de estudio a escala mesoclimática es el realizado por Fourment *et al.* (2013), analizando la variación espacial de la temperatura a distintas distancias de la costa y su influencia sobre la composición de la baya.

Los factores geográficos (latitud, altitud, relieve, corrientes marinas y proximidad a grandes masas de agua) influyen sobre el clima de un sitio

determinado. En la costa del Río de la Plata, si bien la altitud y el relieve no tienen una potencia que pueda considerarse relevante, la presencia de la enorme masa de agua del estuario puede considerarse un factor capaz de influir sobre el mesoclima y en consecuencia sobre fisiología de los viñedos de su proximidad.

En virtud de esta característica geográfica, el territorio costero estaría fuertemente influenciado por el viento y en particular por las brisas de mar y tierra. De acuerdo a Yan y Anthes (1988) y Abbs y Physick, (1992), en latitudes extra tropicales, la penetración de la brisa excede raramente 40 km o 50 km y tiene influencia sobre los elementos del clima: temperatura, humedad, nubosidad y precipitación. La influencia de las brisas de mar y tierra fue analizado por Bonnardot *et al.* (2005) en viñedos de Stellenbosch. Este tipo de estudios constituye una referencia importante para nuestra viticultura, especialmente por referirse a una zona de latitud similar y en el mismo Hemisferio.

La radiación solar es la fuente primaria de energía que desencadena los procesos físicos y químicos que dan origen a la vida, posibilita la fotosíntesis y la producción de biomasa y hace funcionar el sistema climático. Un factor externo o astronómico, como la radiación solar genera la circulación atmosférica, determina la temperatura, el ciclo hidrológico y los vientos (Murphy y Hurtado, 2011).

La magnitud de diferentes fenómenos meso-climáticos con consecuencias trascendentes para la producción vitícola, también se pueden asociar a la cantidad de energía recibida. Entre estos fenómenos dependientes de la radiación solar se pueden citar las brisas de mar y tierra, la temperatura, la humedad relativa del aire y la evapotranspiración del viñedo. En consecuencia la radiación solar incidente también influiría sobre los índices climáticos utilizados para caracterizar una zona, como las sumas térmicas o el balance hídrico del suelo.

La variabilidad temporal, llamada frecuentemente “efecto año”, designa las variaciones en el comportamiento de la vid y la maduración de la uva, de un año a otro, en un terreno determinado. La variabilidad interanual refleja únicamente el efecto del clima, ya que el tipo de suelo y el material vegetal son constantes (Van Leeuwen *et al.*, 2007). Estudios como el de González-Neves *et al.* (2010) demuestran

el efecto año sobre la variación interanual de la composición de la uva de Tannat, determinando un peso preponderante de los factores climáticos sobre los contenidos de componentes de calidad. Esta variabilidad en la composición también expresaría la variación interanual de la cantidad de irradiación solar recibida a nivel de tierra

Al factor clima, le sigue en jerarquía el suelo. La disponibilidad hídrica del suelo y su variación estacional, afectan la duración del ciclo de la vid, el vigor, el rendimiento, la producción de materia seca, la composición de la baya y en consecuencia del vino. El estudio de la geología es otro factor fundamental, dado que la naturaleza de la roca gobierna el drenaje profundo y el grado de resistencia a la penetración de las raíces (Myburgh *et al.*, 1996). Carey *et al.* (2008) expresan que la geología influye en la forma del paisaje y en el clima de viñedo, a través de la altitud, el aspecto de la pendiente, la cercanía de cuerpos de agua y la exposición a los vientos dominantes. El estudio de terroirs en Uruguay ha permitido caracterizar la geología de distintas regiones del país a escala de viñedo (Echeverría *et al.*, 2009, Celio, 2016).

Las características más importantes del suelo, en relación a la producción vitícola, son la profundidad y la capacidad de almacenamiento de agua (Rankine *et al.*, 1971). En el mismo sentido, (Zufferey y Murisier, 2004) indican que la capacidad de regular la oferta hídrica, que depende del suelo y de las precipitaciones que ocurren cada temporada, aparece como el principal factor cualitativo de un terroir. De acuerdo a Jackson y Lombard (1993), los posibles efectos sobre la composición de las uvas, son más difíciles de evaluar que la influencia del clima. La respuesta de la planta en relación a la cantidad de agua disponible, depende de la cantidad y del período fenológico que se aplique (Goodwin, 1995). Durante la maduración, los problemas de drenaje del suelo y excesos en el suministro hídrico determinan una pérdida de calidad del vino Acevedo *et al.* (2004), del mismo modo, las condiciones de déficit hídrico severo tienen consecuencias negativas en la uva y la planta (Morlat *et al.*, 1992). Sin embargo, cuando los niveles de hidratación de la planta durante la maduración son adecuadas, se obtienen efectos positivos sobre la calidad del mosto, aspecto que fue estudiado entre otros por Petrie *et al.* (2004) y

Ojeda *et al.* (2005). Estudios como el de Echeverría *et al.* (2012) demuestran la respuesta diferencial de la planta en función de la oferta hídrica de distintos suelos de una misma región climática.

El contenido de materia orgánica en el suelo también cumple un rol clave, por su capacidad de retener agua, mejorar la estructura física del suelo y aportar nutrientes, en particular N. La importancia de este elemento han llevado a que algunos autores como Van Leeuwen *et al.* (2000) propongan que el nivel de N natural del suelo, asociado al contenido de materia orgánica, debería ser considerado un componente del terroir.

La precocidad del ciclo de la vid influye sobre la calidad de la uva y está estrechamente relacionado con la temperatura, textura, estructura y contenido de agua del suelo (Cellier *et al.*, 1996), además de la temperatura del aire. Zufferey y Murisier (2004) sostienen que la evolución fenológica es influida principalmente por el mesoclima térmico, determinado por la altitud, pendiente y orientación de la pendiente.

El nivel de cada una de estas variables del suelo y la topografía modifican entonces, el volumen y la distribución radicular, el desarrollo vegetativo, la producción de biomasa, la productividad del viñedo y la composición de la baya (Choné *et al.*, 2001), modulado por las condiciones climáticas de cada año.

La implementación de técnicas de teledetección satelital como método para inferir el potencial productivo del suelo en dos posiciones topográficas diferentes del terroir ha sido ensayado en Uruguay por Echeverría *et al.* (2013).

En el terroir, además del clima, el suelo y el factor genético, las prácticas vitícolas tienen gran relevancia. El viñedo no existe sin la acción humana. El viticultor es parte del terroir y mediante las técnicas de cultivo busca adoptar un sistema funcional a las condiciones del ambiente.

Por ejemplo, la relación fuente-fosa es una opción que el viticultor regula con la aplicación de técnicas de cultivo y está en función de su conocimiento del terroir.

Esta correlación constituye un buen indicador de planta equilibrada y de este modo la acción humana hace que el resultado del sistema sea funcional al terroir.

El factor humano ha sido abordado por Coulon (2012) quien creó un modelo del funcionamiento de la viña con el objetivo de optimizar las prácticas culturales y tener una mejor matriz de tipos de vinos obtenidos. Los factores fundamentales fueron el medio, las prácticas culturales y sus interacciones posibles.

En la medida que cada componente de un agroecosistema puede ser analizado como un subsistema particular, la investigación de Terroirs requiere la definición de una escala jerárquica del objeto de estudio, así como la definición de límites espaciales y temporales.

El concepto de escala aumenta la complejidad de la investigación en Terroirs, aspecto que ha sido abordado por Vaudour (2002). Según la escala, el peso relativo de los factores (clima, geología, suelo, etc.) sobre el resultado puede variar. A mesoescala, los factores geográficos tienen un peso muy importante, en tanto que a escala de viñedo, las características del suelo cobran mayor relevancia. En parcelas implantadas con una misma combinación de variedad y portainjerto, es común observar sectores donde las plantas expresan diferencias de vigor, rendimiento y calidad de la uva, como resultado de las diferencias espaciales en las propiedades físicas y químicas del suelo y de su oferta hídrica.

De acuerdo a Deloire *et al.* (2003), es posible diferenciar varios niveles (temporales) para analizar el comportamiento de la viña en un terroir: estudios puntuales (de un ciclo) permiten una primera zonación para una parcela o un grupo de ellas, los de mediana duración (3 o más ciclos) permiten integrar el efecto año, en tanto que los estudios de larga duración permiten caracterizar una zona vitícola en su conjunto. En función del objetivo, es necesario establecer un compromiso entre la duración del estudio y las metodologías a utilizar.

El estudio de terroirs debe analizar el efecto conjunto de la interacción de los parámetros fundamentales sobre el funcionamiento del sistema. En virtud de la dificultad que implica resolver este problema, la investigación ha debido centrarse

fundamentalmente en la evaluación de la incidencia de cada factor sobre la calidad de la uva y otras variables de respuesta. De este modo, se ha estudiado el efecto del clima a diferentes escalas, la influencia del suelo, la geología y topografía, la variedad, el portainjerto, las técnicas del viticultor. A su vez cada uno de estos factores se ha fragmentado, investigando sobre alguno de sus componentes o propiedades, tales como la temperatura del aire, la fertilidad del suelo o el deshojado precoz. Esta información, si bien aporta elementos fundamentales para la comprensión de las relaciones de causa-efecto, no es suficiente para comprender el funcionamiento del sistema en su conjunto. Para ello es necesario construir modelos en los cuales se identifique el aporte relativo de los distintos factores al resultado final. Johansen (1982) cita al análisis factorial como una de las “tendencias” en la aplicación práctica de la Teoría General de Sistemas, que posibilitan la síntesis del agroecosistema.

En viticultura existen destacados antecedentes de investigación utilizando un enfoque sistémico, como el trabajo de Van Leeuwen *et al.* (2004). Estos autores demostraron el efecto significativo de los factores clima, suelo y genética (variedad y portainjerto), sobre un conjunto de variables de respuesta de la vid.

En Uruguay existen antecedentes de estudios orientados a identificar la tipicidad de Tannat en distintos terroir (Echeverría *et al.*, 2007, Ferrer *et al.*, 2011). Sin embargo, hasta el momento no existen trabajos que incluyan y comparen diferentes lugares a lo largo de la mayor región productora de uvas de Uruguay, como es la franja costera del Río de la Plata.

1.5 LAS PREGUNTAS QUE BUSCA RESPONDER EL ESTUDIO

¿Cuáles son las características predominantes del ambiente físico de los terroirs vitícolas distribuidos a lo largo de la costa uruguaya del Río de la Plata?

¿Cuál es la respuesta de Tannat frente a las condiciones físicas del ambiente?

¿Cuál es la influencia relativa de los distintos factores del terroir, sobre la variabilidad en el rendimiento de la planta, la sanidad del racimo y la composición del mosto?

1.6 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el ambiente físico de diferentes unidades de Terroirs vitícolas de la costa uruguaya del Río de la Plata y analizar su influencia sobre las variables de respuesta de la planta y la uva

1.6.1 Objetivos específicos

- Determinar Índices Climáticos vitícolas para la costa, analizando la influencia de las “brisas de mar y tierra” sobre los mismos
- Determinar la distribución espacial y temporal de la radiación solar incidente a nivel del viñedo.
- Analizar la relación de la radiación con las variables y los índices climáticas
- Caracterizar los suelos y su variabilidad, determinando la capacidad de drenaje y disponibilidad hídrica.
- Evaluar el impacto de las propiedades físicas de los suelos identificados sobre el vigor de la planta y sobre la cantidad y calidad de la vendimia.
- Determinar la incidencia relativa de los factores del terroir sobre la variabilidad en la respuesta de la planta

1.7 PARÁMETROS DE DISEÑO

En este estudio se aplicó un enfoque de meso-escala. No obstante, para realizar una interpretación adecuada, se realizaron estudios a escala de viñedo, tales como suelos, variables meteorológicas y respuesta de la planta.

Los límites físicos del estudio comprenden el territorio uruguayo junto a la costa del Río de la Plata, desde Colonia del Sacramento (34°21'51.72''S, 57°54'13.34''W) a Punta del Este (34°56' 18.63''S, 54°56' 11.89''W). El territorio comprende una faja que se extiende a lo largo de 280 km y a 50 km de la costa. La región de estudio corresponde fundamentalmente a las zonas media y exterior del Río de la Plata.

Se estableció un límite temporal de cuatro años, que comprende los ciclos productivos de las vendimias de 2011 a 2014.

Los ensayos se realizaron seis regiones de la costa, conteniendo un total de nueve viñedos comerciales de la variedad Tannat, conducidos en espaldera con filas orientadas de N a S. Los viñedos se encuentran distribuidos a diferente distancia de la costa, entre 1 km y 42 km y a una altura sobre el nivel del mar que varía entre los 17 m y 140 m.

Las regiones se definieron en función de su distribución a lo largo de toda la costa, intentando mantener una distancia más o menos equitativa entre ellas (distancia de W a E entre regiones oscila entre 41 km y 90 km). El segundo aspecto fue su posición respecto a las zonas geográficas en que se divide el Río de la Plata. Las dos primeras regiones corresponden a la zona media del estuario, dos al límite de la zona media con la zona exterior y dos regiones se ubican junto a la zona exterior del Río de la Plata. En cada zona del Río se buscaron parcelas a diferentes distancias de la costa. El tercer requisito fue que cada región dispusiera de viñedos con la misma composición varietal, sistema de conducción y orientación de las filas.

1.8 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La Tesis se divide en cinco capítulos:

En el capítulo 1 se describe el marco general del estudio, la justificación, el objetivo y los parámetros de diseño del ensayo.

El capítulo 2 a la caracterización del clima y de la radiación solar incidente, en diferentes terroirs vitícolas ubicados en la costa del Río de la Plata. Este capítulo se divide en tres partes, las dos primeras secciones se desarrollan originalmente en esta tesis, en tanto que la tercera corresponde a la transcripción de un artículo publicado en 2016.

La sección 2.1 trata sobre la caracterización del clima en la costa del Río de la Plata, en relación a la producción vitícola, con énfasis en las brisas de mar y tierra y su influencia sobre el microclima del viñedo.

Se investiga sobre las características climáticas a lo largo de la costa del Río de la Plata. El enfoque utilizado involucra diversas variables meteorológicas y el análisis de su variabilidad espacial y temporal.

El aporte original del capítulo es el estudio del comportamiento de los vientos durante el ciclo vegetativo de la vid, en particular de las brisas de mar y tierra durante los meses de verano y su influencia sobre el microclima de la canopia.

La sección 2.2 aborda el tema de la distribución espacial y temporal de la irradiación solar a nivel de los terroirs vitícolas costeros y su relación con las principales variables meteorológicas.

El aporte novedoso de este capítulo es la inclusión de la radiación solar incidente como un nuevo indicador para la delimitación de terroirs, que es posible determinar mediante una metodología idónea basada en información satelital. Otro aspecto original es la relación establecida entre la irradiación solar y los índices comúnmente utilizados para definir el clima para la viticultura. Esta asociación constituye una herramienta metodológica sencilla, que permite captar las condiciones globales del estado de la atmósfera para la producción vegetal, agregando además información sobre la radiación fotosintéticamente activa

En la sección 2.3 se analiza la distribución de la irradiación solar en distintos terroirs de la costa del Río de la Plata y se establecen correlaciones con índices utilizados para caracterizar el clima para la viticultura.

El texto corresponde al artículo: Echeverría G, Ferrer M, Alonso-Suárez R, Mirás-Avalos J (2016) “Spatial and temporal distribution of solar irradiation in Río de la Plata as estimated by satellite imagery. Relationships with climate variables”. *International Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 2016; 3(4): 22-33)

El capítulo 3 aborda aspectos de la geología y la caracterización de los suelos, con énfasis en las propiedades físicas y en la disponibilidad hídrica. Se estudia el efecto del tipo de suelo sobre el vigor, el rendimiento y la composición de la baya.

El capítulo comprende dos partes. En la primera sección (3.1.) se analiza la relación entre la topografía y el suelo y su efecto sobre el potencial productivo. El estudio constituye un aporte metodológico que permite inferir el potencial productivo de un viñedo, de manera sencilla a partir de imágenes satelitales y la estimación del Índice Normalizado de Vigor (NDVI). Esta sección corresponde a la transcripción del texto de un artículo publicado en congreso (con revisión de pares):

Echeverría G, Ducati J, Ferrer M (2013) Implementation of techniques for remote sensing as a method to determine the productive potential of a viticultural terroir. 18th International Symposium GiESCO 2013 (Group of international Experts of vitivinicultural Systems for CoOperation) Editorial: Ciência e Técnica Vitivinícola, INIAV - DOIS PORTOS (Ex-Estação Vitivinícola Nacional), Dois Portos Proceedings: Actas, 28 , 719- 723

En la segunda sección (3.2.) se describen los suelos de distintas regiones vitícolas ubicados en la costa del Río de la Plata, con énfasis en sus propiedades físicas y la disponibilidad hídrica. Se analiza la influencia del tipo de suelo sobre distintas variables de respuesta de la planta. El estudio constituye el primer antecedente de investigación nacional sobre el efecto, de diferentes suelos de una gran región, sobre la respuesta de la vid.

El texto corresponde a un artículo (aceptado y en proceso de edición):

Echeverría G, Ferrer M, Mirás-Avalos J, “Effects of soil type on vineyard performance and berry composition in the Río de la Plata Coast (Uruguay)” Oeno-One (Original File 1829).

En el capítulo 4 se analizan los factores físicos y humanos del terroir. El enfoque utilizado en la investigación permite obtener una visión jerarquizada de la influencia de los distintos componentes del terroir.

Se generó un indicador simple denominado “Fuente-fosa”, que refleja la acción del viticultor sobre el sistema. La adecuación de la relación superficie foliar y rendimiento es un mecanismo que adopta el productor para alcanzar el equilibrio de

la planta en un ambiente determinado. La acción humana determina el equilibrio del agroecosistema y la expresión de las características distintivas de un terroir.

El capítulo es una reproducción del artículo: Echeverría G., Ferrer M., Mirás-Ávalos J.M. (2017) Quantifying the relative impact of physical and human factors on the viticultural expression of terroir. International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR) ISSN: [2454-1850] [Vol-3, Issue-4, April- 2017]

El capítulo 5 de conclusiones y perspectivas reúne los elementos centrales de la investigación, pone de relieve los aspectos metodológicos originales, re-significa el conocimiento científico obtenido y su aplicabilidad a la viticultura y a otras producciones agrarias y propone una serie de líneas de investigación sobre las cuales sería importante profundizar.

2. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA Y RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE EN TERROIRS DE LA COSTA DEL RÍO DE LA PLATA

2.1. CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA DE LA COSTA DEL RÍO DE LA PLATA PARA LA PRODUCCIÓN VITÍCOLA: BRISAS DE MAR Y TIERRA Y SU INFLUENCIA SOBRE EL MICROCLIMA DEL VIÑEDO

2.1.1 Introducción

La vid es un cultivo ampliamente condicionado por el clima, factor determinante del ciclo vegetativo, el rendimiento y la calidad de producción, impidiendo en casos extremos su cultivo. (Branas, 1974, Riou y Carbonneau, 1994, Ferrer *et al.*, 2007, Fernández De Carvalho, 2009, Malheiro *et al.*, 2010). Las correlaciones entre las variables climáticas y las variables de funcionamiento de la viña son la base de la individualización de la vocación vitícola de una zona en función de los objetivos enológicos esperados (Ferrer *et al.*, 2007). En el mismo sentido Hunter y Bonnardot (2011), expresan que las fuertes implicaciones del clima sobre funcionamiento de la vid, hacen necesario cuantificar los umbrales climáticos óptimos y extremos para los procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis, respiración, a fin de determinar la aptitud vitícola de una región.

Jackson y Lombard (1993), asocian la contribución del clima, además de otros factores, a la calidad del vino, señalando asimismo que si bien la producción mundial de vino ha aumentado a una velocidad superior al incremento del consumo, en general no existen excedentes de vino de alta calidad.

En un análisis de las relaciones entre clima y producción total y calidad, se pudo constatar que, el incremento del número de días cálidos durante la floración y envero y una reducción en las precipitaciones durante la maduración, producen un aumento en la puntuación de la cosecha y la mayor calidad del vino (Jones y Davis, 2000)

Grifoni *et al.* (2006), encontraron alta correlación entre calidad de la uva y condiciones meteorológicas en años caracterizados por una reducción de las precipitaciones y temperaturas más cálidas. Laget *et al.* (2008), determinaron que

con incrementos de la temperatura media anual y de la evapotranspiración potencial, se anticipó la fecha de cosecha y la concentración de azúcar. En el mismo sentido Soar *et al.* (2008), determinaron que altas frecuencias en determinados rangos de temperaturas se asociaron con significativas mejoras en la calidad del vino. El rendimiento de la vid es otra variable fuertemente influenciada por variables climáticas tales como temperatura y precipitaciones, analizadas por Lobell *et al.* (2007) y la irradiación, temperatura, precipitaciones y humedad, estudiadas por Steel y Greer (2008)

Sin embargo la cuestión de cómo los elementos del clima afectan la producción de uvas y la calidad del vino es muy compleja y depende de los valores del clima y los intervalos fenológicos. A este problema, se suma la constatación de que, en la segunda mitad del siglo XX, la mayoría de las regiones del mundo de elaboración de vinos de alta calidad, han experimentado una creciente tendencia al calentamiento en la temporada de producción. (Jones *et al.*, 2005). Escenarios climáticos futuros (2050) para la cuenca y estuario del Río de la Plata (Bidegain y Camilloni, 2006) pronostican cambios en la temperatura media (+1 °C a -2 °C), aumento en la variación de las precipitaciones (+5 a + 20 %) y probable aumento del componente E y SE de los vientos. En este marco es importante analizar la información meteorológica para proporcionar a los viticultores herramientas operativas y de previsión para mejora de la gestión del viñedo (Grifoni *et al.*, 2006).

Los índices bioclimáticos que describen la idoneidad de una región en particular para la producción de vino, son una herramienta muy utilizada en la zonificación (Malheiro *et al.*, 2010) y considerada por algunos autores como el punto de partida para la identificación de terroirs vitícolas, revistiendo interés tanto desde el punto de vista del conocimiento de la respuesta de la planta a las condiciones del medio, como para su explotación comercial (Deloire *et al.*, 2003).

Este interés por caracterizar regiones productivas, mediante utilización de índices bioclimáticos que buscan establecer límites geográficos y definir las condiciones en que se desarrolla la viticultura, se expresa en el desarrollo de numerosas investigaciones, entre los que se destacan: Winkler (1962), Branias (1974),

Huglin (1978), Gladstones (1992), Fregoni y Pezzutto (2000), Tonietto (1999), Tonietto y Carbonneau (2004), Jones (2006), Makra *et al.* (2009).

La ecofisiología explica la modulación de las respuestas de la vid a las circunstancias climáticas. El concepto de base utilizado es el balance energético del cultivo, que se conecta con su balance hídrico y que regula el ensamble de respuestas de una población de plantas al medio ambiente, y la mayoría de los fenómenos que dependen de ello Carbonneau *et al.* (2007). Los componentes del microclima radiativo son equilibrados por los componentes del microclima térmico y del microclima hídrico, y por la energía requerida por las actividades biológicas tales como la fotosíntesis. El balance hídrico del cultivo en un momento dado, presionan sobre el balance energético.

De acuerdo a Riou y Carbonneau (1994) los principales componentes del balance hídrico potencial son: la reserva inicial o potencial del suelo, los aportes por lluvia (también por irrigación, escorrentía y drenaje), las pérdidas por transpiración del cultivo, ligado a la intercepción de radiación solar, y por la evaporación del suelo (también por la evapotranspiración de la cobertura vegetal, la escorrentía y el drenaje)

La temperatura tiene una acción directa sobre la mayor parte de los mecanismos o metabolismos celulares; la consecuencia es que la planta entera responde de manera global y coordinada a las variaciones de temperatura, especialmente en términos de desarrollo; por lo cual es posible medir la fenología y establecer para el crecimiento una variable “tiempo térmico”, mediante una suma aritmética de temperatura. (Carbonneau *et al.*, 2007).

Estudios realizados por Van Leeuwen *et al.* (2004), sobre los tres componentes principales del terroir: suelo, clima y cultivo, demostraron que los impactos del clima y el suelo, sobre el desarrollo de la vid y la composición de la baya, fueron mayores que los del cultivar. Del mismo modo Ferrer *et al.* (2014) estudiando el comportamiento de tres variedades *Vitis vinifera* L. durante cuatro cosechas, en el Sur de Uruguay, demostró que las variables climáticas explicaron el 56,6 % de la varianza global del rendimiento y el 62,4 % de la composición de la uva,

confirmando que el “efecto año” resultó superior a la genética y las técnicas de cultivo.

La aplicación de índices bioclimáticos para la zonificación vitícola de Uruguay, tienen su nivel más destacado en los trabajos de Enrich y Ferrer (1992); Luis Hidalgo (1992) (no publicado); Ferrer *et al.* (2007) y Tonietto *et al.* (2013).

En base al Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovítica (CCM o SCCM) propuesto por Tonietto y Carbonneau (2004), Ferrer *et al.* (2007), delimitaron seis regiones vitícolas en Uruguay, adaptando los índices de acuerdo a la capacidad de almacenaje hídrico de los suelos del país y al período en el que efectivamente transcurre el ciclo productivo. La mayor parte del viñedo uruguayo, afectado por la influencia de grandes masas de agua, se ubicó en dos tipos de clima vitícola: la primera templado, con noches templadas y sequía moderada y la segunda templado cálido, con noches cálidas y sequía moderada. En la región estudiada se incluye un sitio que corresponde a una tercera clasificación: clima vitícola templado cálido con noches templadas y sequía moderada. De acuerdo a los antecedentes mencionados, los sitios del ensayo pertenecen a las clasificaciones especificadas en el cuadro 1.

Cuadro 1 Clasificación de clima para la viticultura en las zonas correspondientes a parcelas del ensayo (Ferrer *et al.*, 2007)

Departamento	Sitio	Coordenadas	Clasificación de clima vitícola
Colonia	Parcela 1	34° 23' 47,40"S; 57° 52' 49,67"W	IHA4 IFA1 ISA1 Templado cálido, noches cálidas y sequía moderada
	Parcela 2	34° 23' 17,40" S; 57°51' 07,37" W	
Montevideo	Parcela 5	34°07' 10,46" S; 56°56' 50,98" W	
San José	Parcela 3	34°36' 44,77" S; 56°14' 42,02" W	IHA4IFA2 ISA1 Templado cálido, noches templadas y sequía moderada
Canelones	Parcela 4	34°53' 04,55" S; 56°19' 24,33" W	IHA3 IFA2 ISA1, Templado, noches templadas y sequía moderada
	Parcela 6	34° 39' 30,43" S; 55°47' 56,11" W	
	Parcela 7	34°39' 36,70" S; 55°47' 55,22" W	
Maldonado	Parcela 8	34°42' 31,74"; 55°03'31,56" W	
	Parcela 9	34°44'36,22" S; 55°01'16,42" W	

2.1.1.1 Clasificación climática de la zona influencia y tendencias

Uruguay está dominada por el borde del sistema de alta presión del Océano Atlántico sur o Anticiclón subtropical semipermanente, con una presión atmosférica anual promedio superior a los 1015 hPa, mientras que en la parte noroeste del país se presenta una relativa baja presión que es más intensa en verano, inferior a 1013 hPa.

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen-Geiger, a Uruguay le corresponde la categoría “Caf”, es decir: Templado, Subtropical, sin estación seca (verano cálido). La temperatura media del mes más frío es inferior a los 18 °C; y la del mes más cálido es superior a los 22 °C. Las precipitaciones son constantes, repartidas a lo largo del año y superan los registros de evaporación.

La costa oriental de Sudamérica, muestra un comportamiento estacional de menor intensidad que el litoral Pacífico, influida por la corriente marina del Brasil y sus aguas cálidas, provocando que los climas en la costa Atlántica sean más cálidos y

con mayor contenido de humedad y mucho más lluviosos que en similar latitud del litoral Pacífico.

El régimen de lluvia en la cuenca del Plata está muy influenciado por el flujo meridional de humedad de niveles bajos, que llegan predominantemente del norte por la circulación del noroeste durante todo el año, y del Atlántico en invierno.

Durante la estación estival, de octubre a abril, los sistemas convectivos de mesoescala (SCM) son frecuentes y responsables de gran parte de la precipitación total y frecuentemente causantes de inundaciones locales. La principal fuente de variabilidad climática interanual en la Cuenca del Plata es El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), cuyas fases extremas son conocidas como eventos El Niño y La Niña y constituye la razón principal de variabilidad interanual de la precipitación. (Barros *et al.*, 2006, Berbery *et al.*, 2006). Las “teleconexiones” o anomalías climáticas distantes, relacionadas con las perturbaciones atmosféricas sobre el océano Pacífico central, provocan en su fase cálida (El Niño) precipitaciones anormalmente abundantes en la cuenca del Río de la Plata, en tanto que durante los períodos de enfriamiento (La Niña) generan condiciones anormalmente secas.

Bidegain *et al.* (2009), analizaron las principales tendencias del clima de la costa uruguaya en un período extenso (1961 a 2008). En este lapso de tiempo la presión atmosférica en la costa del Río de la Plata ha decrecido en -0,5 hPa; la temperatura media aumentó en la costa atlántica del país (Rocha) entre +0.5 °C y +1,0 °C y en la costa del Río de la Plata +0,2 °C. La evolución de las precipitaciones acumuladas anuales mostró un comportamiento creciente en toda la costa, pero fue relativamente más importante en el litoral atlántico (Rocha) donde el aumento de las lluvias superó los 200 mm anuales en los últimos años. Para la costa del Río de la Plata las tendencias de aumento de las precipitaciones son evidentes pero algo más moderadas que en el este del país. La evolución de la velocidad media del viento medido en superficie (10 metros de altura sobre el nivel del suelo), mostró un comportamiento decreciente en las tres estaciones analizadas: Colonia, Carrasco y Punta del Este/Laguna del Sauce, en particular a partir de la década de 1990.

2.1.1.2 El viento y su influencia sobre otros parámetros del clima

Las principales fuerzas que actúan sobre el viento en capas bajas de la atmósfera son la fuerza del gradiente de presión, la fuerza de Coriolis y la fuerza de fricción. Como resultado de la fuerza de Coriolis, cuando el aire se desplaza en forma longitudinal, se desvía hacia la izquierda de su trayectoria en el Hemisferio Sur. Por su parte la fuerza de fricción provoca una desaceleración del viento por la rugosidad o topografía del terreno. La circulación general observada en latitudes bajas y medias del Hemisferio Sur, está dominado por los anticiclones subtropicales causando cambios estacionales asociados a su desplazamiento. (Murphy y Hurtado, 2011).

Los vientos predominantes en esta región (incluido el territorio costero de Uruguay) son de componente noreste por la presencia del anticiclón del Atlántico. Hacia el sur del Río de la Plata los vientos tienen en general componente oeste, típico de latitudes medias, con influencia de la corriente fría de Malvinas. (Facultad de Ciencias, UDELAR, Curso de Climatología)

Además del régimen global, la circulación local en la costa uruguaya se encuentra fuertemente influenciada por las brisas de mar y tierra, que generan vientos del sector sureste en el semestre cálido (octubre a abril), mientras que durante el otoño y el invierno se observa un incremento en la frecuencia de vientos del tercer cuadrante (sur a oeste). Hacia el interior del Continente los vientos disminuyen en intensidad por tres motivos: cese de la influencia de la brisa marina, aumento del efecto de fricción y disminución de los gradientes de presión atmosférica. (Bidegain *et al.*, 2009)

2.1.1.3 Brisas de mar y tierra

La brisa marina es un fenómeno de circulación atmosférica local que se produce en localidades costeras de todo el mundo (Abbs y Physick, 1992; Masselink y Pattiaratchi, 1998). Este evento puede tener una duración de entre varios minutos a algunas horas y está presente dos veces al día en sentido contrario. Abbs y Physick (1992).

La ocurrencia de circulaciones de brisa marina a lo largo del cinturón costero determinan un clima marítimo que está delimitada hacia el interior por la posición más frecuente del frente de la brisa (Planchon y Cautenet, 1997), que puede reducir las temperaturas extremas, proporcionar humedad y desencadenar precipitaciones en la costa (Silva Días y Machado 1997, Zhang *et al.* 2005). En tal sentido el surgimiento de actividad convectiva asociada, especialmente en verano, pueden llevar a la ocurrencia de chaparrones de lluvia al final de la tarde. Diversos autores confirman la presencia de una “franja de lluvias” costera generada por la brisa marina, que ubican por ejemplo entre 20 a 40 km hacia el interior en la región de Aquitania, SW de Francia (Planchon y Cautenet, 1997) o más allá de los 30 a 35 km en las costas rumanas del Mar Negro (Mihailescu, 1986). El frente del flujo de la brisa desde el mar hacia la tierra, produce efectos similares al de un frente frío, con el desarrollo de tormentas convectivas en el sudeste de Inglaterra (Smith, 1976). Otros autores como Hsu (1970) asocian la brisa marina con la generación de una línea de cúmulos sobre la zona costera de Texas.

La brisa marina o SBS (System Breeze Sea) ocurre bajo condiciones de escasa o nula nubosidad, cuando la superficie de la tierra se calienta más rápidamente que el mar debido a la mayor capacidad calórica del agua, creando un contraste térmico y un gradiente de presión asociado. La fuerza generada, moviliza una capa de aire marino poco profunda dirigido desde el mar a la tierra (Miller *et al.*, 2003). La SBS que sopla desde el mar hacia la tierra, aparece al final de la mañana, alcanzando su máxima intensidad al comienzo de la tarde. Como la diferencia de temperatura mar/tierra aumenta durante el día, el gradiente de presión se produce en niveles bajos en la atmósfera, dando inicio a la brisa del mar cerca de la superficie de la Tierra (Simpson, 1994). Hacia la noche, la brisa desde el mar disminuye progresivamente, durante cuyo transcurso, la pérdida radiativa diferencial provoca un enfriamiento de las capas de aire adyacentes, que será más intenso sobre el continente, generando una masa de aire que invade el océano, desarrollándose una circulación conocida como brisa terrestre (Abbs y Physick, 1992)

En general la intensidad de la brisa marítima aumenta al disminuir la latitud, volviéndose más fuerte debido al superávit radiativo

La SBS se compone de varios fenómenos anidados espacial y temporalmente (figura 1). Algunos de estos componentes son: la circulación de la brisa marina (o SBC) una célula de rotación vertical de mesoescala con flujo hacia la costa y próximo a la superficie de la tierra; la brisa de gravedad (o SBG) que es la dirección a la tierra del flujo de aire marino y fresco en la parte inferior horizontal de SBC; un borde frontal de brisa (SBF) hacia la tierra, de la SBG y la SBC, asociado a menudo a cambios bruscos en la temperatura, humedad, viento y en la presencia de cúmulus. Además de estos puede distinguirse una cabeza de brisa (o SBH) por detrás y por encima de SBG, creado por corrientes de masas de aire continentales y marinos, así como un conjunto de ondas (de Kelvin-Helmholtz o KHBs) que se desarrollan a lo largo lo largo del límite superior de la SBG. (Miller et al 2003)

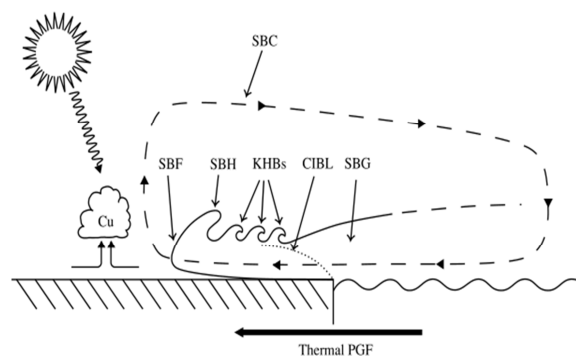


Figura 1 Sistema de brisa marina (Miller *et al.*, 2003)

La altura de la capa donde se produce la brisa marítima varía con las condiciones climáticas y locales pudiendo alcanzar entre 300 m y 1000 m en zonas templadas (Pedelaborde, 1987; Abbs y Physick, 1992; Bonnardot *et al.* 2002). La intensidad de la brisa junto a grandes lagos y costas de mar de zonas templadas varía entre 1 y 3 en la escala Beaufort ($1,3-5,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o $4,7-19,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)

Además de la variación diurna de la temperatura de la superficie y la difusión de calor, que dan origen a la SBS, la fuerza de Coriolis produce una rotación en el transcurso del tiempo por la cual se limita la penetración sobre la tierra. La teoría

sugiere que la brisa del mar, que se inicia al final de la mañana en sentido perpendicular a la costa, rota durante el día generalmente en sentido anticiclónico por una combinación entre el gradiente de presión y la fuerza generada por el efecto de Coriolis, hasta soplar paralelo a la costa (Simpson, 1996). Sin embargo el sentido y el tiempo necesario para la rotación (anticiclónica o ciclónica) puede variar por influencia de la topografía en las proximidades de la costa (Neumann, 1977). Cuando la topografía no significa una barrera a la penetración de la brisa, como es el caso de una pequeña colina, puede funcionar amplificando y anticipando la SBS con respecto a una llanura costera (Banta *et al.*, 1993).

Las tasas diarias de rotación de los vientos en superficie muestran una breve detención durante la media tarde y un estancamiento durante la noche. Esta velocidad de rotación irregular se explica por la composición semi-diurna de la fuerza del gradiente de presión, generada por calentamiento solar no sinusoidal en el transcurso de un día. (Sakazaki y Fujiwara, 2008).

La velocidad del viento del SBS aumenta cuanto mayor es el gradiente espacial de temperatura entre mar y tierra, que además de otros factores estará influido por las características físicas del suelo. A modo de ejemplo, una amplia zona de dunas costeras en Alcoa Bay, Sudáfrica, genera una rápida e importante diferencia térmica diaria, que provoca vientos fuertes. (Schumann *et al.*, 1991)

La SBC produce un regreso del flujo hacia el mar flujo que generalmente se desarrolla por encima del límite superior del aire marino. Autores como Chiba *et al.* (1999) indican que en este flujo de regreso solo existe una conservación parcial de la masa y por lo tanto no se trataría de un sistema cerrado.

El viento predominante desempeña un papel importante en la detección de la llegada de la brisa a tierra y en su comportamiento. Generalmente la brisa es precedida por condiciones de calma, cuando el forzante de escala sinóptica es brevemente equilibrado por el forzante térmico creado localmente (Ohashi y Kida, 2002). Estos sistemas se incrementan con la disminución de la nubosidad y de las perturbaciones de la escala sinóptica o de gran escala.

Una circulación de brisa marina puede existir enteramente en alta mar, si el flujo sinóptico de oposición es fuerte. Esta brisa, más débil tendrá relativamente pequeñas velocidades verticales reduciendo su capacidad de desencadenar la convección profunda y alcanzar tierra (Arrit, 1993)

La determinación de la extensión de tierra adentro de la circulación de la brisa marina es un problema complejo, dependiente del contraste de temperatura tierra/mar, la fuerza de Coriolis, la topografía y fricción de la superficie terrestre, la estabilidad, y otros factores (Miller *et al.*, 2003). La penetración de la brisa marítima sobre tierra es estimada entre 15 y 50 km en las zonas templadas, en tanto que el desplazamiento de la brisa terrestre es siempre menor, siendo en zonas templadas 10 km. La brisa marina es, en promedio, dos veces más intensa y mucho más persistente que la brisa terrestre (Reyes y Pares, 1983).

Aunque teóricamente existen relaciones que permiten determinar la penetración tierra adentro, los pronósticos precisos dependen de un estudio de campo para cada sitio. (Miller *et al.*, 2003). Bonnardot *et al.* (2002) encontraron que la brisa del mar en Cape Town, Sudáfrica, penetró hasta por lo menos 35 km tierra adentro a las 17:00 hs, con un efecto de enfriamiento que declinaba rápidamente con la distancia de la costa, en tanto que Colby (2004), en estudios realizados en New England (40,8 ° a 43,2 ° latitud N), indica una penetración usualmente inferior a los 20 km.

En la costa atlántica de Uruguay las diferencias de temperaturas del aire con respecto al agua en el verano, alcanzan máximos de 1,3 °C de promedio diario para diciembre. Sin embargo, las diferencias mayores de temperatura se observan a lo largo del día, con diferencias del orden de los 10°C.

2.1.1.4 Antecedentes de estudios del viento en Uruguay

Como resultado de un acuerdo de trabajo entre la Universidad de la República (UDELAR) y otros organismos estatales (DNETN-MIEM y Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas), en el marco del

plan gubernamental de “Política energética 2005-2030”, en 2009 se publica el Mapa eólico de Uruguay (MIEM-DNETN 2009), a partir del cual es posible determinar el valor promedio del viento a tres niveles de altura para cada región del país.

El análisis de estos mapas confirma una tendencia general de disminución del viento desde el SE al NW del país, así como la influencia de la topografía. Las zonas más altas de cada región, sierras, “cuchillas” y en general todas las divisorias de agua que dan origen a las principales cuencas hidrográficas, se corresponden con mayores velocidades del viento.

En el año 2012 el mismo grupo de investigadores apoyado por el equipo de vitivinicultura de la Facultad de Agronomía (UDELAR) realizaron un estudio específico de las brisas de mar y tierra junto al Río de la Plata, utilizando cinco estaciones distribuidas en la zona costera, a una distancia del mar entre 0,7 km y 33,5 km. En cada estación se ubicaron anemómetros a dos alturas, a un mínimo de 24m y un máximo de 74 m y el período analizado fue desde el año 2009 al 2012. Los resultados permitieron confirmar la presencia de brisa marina en todas las estaciones de medición. (Pienika y Cataldo, 2012). Por otra parte se correlacionó las brisas de mar y tierra desde el 15 de febrero al 15 de marzo de cada año, con la temperatura entre las 23 hs y las 4 hs, menores o iguales a 18 °C (temperatura límite entre dos categorías del Índice de Frescor Nocturno o IF). Se utilizó un anemómetro por estación meteorológica, ubicados entre 24 m y 27 m de altura. El modelo de regresión lineal muestra una tendencia creciente en la temperatura cuando aumenta la componente del viento perpendicular a la costa y en dirección tierra-mar, es decir a mayor intensidad de la brisa terrestre mayor aumento en la temperatura nocturna. Esta tendencia presenta mayor correlación para los sitios bajo influencia del Río de la Plata, en el W y centro de la costa (Artilleros en Colonia y Piedras de Afilar en Canelones). De los tres sitios analizados junto a la costa del océano Atlántico, solo en José Ignacio se obtuvo correlación entre la brisa y la temperatura (Cuadro 2).

Cuadro 2 Posición de anemómetros en la costa del Río de la Plata y Océano Atlántico y correlación de la brisa con las temperaturas nocturnas. Datos de ambas variables entre las 23hs y las 4hs, desde 15 de febrero a 15 de marzo, de los años 2009, 2010, 2011 y 2012.

Estación	Latitud	Longitud	Altura anemómetro	Distancia al mar	R ²
Artilleros	34°23'14.5"	57°33'27.3"	27m	4.8 km	0.38*
Piedras de Afilar	34°40'56.1"	55°34'31.2"	37m	10.3 km	0.49*
Arroyo Cañas	34°34'14.9"	54°50'11.9"	37m	33.5 km	0.15ns
José Ignacio	34°51'32.4"	54°43'54.7"	24m	0.7 km	0.30*
Rocha	34°05'38.2"	53°38'57.3"	31m	3.6 km	0.03ns

2.1.1.5 Objetivos del estudio

Los objetivos de este capítulo son:

- analizar la climatología de cada sitio durante cuatro ciclos productivos,
- determinar los índices de clima vitícola,
- verificar la presencia de brisas de mar y tierra, dirección dominante y evolución diaria.
- estudiar el efecto de las brisas de mar y tierra sobre parámetros de humedad y temperatura.
- analizar el microclima en las parcelas de ensayo

2.1.2 Materiales y métodos

La ubicación de los sitios de estudio se presentan en la figura 2 y en cuadro 3.

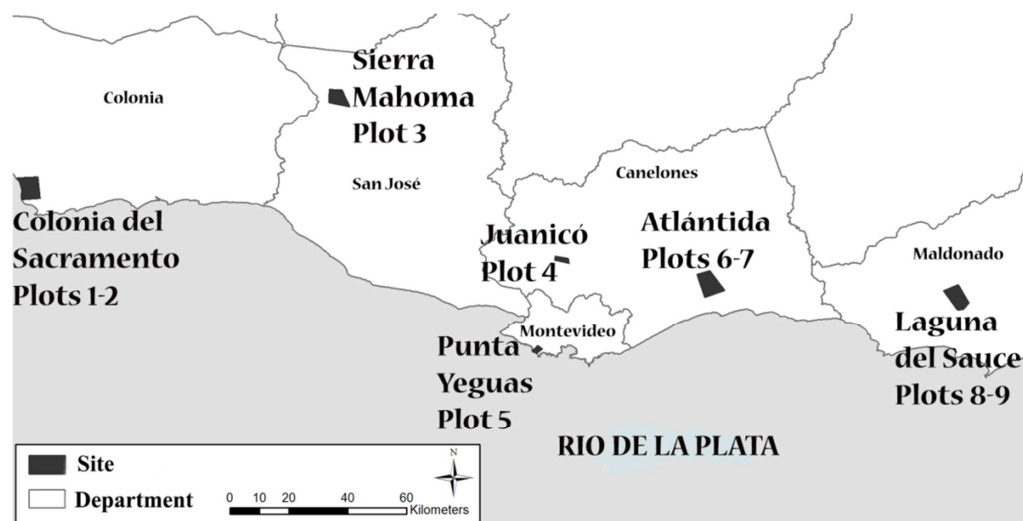


Figura 2 Ubicación de los sitios de estudio y parcelas del ensayo

Cuadro 3 Coordenadas de las parcelas de ensayo

Departamento	Sitio	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
Colonia	Parcela 1	34° 23' 47,40"S	57° 52' 49,67"W
	Parcela 2	34° 23' 17,40" S	57°51' 07,37" W
Montevideo	Parcela 5	34°07' 10,46" S	56°56' 50,98" W
San José	Parcela 3	34°36' 44,77" S	56°14' 42,02" W
Canelones	Parcela 4	34°53' 04,55" S	56°19' 24,33" W
	Parcela 6	34° 39' 30,43" S	55°47' 56,11" W
	Parcela 7	34°39' 36,70" S	55°47' 55,22" W
Maldonado	Parcela 8	34°42' 31,74"S	55°03'31,56" W
	Parcela 9	34°44'36,22" S	55°01'16,42" W

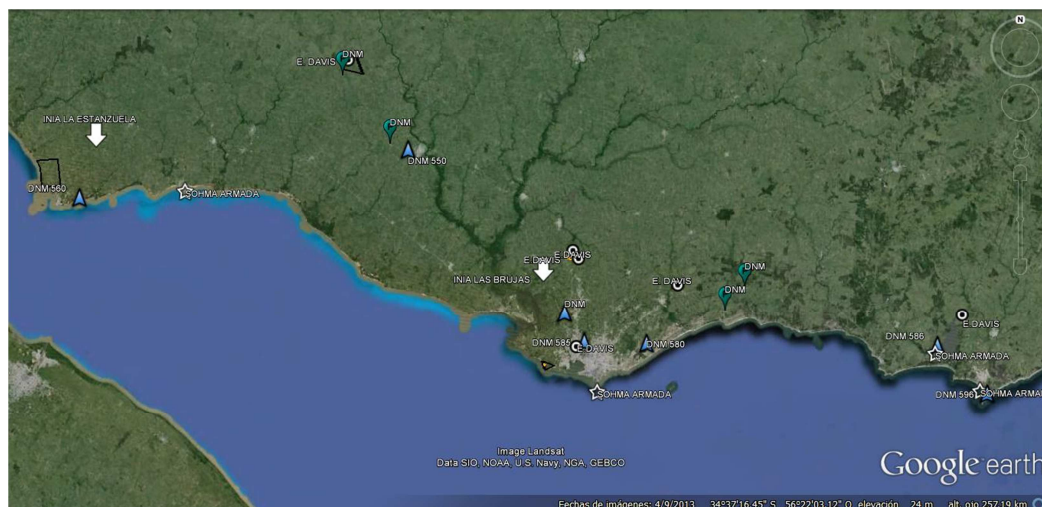
Las normales climáticas fueron obtenidas de series publicadas por el Instituto Meteorológico Uruguayo, para el período 1961 a 1990 de tres estaciones meteorológicas de la costa: Colonia en el W, Carrasco en el centro y Rocha en el E.

La información de variables climáticas durante los años 2011, 2012, 2013 y 2014, se obtuvo de distintas estaciones y servicios, instaladas y operadas según

normas técnicas de la Organización Mundial de Meteorología y distribuidas en todo el territorio costero. Se utilizaron datos de 7 estaciones convencionales y 4 estaciones pluviométricas operadas por el Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) ex Dirección Nacional de Meteorología de Uruguay (DNM); 3 estaciones convencionales del Servicio de Oceanografía e Hidrografía de la Armada (SHOMA) y 6 estaciones automáticas “Vantage Pro2” (Davis Instruments, Hayward, CA,U.S.A) en adelante (“Davis”) a cargo de operadores privados (empresas vitícolas) y Facultad de Agronomía (UDELAR). El listado completo de estaciones se presenta en el cuadro 4 y la distribución territorial en la figura 3.

Cuadro 4 Ubicación de las estaciones climáticas y sus operadores

Sitio	Coordenadas Latitud/Longitud	Altura m	Operador	Tipo de estación
Colonia	-34.4527 / -57.7661	18	Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET ex DNM)	Convencional
San José	-34.3500 / -56.7500	72	Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET ex DNM)	Convencional
Aeropuerto Melilla	-34.7876 / -56.2630	50.02	Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET ex DNM)	Convencional
Prado	-34.8606 / -56.2075	16.27	Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET ex DNM)	Convencional
Aeropuerto Carrasco	-34.8328 / -56.0126	32.9	Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET ex DNM)	Convencional
Laguna del Sauce	-34.8700 / -55.100	34	Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET ex DNM)	Convencional
Punta del Este	-34.9680 / -54.9507	16.4	Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET ex DNM)	Convencional
Dr. Soca	-34.6837 / -55.7027	16	Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET ex DNM)	Pluviométrica
Atlántida	-34.7700 / -55.7500	30	Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET ex DNM)	Pluviométrica
Juan Soler	-34.3215 / -56.8008	83	Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET ex DNM)	Pluviométrica
Manuel Artigas Mal Abrigo	-34.1490 / -56.9520	136	Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET ex DNM)	Pluviométrica
Las Brujas	-34.6700 / -56.3300	32	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)	Convencional
La Estanzuela	-34.3300 / -57.6800	81	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)	Convencional
Punta Brava	-34,9300 / -56,1500	3	Servicio de Oceanografía e Hidrografía de la Armada (SHOMA)	Convencional
Juan Lacaze	-34,8333 / -55.1000	3	Servicio de Oceanografía e Hidrografía de la Armada (SHOMA)	Convencional
Juanicó	-34,5833 / -56.2500	35	Operador privado – empresa vitícola	Autom. “Davis”
Juanicó CRS	-34,6000 / -56.2167	38	Facultad de Agronomía UDELAR	Autom. “Davis”
Empalme Olmos	-34,6667 / -55.9000	45	Operador privado – empresa vitícola	Autom. “Davis”
Guardia Vieja	-34,7333/-55.3000	60	Facultad de Agronomía UDELAR	Autom. “Davis”
Sayago	-34,8333 / -56.2167	41	Facultad de Agronomía UDELAR	Autom. “Davis”
Mal Abrigo SM	-34,1167 / -56.9333	128	Operador privado – empresa vitícola	Autom. “Davis”



	Estación convencional del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, Ex DNM)
	Estación pluviométrica del Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET, Ex DNM)
	Estación convencional del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)
	Estación automática "Davis". Manejo privado a excepción de Sayago y Juanicó
	Estación convencional del Servicio de Oceanografía e Hidrografía de la Armada (SHOMA)

Figura 3 Ubicación de las estaciones meteorológicas según tipo y operador.

A las series de datos se le aplicaron tests de validación según la norma UNE 500540 (2004). Aquellas que no superaron los niveles básicos fueron eliminadas y las que permanecían con datos "sospechosos" luego de los primeros filtros, fueron validados o rechazados luego de una inspección visual.

2.1.2.1 Cálculo de índices de clima vitícola

Se calcularon los índices de clima vitícola para los sitios de ensayo correspondiente a las zafas 2011, 2012, 2013 y 2014

Se aplicó la “Clasificación Climática Multicriterios” metodología propuesta por Tonietto (1999) y Tonietto y Carbonneau (2004) y adaptaciones propuestas por Ferrer *et al.* (2007) para las condiciones de Uruguay.

Estimación de Índice Heliotérmico de Huglin adaptado (HS)

$$IH = \sum (T_{med} - 10) + (T_{Max} - 10) / 2 \cdot k ; (\text{en } ^\circ\text{C})$$

El período considerado fue 1ro de setiembre y el 28 de febrero (en 2012 hasta el 29 de febrero)

Donde:

T med = temperatura media diaria del aire ($^\circ\text{C}$),

T Max = temperatura máxima diaria del aire ($^\circ\text{C}$)

k = coeficiente según latitud, para Uruguay asume un valor de 1.

Los valores del Índice dan lugar a seis clases de clima que se presentan en el cuadro 5

Cuadro 5 clases de clima según Índice Heliotérmico de Huglin adaptado

Clase de clima	Sigla	Intervalo de clase*
Muy fresco	IH ₁	>1500
Fresco	IH ₂	>1500 $\geq$ 1800
Templado	IH ₃	>1800 $\geq$ 2100
Templado cálido	IH ₄	>2100 $\geq$ 2400
Cálido	IH ₅	>2400 $\geq$ 3000
Muy cálido	IH ₆	>3000

*Según Tonietto (1999).

Índice de Sequía Adaptado (IS), calculado en base al Balance Hídrico Potencial de Riou (HS):

$$IS = W = W_o + P - TV - ES; \text{ (en mm)}$$

Donde:

W= estimación de la reserva hídrica del suelo al momento de la cosecha

W_o= reserva hídrica inicial útil del suelo explorable por las raíces

P= precipitaciones

TV = transpiración potencial del viñedo

(TV=ETP x k, donde ETP = evapotranspiración potencial estimada por Penman-Monteith,

k = coeficiente estimado en función de la intercepción de la radiación solar),

ES = evaporación directa a partir del suelo (ETP/N x (1-k) x J_{Pm}, donde N = número de días del período analizado y J_{Pm} = precipitaciones del mes en mm/5 que deberá ser ≤ N).

El coeficiente “k” se incrementa según el estado de desarrollo del cultivo k = 0.1 para setiembre-octubre, 0.3 para noviembre y 0.5 para el período diciembre a febrero.

El balance hídrico se realizó para cada año entre el 1ero de setiembre y el 28 de febrero (en 2012 al 29 de febrero). La reserva útil inicial de cada suelo (W_o) se calculó en el volumen explorado por el 90% de las raíces, en base a las fórmulas desarrolladas por Molfino y Califra (2004), considerando la textura y porcentaje de materia orgánica por horizonte de suelo. Los valores de precipitaciones y ETP se tomaron cada diez días a excepción de la tercera década, en el que se calculó la acumulación desde el día 21 al último día de cada mes. El valor de IS corresponde al valor de la última década analizada.

Los valores del Índice dan lugar a cinco clases de clima que se presentan en el cuadro 6

Cuadro 6 Clases de clima según balance hídrico o Índice de Sequia (IS)

Sequía	Clase de clima	Sigla	Intervalo de clase *(mm)
Ausencia	Húmedo	IS ₀₀	> 150
Ausencia	Sub-húmedo	IS ₀	≤ 151 > 51
Presencia	Sequía moderada	IS ₁	≤ 50 > -100
Presencia	Sequía fuerte	IS ₂	≤ -101 > -200
Presencia	Sequía muy fuerte	IS ₃	≤ -201

*Según Tonietto (1999).

Índice de Frescor nocturno (IF)

IF = Temperatura mínima media del aire entre 29 de enero y el 28 de febrero; (en °C).

Las clases de clima para el índice de Frescor Nocturno (IF) se presentan en el cuadro 7

Cuadro 7 Clases de clima según el Índice de Frescor nocturno (IF)

Clase de clima	Sigla	Intervalo de clase * (°C)
De noches cálidas	IF ₁	≥18
De noches templadas	IF ₂	≥14 ≤17.9
De noches frescas	IF ₃	≥12 ≤ 13.9
De noches muy frescas	IF ₄	≤11.9

*Según Tonietto (1999).

Complementariamente, se calculó la suma térmica de Winkler (GDD) en base a lo propuesto por Amerine y Winkler (1944) para el período setiembre-febrero. Para mejor correlacionar los índices de cada año con la respuesta de la planta, también se calcularon los índices IH, IS y GDD desde el 1° de setiembre a la fecha de cosecha para cada parcela de ensayo. Con el mismo criterio, el IF se estimó para los últimos 30 días de maduración.

2.1.2.2. Estudio de Brisas

Con el objetivo de analizar la frecuencia de la dirección de la brisa en la costa, se procesó la información de viento tomada de estaciones de INIA (La Estanzuela y Las Brujas), SHOMA (Juan Lacaze, Punta Brava y Laguna del Sauce) y “Davis” (Mal Abrigo, Sayago, Empalme Olmos y Guardia Vieja). Se filtraron los datos de

velocidad optando por los de baja intensidad, entre 7 y 25 km*h⁻¹ (1,94 a 6,94 m*s⁻¹). Se analizó el período enero-marzo, durante el cual las condiciones de alta energía relativa incidente, promoverían brisas de mar y tierra. Se analizó dirección del viento a través del estudio de la frecuencia en todo el período y de la frecuencia en dos momentos del día: a las 9 hs y 18 hs.

A partir de los datos obtenidos en las mismas estaciones, se estimó la frecuencia y dirección del viento en primavera, desde el 1ro de Setiembre al 30 de Noviembre, con una intensidad superior a los 25 km*h⁻¹.

2.1.2.3 Estudio del microclima de la canopia

A los efectos de estudiar la temperatura, se instalaron en cada parcela de ensayo registradores automáticos marca KOOLTRAK, uno a la altura del nivel de racimos dentro de la canopia y otro fuera de la canopia, dentro de una “casilla meteorológica” construida con material plástico, de color blanco y colocada a 1,5 m de altura sobre un poste de la estructura de la espaldera. Complementariamente se instalaron dentro de la canopia sensores HOBO U23 Pro v2 (® Onset Computer Corporation) para medición de temperatura y humedad. Los registros se tomaron cada una hora en todos los casos.

Numerosos registros de temperatura tomados con los sensores KOOLTRAK tuvieron que ser descartados por problemas técnicos, por lo cual solo se obtuvieron cortos períodos de tiempo en que es posible comparar datos de diferentes regiones.

Los datos de temperatura y humedad de viñedos ubicados en los extremos del Río de la Plata se correlacionaron con los datos de vientos.

2.1.3. Resultados

2.1.3.1 Normales climáticas de la costa

Los valores medios mensuales de las principales variables climatológicas se presentan en el cuadro 8

Cuadro 8 Promedios mensuales y del período setiembre a febrero, para las principales variables climáticas en tres estaciones meteorológicas de INUMET. Período 1961 a 1990.

Variable/Unidad	Estación Meteorológica	Promedio mensual			Setiembre-Febrero		
		Media	DE	CV	Media	DE	CV
HR %	Carrasco	74,8	4,8	6,4	71,5	3,3	4,6
HR %	Colonia	75,3	3,9	5,1	72,7	3,2	4,4
HR %	Rocha	81,0	3,7	4,5	78,5	3,3	4,2
RR mm*mes ⁻¹	Carrasco	91,6	8,7	9,5	92,7	9,2	9,9
RR mm*mes ⁻¹	Colonia	91,8	19,5	21,3	99,3	15,0	15,1
RR mm*mes ⁻¹	Rocha	93,6	15,1	16,1	92,5	17,2	18,6
TMED °C	Carrasco	16,5	4,5	27,1	18,9	3,9	20,4
TMED °C	Colonia	17,4	4,5	26,1	19,9	3,8	19,2
TMED °C	Rocha	16,0	4,1	25,7	18,1	3,7	20,2
TNM °C	Carrasco	12,1	4,3	35,2	14,3	3,8	26,4
TNM °C	Colonia	13,5	4,1	30,1	15,6	3,6	22,8
TNM °C	Rocha	10,8	3,7	34,6	12,7	3,4	27,2
TXM °C	Carrasco	21,1	4,7	22,4	23,6	4,1	17,3
TXM °C	Colonia	21,2	4,8	22,8	24,0	3,9	16,1
TXM °C	Rocha	21,5	4,5	20,9	23,8	4,1	17,0
VV m*s ⁻¹	Carrasco	5,7	0,3	5,9	6,0	0,2	2,6
VV m*s ⁻¹	Colonia	5,3	0,3	5,7	5,4	0,3	5,3
VV m*s ⁻¹	Rocha	3,5	0,6	15,9	4,0	0,1	2,2

Ubicación de las estaciones:

Colonia -34.4527, -57.7661; Carrasco -34.8328, -56.0126; Rocha -34.4936, -54.3124.

Variables: HR, % humedad relativa diaria; RR precipitación acumulada mensual; TMED Temperatura media diaria; TNM temperatura mínima media diaria, TXM temperatura máxima media diaria; VV velocidad del viento. Los valores corresponden a la media, al desvío estándar (DE) y coeficiente de variación (CV)

Durante el período setiembre a febrero, en el cual ocurre la mayor parte del desarrollo vegetativo de la vid, se observa mayor porcentaje de humedad relativa y precipitaciones en el E, las temperaturas medias, máximas y mínimas, siguen una tendencia decreciente de W a E, en particular la temperatura mínima media, es 2,9 °C

menor en la costa atlántica con respecto a Colonia. La velocidad del viento es mayor en la región central de la costa (Carrasco) que en Colonia. Sin embargo, el emplazamiento de la estación meteorológica de Rocha, distante a 25 km de la costa, puede no representar el mejor sitio para medir esta variable.

2.1.3.2. Índices bioclimáticos de la vid

Se estimaron los índices de clima para la viticultura, según parcela y año. (Cuadro 9)

Cuadro 9 Índices bioclimáticos de la vid entre el 1ro de setiembre y el último día de febrero. Referencias de W_o para los suelos: Parcela 1= 96 mm; Parcela 2= 97 mm; Parcela 3= 76 mm; Parcela 4=123 mm; Parcela 5= 110 mm; Parcela 6=67 mm; Parcela 7= 57 mm; Parcela 8=68 mm y Parcela 9=85 mm.(PPa corresponde a precipitaciones acumuladas en el período)

Estación de referencia	Predio	Año	GDD	IH	IF	IS	PPa
La Estanzuela	Parcela 1	2011	1772	2271	17,8	-15,1	352
La Estanzuela	Parcela 2	2011	1772	2271	17,8	-9,1	352
Mal Abrigo SM	Parcela 3	2011				-9,3	354
San José	Parcela 3	2011	1807	2417	16,5		
Las Brujas	Parcela 4	2011	1680	2244	16,5	-7,0	281
Sayago	Parcela 5	2011	1715	2147	18,2	-8,2	281
Empalme Olmos	Parcela 6	2011	1705	2118	18,2	-7,9	254
Empalme Olmos	Parcela 7	2011	1705	2118	18,2	-7,9	254
Laguna del Sauce	Parcela 8	2011	1630	2062	17,4	6,5	524
Laguna del Sauce	Parcela 9	2011	1630	2062	17,4	6,5	524
La Estanzuela	Parcela 1	2012	1781	2289	18,8	55,8	405
La Estanzuela	Parcela 2	2012	1781	2289	18,8	55,8	405
Manuel Artigas Mal Abrigo	Parcela 3					-0,2	428
San José	Parcela 3	2012	1824	2429	17,9		
Las Brujas	Parcela 4	2012	1697	2233	18,2	7,3	438
Las Brujas	Parcela 5	2012	1697	2233	18,2	7,3	438
Empalme Olmos	Parcela 6	2012	1775	2281	18,4	2,0	506
Empalme Olmos	Parcela 7	2012	1775	2281	18,4	2,0	506
Guardia Vieja	Parcela 8	2012	1715	2167	19,4	18,6	387
Guardia Vieja	Parcela 9	2012	1715	2167	19,4	18,6	387
La Estanzuela	Parcela 1	2013	1825	2292	17,0	18,8	844
La Estanzuela	Parcela 2	2013	1825	2292	17,0	18,8	844
Manuel Artigas Mal Abrigo	Parcela 3	2013				12,4	843
San José	Parcela 3	2013	1889	2447	16,3		
Las Brujas	Parcela 4	2013	1767	2278	16,2	34,4	811

Sayago	Parcela 5	2013	1757	2286	17,8	17,2	651
Punta Brava	Parcela 5	2013	1531	1814	16,0	-	
Empalme Olmos	Parcela 6	2013	1766	2227	16,8	6,1	662
Empalme Olmos	Parcela 7	2013	1766	2227	16,8	6,1	614
Guardia Vieja	Parcela 8	2013	1736	2209	17,1	10,6	647
Guardia Vieja	Parcela 9	2013	1736	2209	17,1	17,2	647
La Estanzuela	Parcela 1	2014	1831	2294	17,9	71,5	821
La Estanzuela	Parcela 2	2014	1831	2294	17,9	65,8	821
Mal Abrigo SM	Parcela 3	2014	1697	2264	17,4	28,4	1063
Las Brujas	Parcela 4	2014	1736	2241	17,6	80,7	794
Las Brujas	Parcela 5	2014	1736	2241	17,6	45,9	794
Empalme Olmos	Parcela 6	2014	1801	2280	16,8	35,6	1045
Empalme Olmos	Parcela 7	2014	1801	2280	16,8	20,9	1045
Guardia Vieja	Parcela 8	2014	1830	2281	18,3	29,8	707
Guardia Vieja	Parcela 9	2014	1830	2281	18,3	65,5	707

En base a los índices adaptados IH, IS e IF del sistema CCM se realizó un análisis de componentes principales que permitió separar los sitios de ensayo (Figura 4)

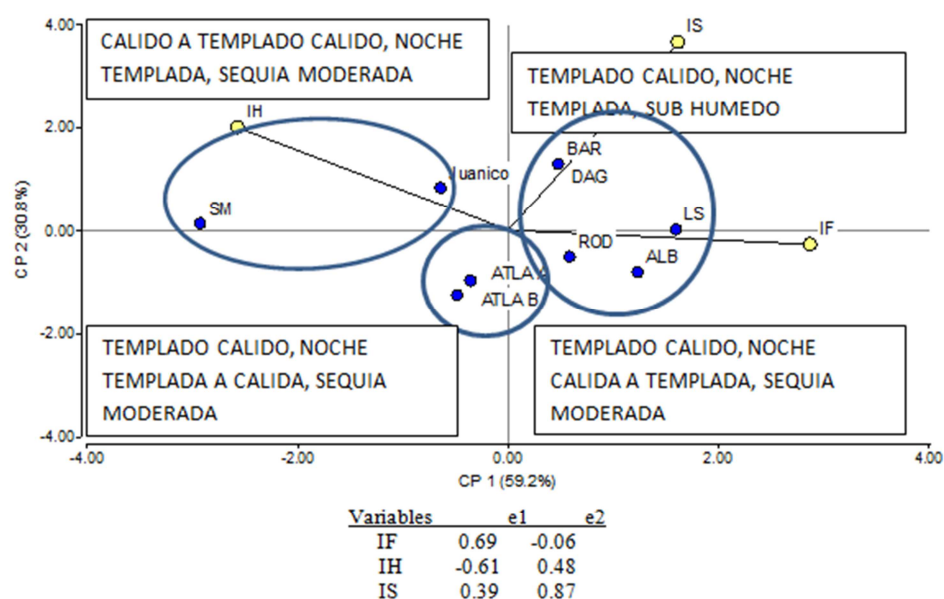


Figura 4 Análisis componentes principales, clasificación de sitios según índice de clima vitícola (Sistema CCM), para los años 2011, 2012, 2013 y 2014. Referencias: BAR=Parcela 1; DAG=Parcela 2; SM= Parcela3; Juanicó=Parcela 4; ROD= Parcela 5; ATLA A= Parcela 6; ATLA B= Parcela 7; ALB=Parcela 8; LS= Parcela 9

El ACP explicó el 90 % de la varianza y separó los sitios según el peso relativo de cada variable. La principal fuente de variación es IS con un valor de 0,87 en el eje 2, seguido por IF e IH de 0,69 y -0,61 en el eje 1. Se puede observar un valor de IF más alto para la costa E y de los sitios más próximos al mar. Predominan los climas: cálido y templado cálido, noche templado y noche cálida, sequía moderada y sub-húmedo. La clasificación correspondiente a cada parcela se resume en el cuadro 10.

Cuadro 10 Clasificación de zonas según sistema CCM para ciclos productivos 2011, 2012, 2013 y 2014

Departamento	Sitio	Clasificación -Sigla	Clasificación: clase de clima
Colonia	Parcela 1	IH4, IF1 (o IF2), IS1 (o IS0)	Templado cálido, noche templada (o cálida), sequía moderada o sub húmedo
Colonia	Parcela 2	IH4, IF1 (o IF2), IS1 (o IS0)	Templado cálido, noche templada (o cálida), sequía moderada o sub húmedo
San José	Parcela 3	IH5 (o IH4), IF2, IS1	Cálido (o templado cálido), noches templadas y sequía moderada
Montevideo	Parcela 5	IH4 (o IH3), IF1 (o IF2), IS1	Templado cálido (o templado), noches templadas o cálidas y sequía moderada
Canelones	Parcela 4	IH4, IF2 (o IF1), IS1 (o IS0)	Templado cálido, noche templada (o cálida), sequía moderada(o sub húmedo)
Canelones	Parcela 6	IH4, IF1 (o IF2), IS1	Templado cálido, noches templadas o cálidas y sequía moderada
Canelones	Parcela 7	IH4, IF1 (o IF2), IS1	Templado cálido, noches templadas o cálidas y sequía moderada
Maldonado	Parcela 8	IH4 (o IH3), IF2 (o IF1), IS1	Templado cálido (o templado), noches templadas o cálidas y sequía moderada
Maldonado	Parcela 9	IH4 (o IH3), IF1 (o IF2), IS1 (o IS0)	Templado cálido (o templado), noches templadas o cálidas y sequía moderada (o sub húmedo)

Independientemente de la clase de clima, el análisis de varianza según sitio, permite apreciar diferencias en la magnitud de los índices (Cuadro 11).

Cuadro 11 Análisis de varianza según Índice de clima vitícola desde 2011 a 2014. Separación de medias con Test de Tuckey. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Índice de Huglin = IH; índice de Frescor nocturno = IF; Índice de sequía = IS; precipitaciones acumuladas = PPa

PREDIO	IH			IF			IS			PPa		
	Media °C	D.E.	CV	Media °C	D.E.	CV	Media mm	D.E.	CV	Media mm	D.E.	CV
Parcela 8	2180 b	91,5	4,2	18,1 a	1,0	5,7	16,4 a	10,3	62,7	566,3 a	141,7	25,0
Parcela 6	2227 b	76,6	3,4	17,6 a	0,9	5,0	9,0 a	18,7	209,1	616,8 a	331,3	53,7
Parcela 7	2227 b	76,6	3,4	17,6 a	0,9	5,0	5,3 a	12,0	226,7	604,8 a	330,0	54,6
Parcela 1	2287 ab	10,5	0,5	17,9 a	0,7	4,1	32,8 a	38,8	118,5	605,5 a	263,2	43,5
Parcela 2	2287 ab	10,5	0,5	17,9 a	0,7	4,1	32,8 a	34,5	105,1	605,5 a	263,2	43,5
Parcela 4	2249 ab	19,9	0,9	17,1 a	0,9	5,5	28,9 a	38,6	133,8	581,0 a	263,8	45,4
Parcela 9	2180 b	91,5	4,2	18,1 a	1,0	5,7	27,0 a	26,3	97,5	566,3 a	141,7	25,0
Parcela 5	2227 b	58,1	2,6	18,0 a	0,3	1,7	15,6 a	22,8	146,5	541,0 a	226,8	41,9
Parcela 3	2389 a	84,4	3,5	17,0 a	0,8	4,4	7,8 a	16,4	208,9	672,0 a	338,0	50,3

A excepción del índice IH, no se observan diferencias significativas. Los coeficientes de variación son muy altos en los índices que involucran precipitaciones (IS y PPa).

Complementariamente se analizó la correlación entre los índices climáticos de carácter térmico (IH e IF) y la distancia a la costa (dm), obteniendo como resultado: (dm) vs IH $r=0.31$ $p=0.07$; (dm) vs IF $r=-0.32$ $p=0.06$. Aun cuando la correlación no es elevada, se verifica el efecto del mar sobre los índices térmicos, con una mayor acumulación temperatura a mayor distancia de la costa y noches más cálidas en las proximidades de la costa.

2.1.3.3 Cálculo de índices bioclimáticos a cosecha

Se estimaron los índices de clima vitícola hasta el día de cosecha de cada parcela y ciclo (cuadro 12)

Cuadro 12 Índices bioclimáticos de la vid entre el 1ro de setiembre y el día de cosecha. Referencias: Wo para los suelos: Parcela 1= 96 mm; Parcela 2= 97 mm; Parcela 3= 76 mm; Parcela 4=123 mm; Parcela 5= 110 mm; Parcela 6=67 mm; Parcela 7= 57 mm; Parcela 8=68 mm y Parcela 9=85 mm

Estación	Predio	Año	GDD COSECHA	IH COSECHA	IF COSECHA	IS COSECHA
Las Brujas	Parcela 4	2011	1820	2415	17,1	-24,0
Empalme Olmos	Parcela 6	2011	1856	2290	19,2	-24,4
Empalme Olmos	Parcela 7	2011	1856	2290	19,2	-24,4
La Estanzuela	Parcela 1	2011	1789	2290	18,2	-25,7
La Estanzuela	Parcela 2	2011	1789	2290	18,2	-25,7
Las Brujas	Parcela 4	2012	1741	2288	17,8	1,7
Las Brujas	Parcela 5	2012	1801	2358	17,7	40,5
Guardia Vieja	Parcela 8	2012	1848	2320	19,1	49,9
Guardia Vieja	Parcela 9	2012	1848	2320	19,1	74,4
La Estanzuela	Parcela 1	2012	1781	2289	18,8	55,8
La Estanzuela	Parcela 2	2012	1781	2289	18,8	55,8
Empalme Olmos	Parcela 6	2012	1858	2379	18,5	18,2
Empalme Olmos	Parcela 7	2012	1858	2379	18,5	18,2
Guardia Vieja	Parcela 8	2013	1706	2132	17,8	-18,4
Empalme Olmos	Parcela 6	2013	1724	2175	17,5	8,7
Empalme Olmos	Parcela 7	2013	1650	2086	17,3	-15,1
La Estanzuela	Parcela 1	2013	1782	2235	17,7	7,7
La Estanzuela	Parcela 2	2013	1688	2123	17,9	-11,7
Las Brujas	Parcela 4	2013	1754	2258	16,8	8,2
Sayago	Parcela 5	2013	1703	2196	16,8	-1,2
Guardia Vieja	Parcela 9	2013	1741	2229	17,0	5,0
DNM San José Pluviométrica Mal Abrigo	Parcela 3	2013	1745	2265	17,0	-12,0
Guardia Vieja	Parcela 8	2014	1950	2430	16,8	28,6
La Estanzuela	Parcela 1	2014	1920	2406	16,8	73,1
La Estanzuela	Parcela 2	2014	1920	2406	16,8	67,4
Las Brujas	Parcela 4	2014	1641	2126	18,4	96,7
Las Brujas	Parcela 5	2014	1627	2111	18,4	62,2
Guardia Vieja	Parcela 9	2014	1950	2430	16,8	64,3
Sierra Mahoma	Parcela 3	2014	1575	2116	17,9	36,3

Se recurrió nuevamente a un análisis de componentes principales para ubicar los sitios con los índices climáticos IH, IS e IF calculados a cosecha (Figura 5)

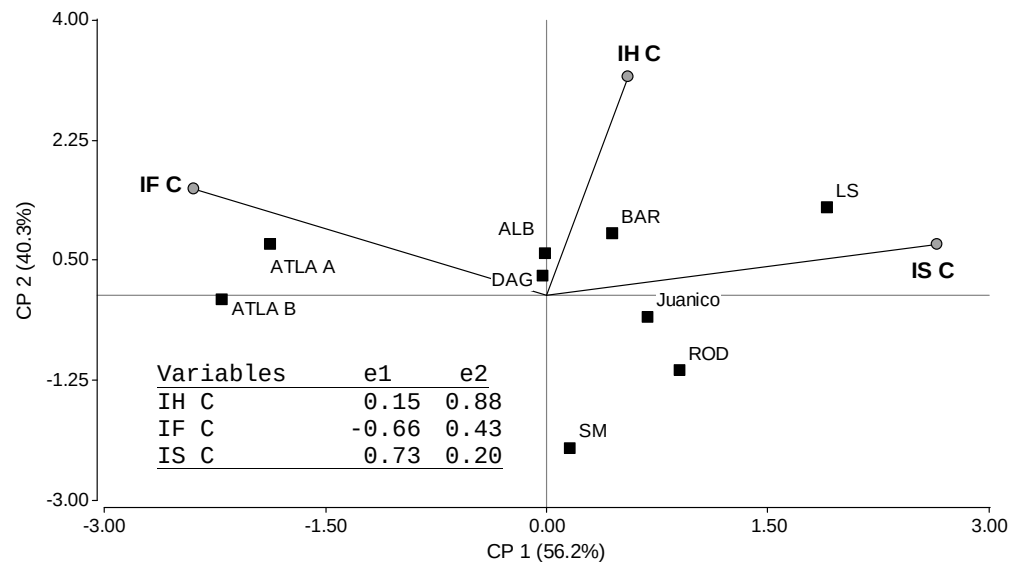


Figura 5 Análisis de componentes principales, clasificación de sitios según índices de clima vitícola a cosecha. Referencias: BAR=Parcela 1; DAG=Parcela 2; SM= Parcela3; Juanicó=Parcela 4; ROD= Parcela 5; ATLA A= Parcela 6; ATLA B= Parcela 7; ALB=Parcela 8; LS= Parcela 9

El ACP explica el 96,5% de la variación total. Cuando el análisis de componentes se hace sobre índices calculados a cosecha, la separación según sitio difiere en relación a la clasificación según el sistema CCM.

Mediante un ACP y utilizando las mismas variables se hizo la separación de los índices estimados a cosecha según año (Figura 6). El 2012 con mayor acumulación térmica y noches más cálidas fue similar a 2011, siendo este último el más seco de los cuatro años, el 2013 fue en promedio más frío y seco y el 2014 resultó el año más húmedo de la serie.

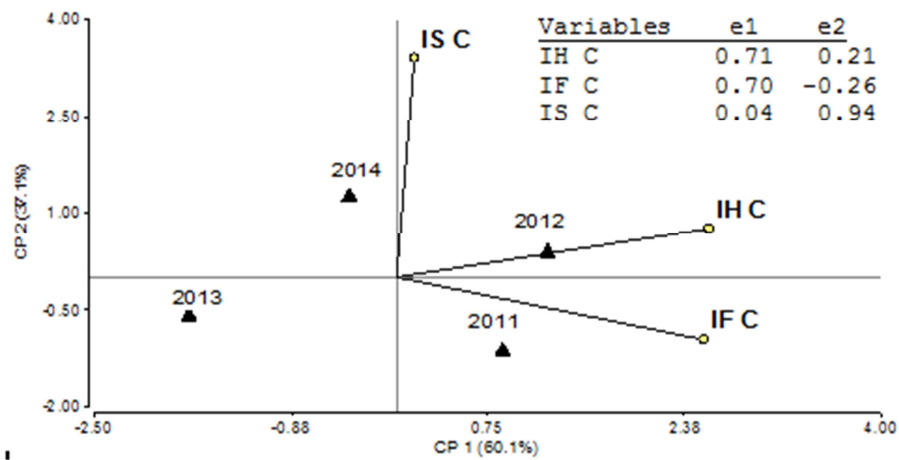
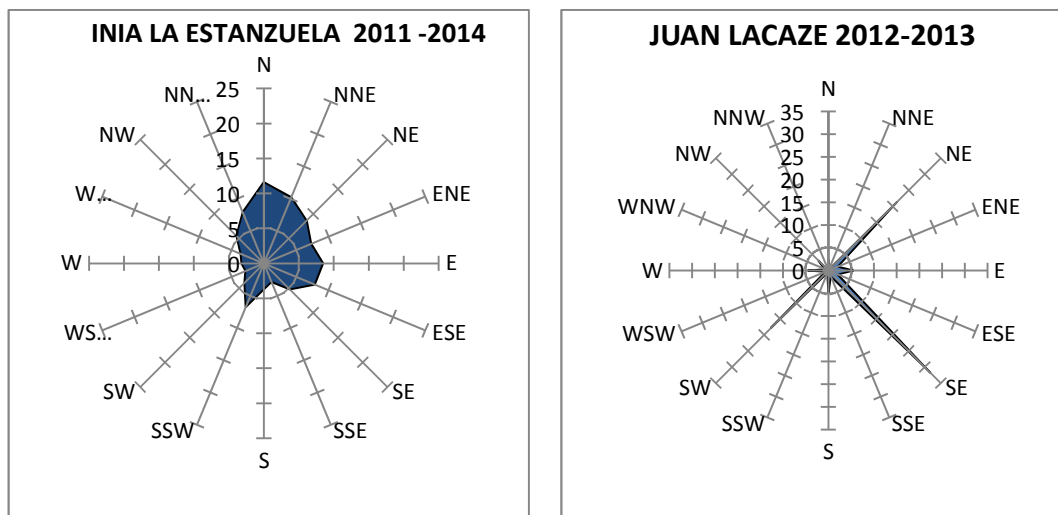


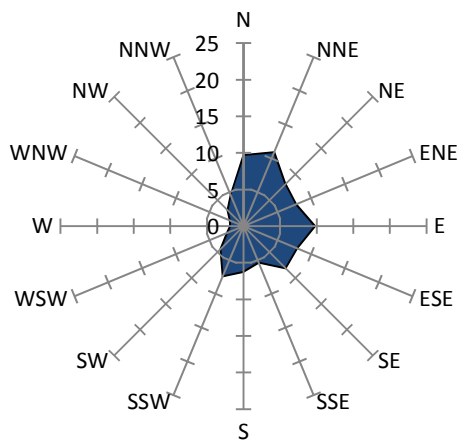
Figura 6 Análisis de componentes principales, clasificación de años de vendimia según índices de clima vitícola a cosecha.

2.1.3.4 Estudio del viento

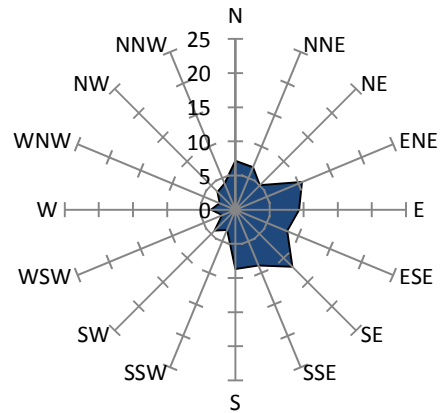
Los resultados del estudio de vientos de baja intensidad (7 a $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) desde enero a marzo, durante los años 2011, 2012, 2013 y 2014 se presentan en la figura 7



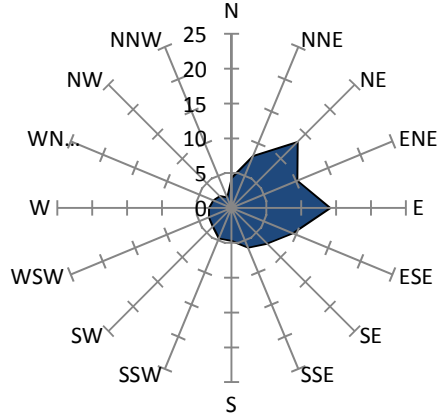
LAS BRUJAS - 2011 -2014



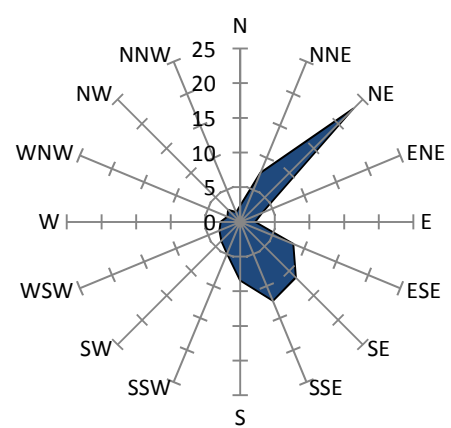
JUANICÓ 2012-2014



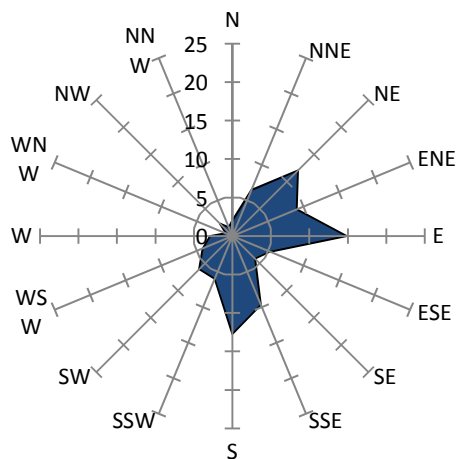
PUNTA BRAVA - 2011 -2013



EMPALME OLMOS 2011-2014



LAGUNA DEL SAUCE - 2011-2013



GUARDIA VIEJA 2011-2014

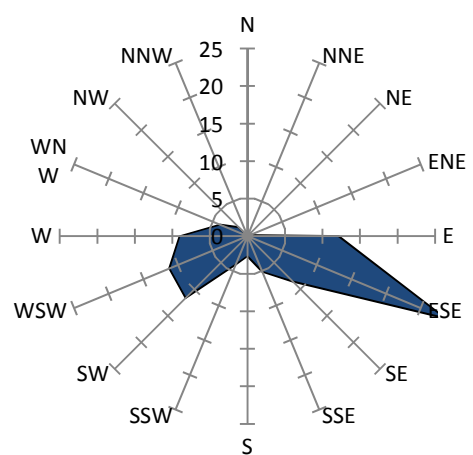
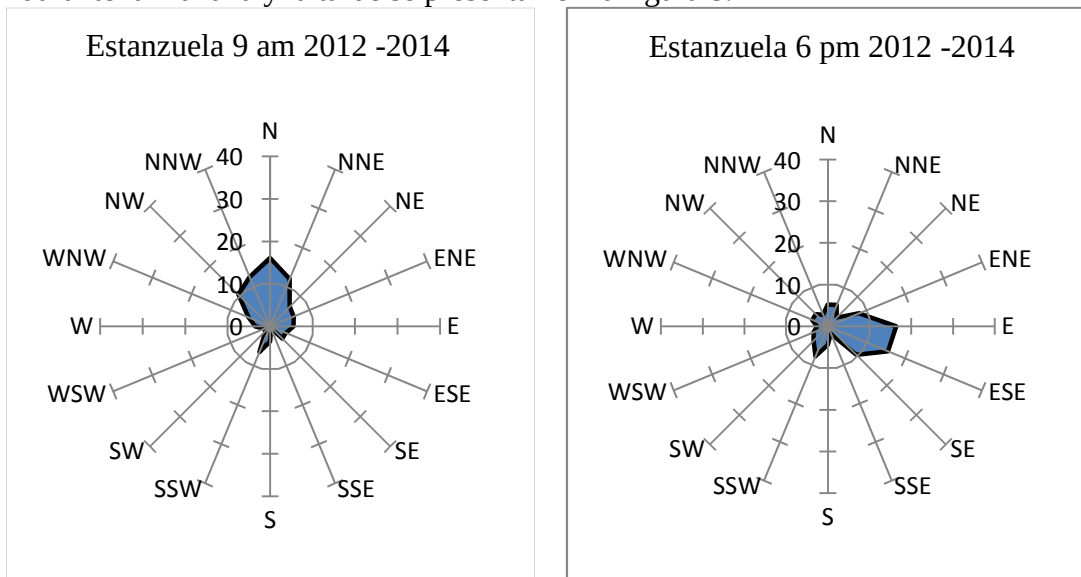


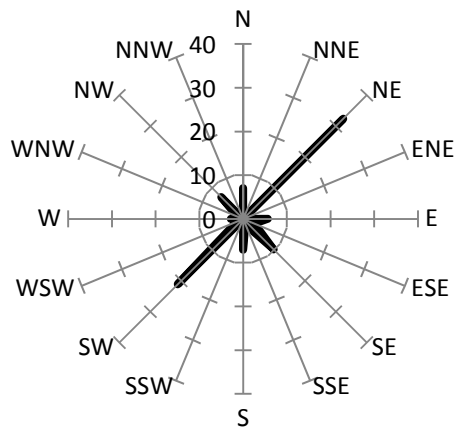
Figura 7 Frecuencia promedio de dirección de vientos de baja intensidad (7 a 25 km*h⁻¹) desde enero a marzo. Los períodos analizados varían entre 2 y 4 según disponibilidad de datos.

Los valores anteriores solo representan tendencias generales de vientos de baja magnitud. Se puede observar que en general predominan brisas desde el cuadrante 1 (0 a 90 °) y 2 (>90 ° a 180°) a excepción de Guardia Vieja en la zona E de la costa, donde predominan las direcciones originadas en los cuadrantes 2 (>90 ° a 180 °) y 3. (>180 ° a 270 °)

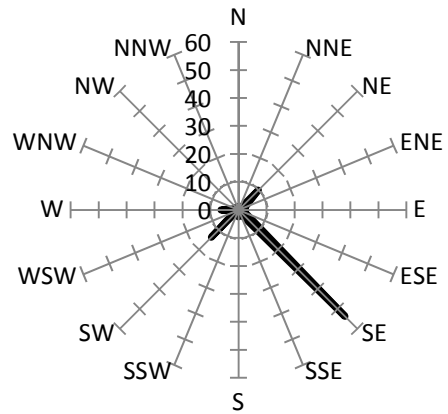
Los resultados de la frecuencia en la dirección de los vientos de baja intensidad durante la mañana y la tarde se presentan en la figura 8.



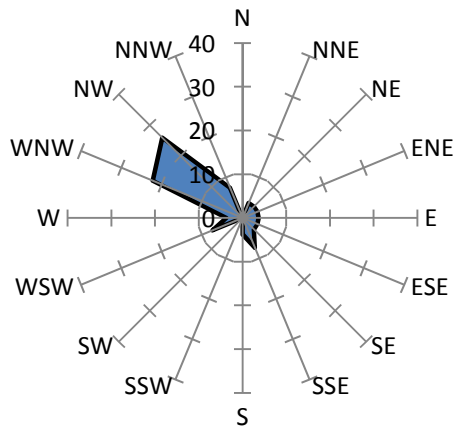
Juan Lacaze 2012-2013 9 am



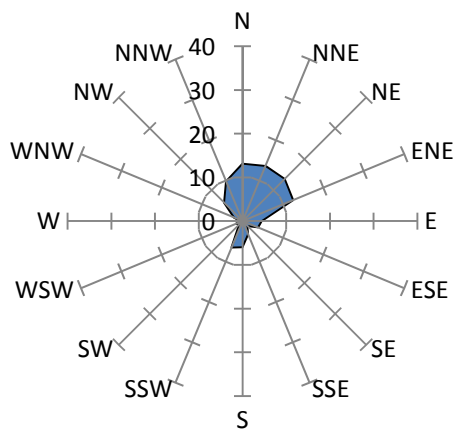
Juan Lacaze 2012-2013 6 pm



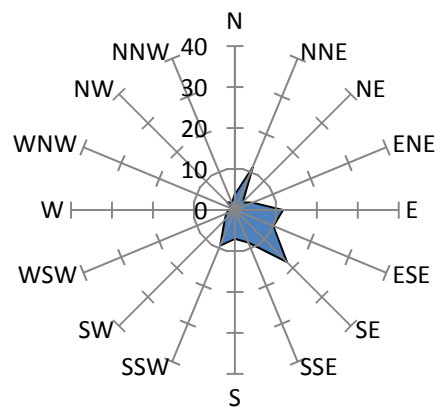
Mal Abrigo 2012 a 2014 9 am



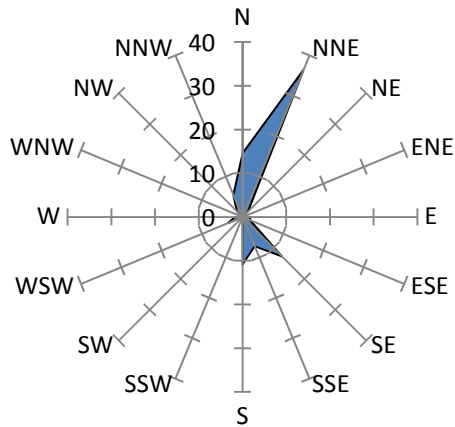
Las Brujas 2011 -2014 9 am



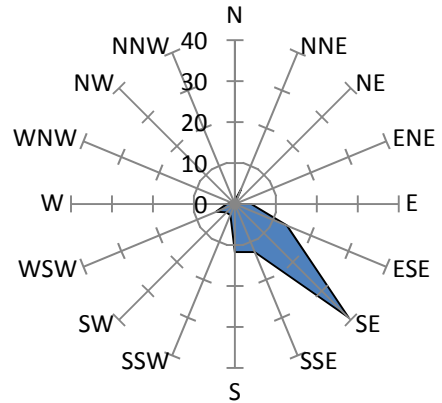
Las Brujas 2011 -2014 6 pm



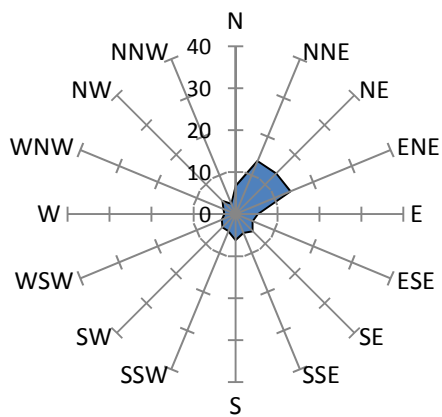
Sayago 2011-2013 - 9 am



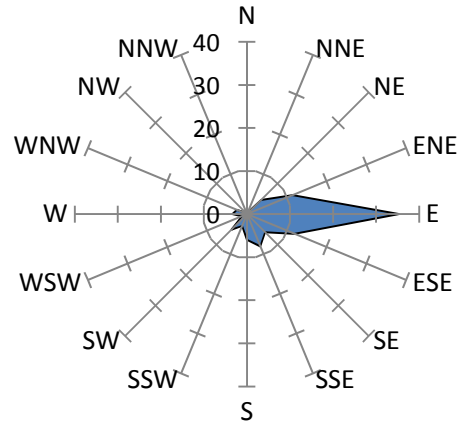
Sayago 2011-2013- 6 pm



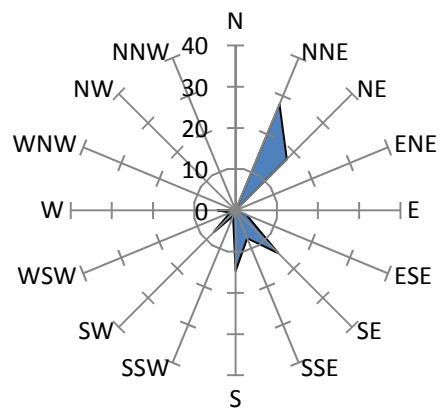
Punta Brava 2011-2013 9 am



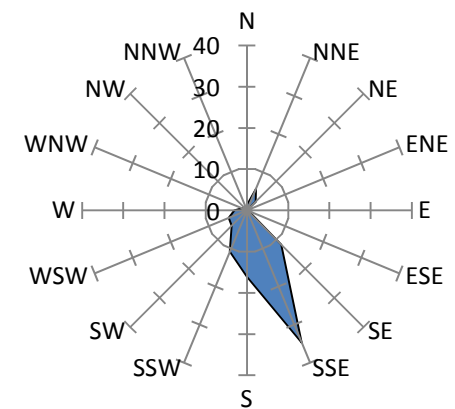
Punta Brava 2011-2013 6 pm



Empalme Olmos 2011-2014 9 am



Empalme Olmos 2011-2014 6 pm



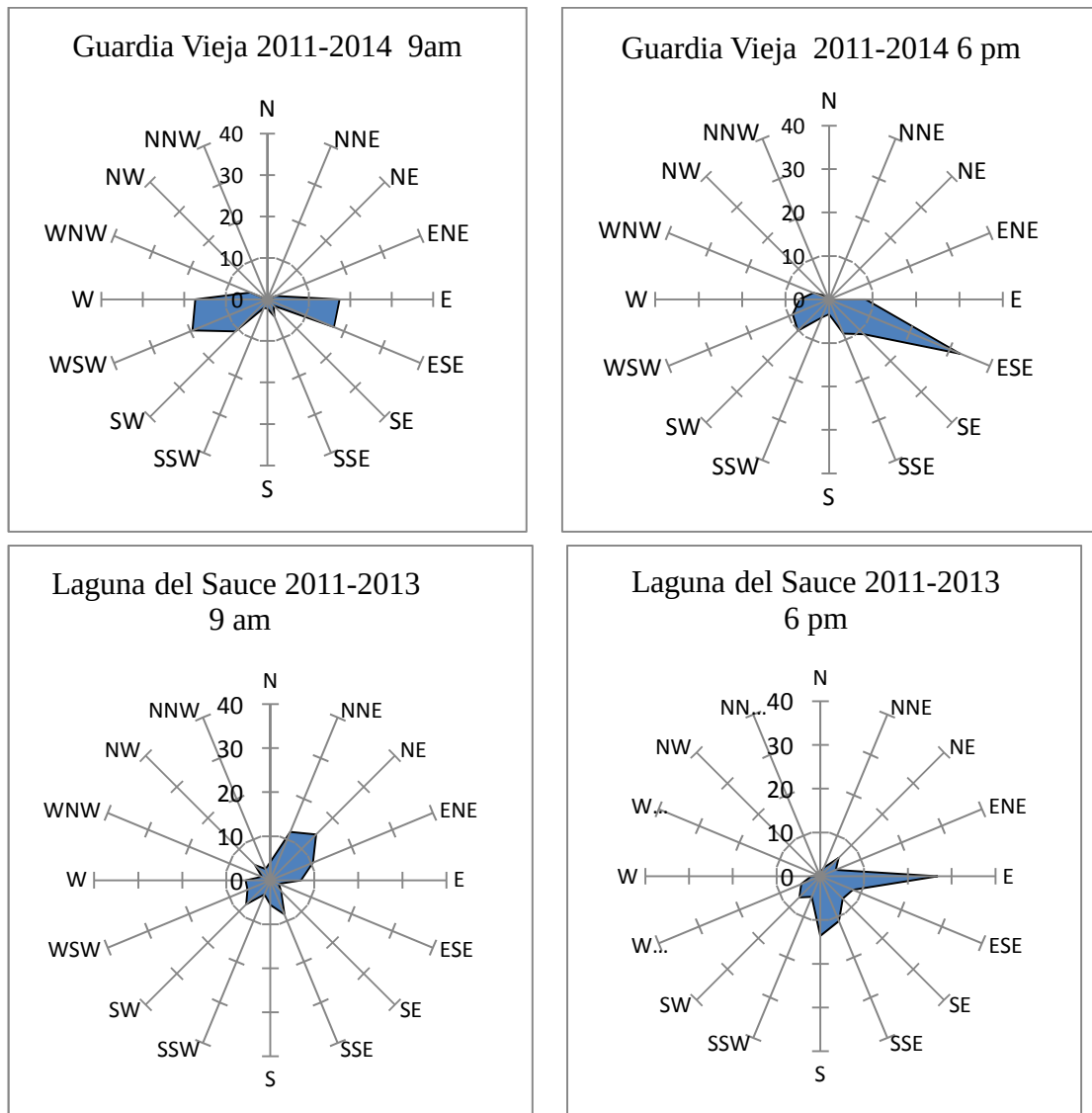


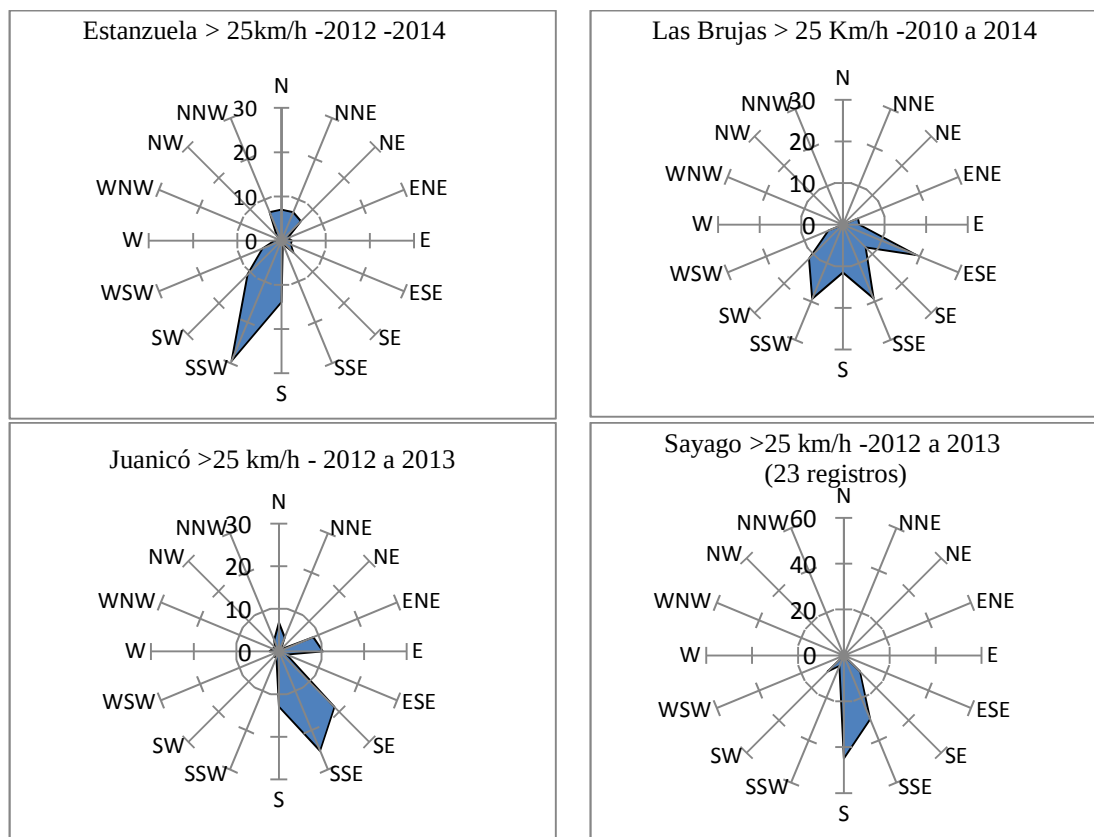
Figura 8 Frecuencia de la dirección de vientos de baja intensidad entre 7 y 25 km/h, a la hora 9 am y 6 pm, durante los meses enero a marzo. Períodos variables entre 2011 y 2014

En la figura anterior se observa que a las 9 hs am predominan las brisas con componente N, fundamentalmente desde el cuadrante 1. Si se analiza la región evolucionando desde el W, Colonia (Estanzuela y Juan Lacaze), hacia el E, Maldonado (Guardia Vieja y Laguna del Sauce), se observa una rotación en sentido horario de la brisa matinal. Esta tendencia se refuerza con la proximidad del mar. Cuando se analizan las brisas a la hora 6 pm, se observa un predominio del cuadrante

2 y una mayor presencia del componente E en las proximidades de la costa, efecto que se refuerza con la mayor exposición oceánica. Estos resultados revelan con claridad el efecto de brisas de mar y tierra.

Sin embargo, la presencia de una frecuencia importante de brisas desde el W, WSW y SW, observada a la mañana en la zona de Guardia Vieja podría ser explicada por la topografía. La estación de referencia está instalada a 60 m sobre el nivel del mar, en la ladera W de Sierra Ballena, con un paisaje muy abierto hacia la Laguna del Sauce, de aproximadamente 30 km² de superficie y una pendiente (W-E) en la zona del viñedo superior al 8,5 %. Se plantea como hipótesis la posibilidad de que esta sea una brisa de “Valle”, que asciende hacia las zonas altas en horas de la mañana.

Los vientos de mayor intensidad durante la primavera pueden afectar el desarrollo vegetativo y la eficiencia fotosintética. En la figura 9 se presenta la frecuencia según la dirección de los vientos de velocidad superior a los 25km*h⁻¹.



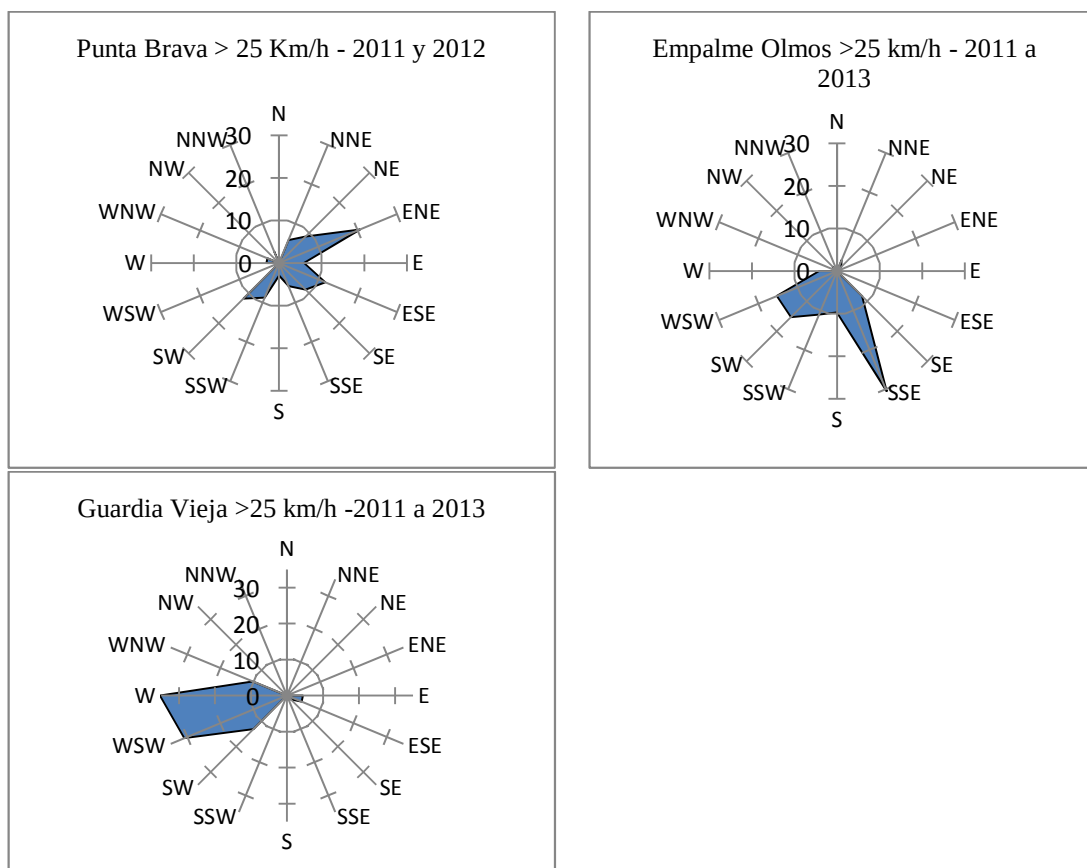


Figura 9 Frecuencia en la dirección de los vientos de primavera superiores a los $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ para seis regiones de la costa.

Los vientos de primavera superiores a los $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ proceden fundamentalmente desde el 2do. y 3er cuadrante, con mayor frecuencia en su tendencia desde S, SSE y SSW. Las excepciones son Punta Brava, con una gran exposición marítima, donde aparecen las direcciones ENE, ESE y Guardia Vieja con un comportamiento muy diferente en el que la frecuencia del WSW y W alcanzan el 80%. Este estudio excluye eventos extremos, que aún con muy baja frecuencia y diferente dirección, pueden tener un impacto muy importante sobre el viñedo.

En el caso de Guardia Vieja (Parcela 8) el relieve podría interferir con la dirección predominante de la costa. Hacia el E, el viñedo (y la estación climática de referencia) aparece protegido por la sierra Ballena, en cambio hacia el W el paisaje presenta una exposición muy importante.

2.1.3.5 Microclima de la canopia: análisis de temperatura

Los sitios y períodos analizados pueden ser diferentes debido a falta de registros por fallas en algunos registradores y series de datos rechazadas por no superar los test de evaluación.

Análisis de temperatura media y porcentaje de humedad relativa de la canopia durante los meses de enero y febrero, ciclos 2013 y 2014 se presentan en el cuadro 13.

Cuadro 13 ANOVA de temperatura media de canopia y su distribución horaria según rango, para el período 23.12 a 28.02, ciclos productivos 2013 y 2014. Test: Tukey, $p \leq 0.05$, $n=2160$

Sitio	Año 2013			Año 2014		
	Temperatura media °C	% horas con Temperatura.>32°C	% horas con Temperatura 20°C a 32°C	Temperatura media °C	% horas con Temperatura.>32°C	% horas con Temperatura 20°C a 32°C
Parcela 1	23.74 a	5.23	68.31	24.11 a	8.91	66.61
Parcela 2	23.73 a	5.08	67.41	24.13 a	9.57	65.18
Parcela 5	23.17 ab	1.42	73.06	s/d	s/d	s/d
Parcela 7	23.08 b	9.72	56.88	s/d	s/d	s/d
Parcela 8	23.07 b	8.97	54.04	23.34 b	9.35	57.04
Parcela 3	22.87 b	7.62	55.17	23.13 b	7.65	59.35
Parcela 6	22.69 b	8.67	55.68	s/d	s/d	s/d
Parcela 9	22.55 b	6.88	52.62	22.57 c	6.43	56.66

En el año 2013 la temperatura media de canopia registró diferencias significativas entre los sitios del W en el departamento de Colonia (Parcela 1 y Parcela 2), con las demás parcelas, a excepción de Montevideo (Parcela 5). Por su parte la Parcela 9, en el E de la costa, marcó el registro más bajo de temperatura media.

La comparación interanual (2013 y 2014) de las temperaturas medias entre zonas tiene un ajuste perfecto ($r=1$; $p=0.0003$)

El análisis por rango de temperatura media de canopia de 20°C a 32°C (rango óptimo), también muestra un coeficiente de correlación (Pearson) muy alto entre años ($r=0.99$; $p=0.0013$); en tanto no existe correlación para el rango superior a 32°C (correlaciones establecidas solo para viñedos con datos en los dos años). Un análisis más detallado de temperaturas de canopia se presentan en el cuadro 14.

Cuadro 14 ANOVA de temperaturas dentro de la canopia durante el mes de febrero. Años: 2012, 2013 y 2014, según sitio (en base a 672 registros por sitio y año). Variables: TM =Temperatura media diaria; T min=Temperatura mínima media diaria; T Max= Temperatura máxima media diaria; Amp Term = amplitud térmica media diaria.

AÑO	SITIO	T M °C	T min °C	T Max °C	Amp Term °C
2012	Parcela 9	24.91 a	19,55 a	32,42 a	12,87 a
	Parcela 5	24.23 a	19,58 a	30,42 a	10,83 a
	Parcela 8	23.75 a	18,30 a	31,31 a	13,01 a
	Parcela 7	23.57 a	18,50 a	31,40 a	12,90 a
	Parcela 6	23.18 a	18,30 a	30,72 a	12,42 a
2013	Parcela 1	22.93 a	17,05 ab	30,76 ab	13,71 ab
	Parcela 2	22.74 a	17,06 ab	29,73 ab	12,68 bc
	Parcela 5	22.38 a	17,92 a	27,34 b	9,42 c
	Parcela 7	22.36 a	15,49 ab	30,72 ab	15,23 ab
	Parcela 8	22.00 a	15,36 ab	30,52 ab	15,16 ab
	Parcela 6	22.00 a	15,18 ab	31,37 a	16,20 a
	Parcela 3	21.86 a	15,63 ab	30,47 ab	14,84 ab
	Parcela 9	21.37 a	14,87 b	29,58 ab	14,71 ab
2014	Parcela 1	24.10 a	19,11 a	29,98 a	10,87 b
	Parcela 2	23.96 a	18,87 a	30,02 a	11,15 b
	Parcela 8	23.36 a	16,98 ab	31,60 a	14,61 a
	Parcela 3	22.83 a	17,98 ab	29,43 a	11,45 b
	Parcela 9	22.42 a	15,87 b	29,37 a	13,50 ab

No se observaron diferencias significativas de la temperatura media de la canopía dentro de año. En 2012 no hubieron diferencias significativas entre sitios en ninguna de las variables

En el año 2013 las temperaturas mínimas fueron superiores en Parcela 5 y la más baja en Parcela 9. En tanto que las temperaturas máximas fueron superiores en Parcela 6 y las más bajas en Parcela 5. Como corolario de estas diferencias la amplitud térmica fue superior en Parcela 6 y la menor en Parcela 5.

En el año 2014 las temperaturas mínimas de febrero tuvieron el valor más alto en los predios de Colonia (Parcela 1 y Parcela 2) y la más baja en Parcela 9. No hubieron diferencias en las temperaturas máximas medias aunque el mayor valor se alcanzó en Parcela 8 y el menor en Parcela 9. La amplitud térmica fue mayor en Parcela 8 y la menor en los predios de Colonia (Parcela 1 y Parcela 2) y Parcela 3.

El análisis horario permite una mejor comprensión de la evolución de la temperatura media de casilla. En las figuras 10 y 11 se presenta la tendencia en la evolución de esta variable según sitio, para los ciclos 2013 y 2014.

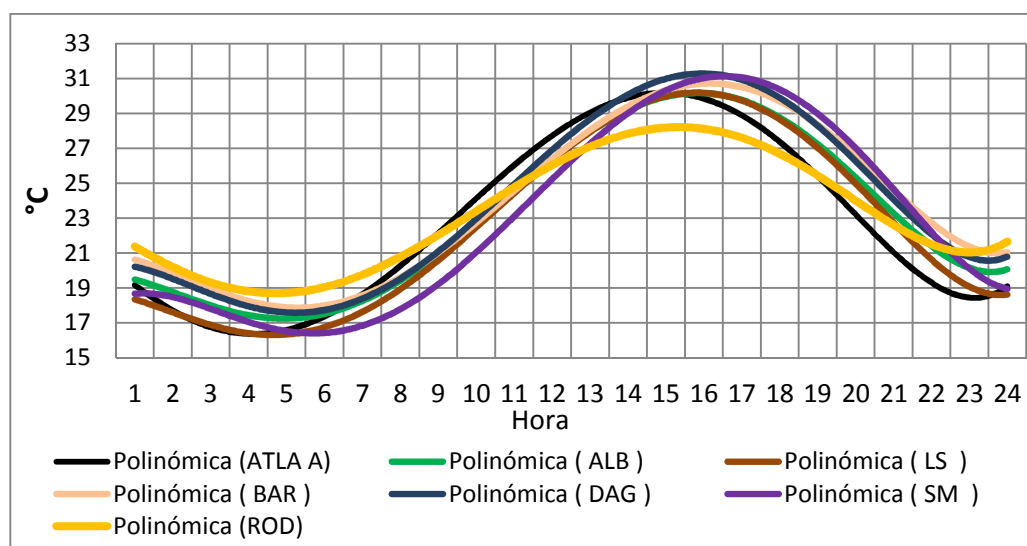


Figura 10 Tendencia (polinómica) de la temperatura horaria de casilla en el viñedo según sitio. Período 23.12.2012 a 28.02.2013 (Excepto ROD del 08.01.2013 a 28.02.2013). Para todos los sitios $R^2 > 0,95$ para la línea de tendencia. Referencias: BAR=Parcela 1; DAG=Parcela 2; SM= Parcela3; Juanicó=Parcela 4; ROD= Parcela 5; ATLA A= Parcela 6; ALB=Parcela 8; LS= Parcela 9

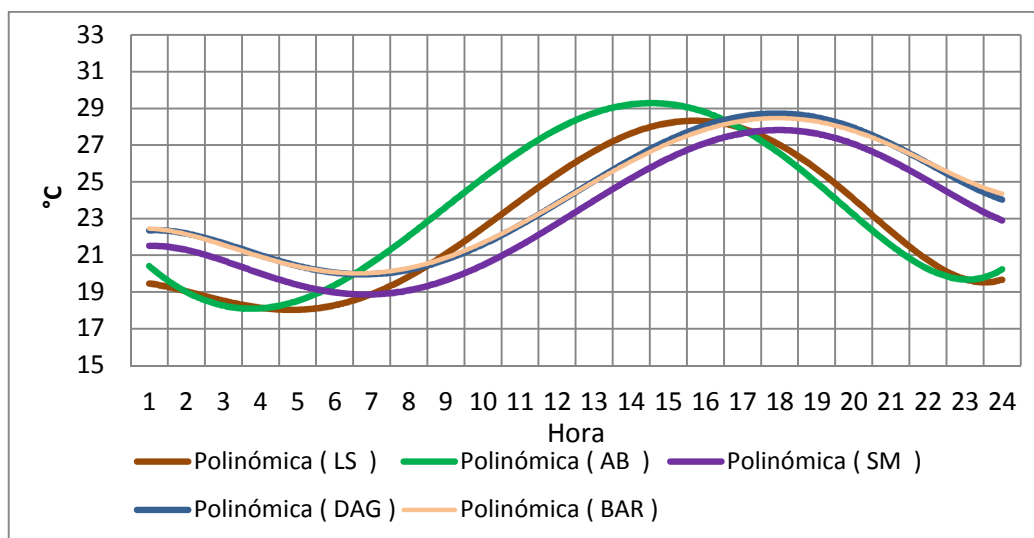


Figura 11 Tendencia (polinómica) de la temperatura horaria de casilla en el viñedo según sitio. Período 23.12.2013 a 20.02.2014. Para todos los sitios $R^2 > 0,94$ para la línea de tendencia. Referencias: BAR=Parcela 1; DAG=Parcela 2; SM=Parcela 3; ROD= Parcela 5; AB=Parcela 8; LS= Parcela 9

La evolución horaria de la temperatura dentro del viñedo, muestra una evolución similar en los dos años. Durante el ciclo 2013 el sitio “Parcela 6” ubicado en el centro geográfico presenta menores temperaturas entre las 16hs y 4 hs, mientras que entre las 8 hs y las 13 hs supera a los demás sitios. A partir de las 13 hs y hasta la noche, los sitios de Colonia (Parcela 1 y Parcela 2) junto a Parcela 3 registran valores de temperaturas medias superiores a los demás sitios. En la figura N° 10 correspondiente al ciclo 2013, se observa un comportamiento diferente en el sitio Parcela 5 donde los valores promedio de temperaturas alcanzan los registros más altos durante la noche y los más bajos durante el día, en relación a los demás sitios. La tendencia en las temperaturas nocturnas marcan el siguiente orden descendente: Parcela 5, Parcela 1, Parcela 2, Parcela 8, Parcela 3, Parcela 6, Parcela 9.

La curva de tendencia (polinómica) de la temperatura durante el ciclo 2014, muestra mayores registros en la zona W de la costa que la zona E durante la tarde

(desde las 16hs a 17 hs) y noche. También confirma que las temperaturas en Parcela 8 fueron siempre superiores a Parcela 9 entre la 1 hs y las 19 hs.

2.1.3.6 Microclima de la canopia: humedad relativa

Cuadro 15 ANOVA de porcentaje de humedad relativa de canopia según sitio y año; entre años y distribución relativa horaria en situación de óptima para fotosíntesis (60 a 70%, entre las 8 hs y 19 hs) y rango óptimo para el desarrollo de botrytis (>89 %HR). Período 08.01 al 28.02 de ciclos productivos 2012, 2013 y 2014. Test: Tukey Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0,05$)

Sitio	% de HR media 2012	% de HR media 2013	Frecuencia hora con HR >89% Año 2013	Frecuencia relativa de horas con %HR entre 60 y 70% de 8 a 19 hs 2013	% de HR media 2014	Frecuencia hora con HR >89% Año 2014	Frecuencia relativa de horas con %HR entre 60 y 70% de 8 a 19 hs 2014
Parcela 9	s/d	75.56 a	32.36	22.47	84.13 a	47.25	21.93
Parcela 8	71.59 c	74.72 ab	29.37	20.68	81.51 b	39.60	21.27
Parcela 3	s/d	72.45 c	28.55	15.03	81.94 b	42.96	18.31
Parcela 7	70.04 c	73.33 bc	26.38	22.77	s/d	s/d	s/d
Parcela 6	74.29 b	71.43 c	22.27	18.01	s/d	s/d	s/d
Parcela 1	s/d	73.35 bc	18.76	22.47	82.29 b	34.98	18.31
Parcela 2	s/d	72.15 c	17.41	20.24	79.46 c	34.38	16.78
Parcela 5	77.47 a	72.93 bc	12.58	27.83	s/d	s/d	s/d
%HR media anual	72.73 b	73.29 b			81.71 a		

El contraste de medias permite identificar el efecto año siendo el 2014 (el más húmedo) seguido por 2013 y 2012 (estos dos años sin diferencias significativas entre ellos). En 2012 el sitio más húmedo fue Parcela 5 y los menos húmedos Parcela 7 y Parcela 8. En 2013 los más húmedos son Parcela 9 seguido de Parcela 8 y los menos húmedos Parcela 3, Parcela 6 y Parcela 2. En 2014 el más húmedo es Parcela 9 y el menos húmedo Parcela 2.

En la comparación dentro de cada región, se observa que Parcela 9 es más húmedo que Parcela 8 y Parcela 1 más húmedo que Parcela 2.

En relación a la distribución de horas con más de 89 % HR en 2013 y 2014, los sitios de la costa de Maldonado junto a Parcela 3 presentan los porcentajes más altos,

en tanto que los viñedos de Colonia registraron los porcentajes más bajos. En 2013 Parcela 5 tuvo valores más bajos aún que los registrados en Colonia

El análisis de la humedad relativa horaria en canopia permite una mejor comprensión de su evolución. En la figura 12 se presenta la tendencia según sitio para los ciclos 2013 y 2014.

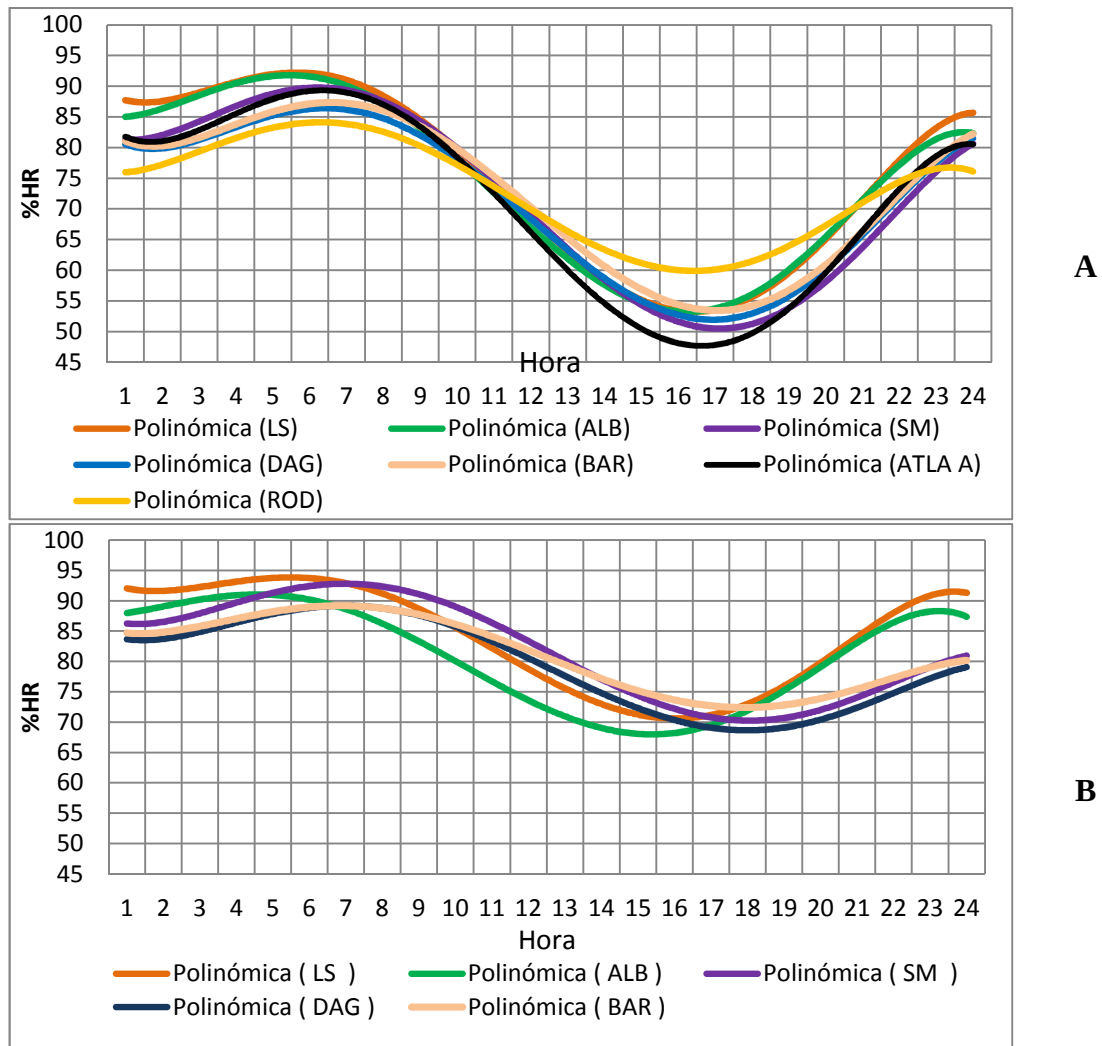


Figura 12 Curvas de tendencia (polinómica) de la evolución horaria de la humedad relativa en canopia, para 7 sitios del 01.01.2013 al 28.02.2013 (A) y 5 sitios (B) del 01.01.2014 al 28.02.2014. En todos los casos $R^2 > 0,94$. Referencias: BAR=Parcela 1; DAG=Parcela 2; SM= Parcela3; ROD= Parcela 5; ATLA A= Parcela 6; ALB=Parcela 8; LS= Parcela 9

La humedad asciende desde las 18 hs a 19 hs y alcanza su máximo durante las primeras horas de la mañana, comenzando a descender a partir de la hora 8. Los mínimos de humedad se registraron entre las 12 hs y 13 hs para Parcela 8 y entre las 18 hs y 19hs para los demás casos. En la comparación por región se observa que Parcela 9 mantiene mayor %HR que Parcela 8 en Maldonado y Parcela 1 es mayor que Parcela 2 en Colonia.

2.1.3.7 Viento y microclima de canopia: el caso de dos viñedos de Maldonado

En las figuras 13 y 14 se presentan los datos de evolución de temperatura y humedad relativa de canopia durante el mes de febrero de 2013, en dos predios de Maldonado, en los sitios correspondientes a Parcela 8 y Parcela 9

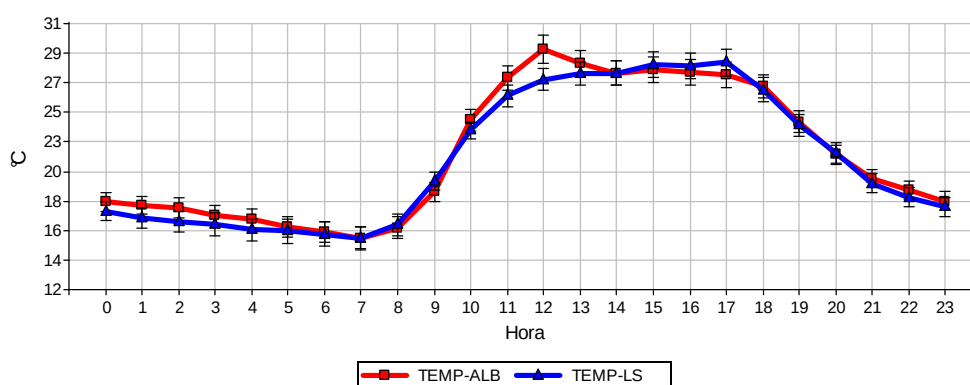


Figura 13 Evolución de la temperatura diaria de canopia según hora en Parcela 8 y Parcela 9. febrero 2013

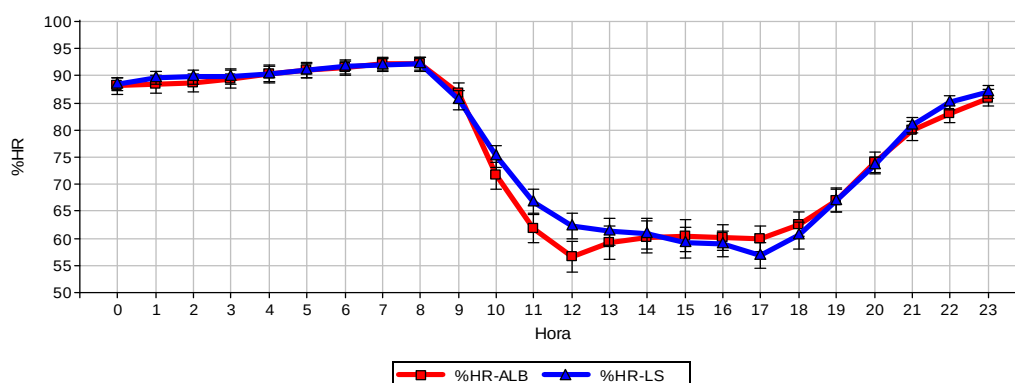


Figura 14 Evolución de la humedad relativa diaria de canopia según hora en Parcela 8 y Parcela 9. febrero 2013 Referencias: ALB=Parcela 8; LS= Parcela 9

Los resultados muestran una evolución de la temperatura superior en Parcela 8 respecto a Parcela 9 desde las 21 hs hasta las 6 hs. y luego desde las 10 hs hasta las 13 hs. Entre las 15 hs y las 17 hs la temperatura es superior en Parcela 9. La mayoría de las medias no tienen diferencia significativa, a excepción de la temperatura de las 12 hs.

Por su parte, el % HR tiene una evolución opuesta a la temperatura, siendo significativamente menor en Parcela 8 respecto a Parcela 9 a las 11 hs y 12 hs con una diferencia aproximada de un 5 %. Los valores más altos de humedad, de aproximadamente 90 %, se mantuvieron entre las 0 hs y 8 hs, en tanto que la temperatura se encontraba por debajo de los 18 °C.

En las figuras 15 y 16 se presenta la evolución diaria de la velocidad y dirección del viento según hora.

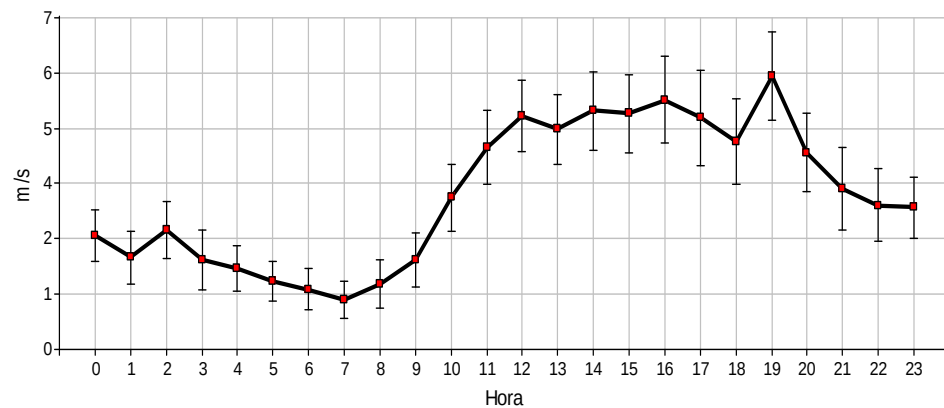


Figura 15 Velocidad promedio del viento según hora en estación Guardia Vieja (Parcela 8). febrero 2013

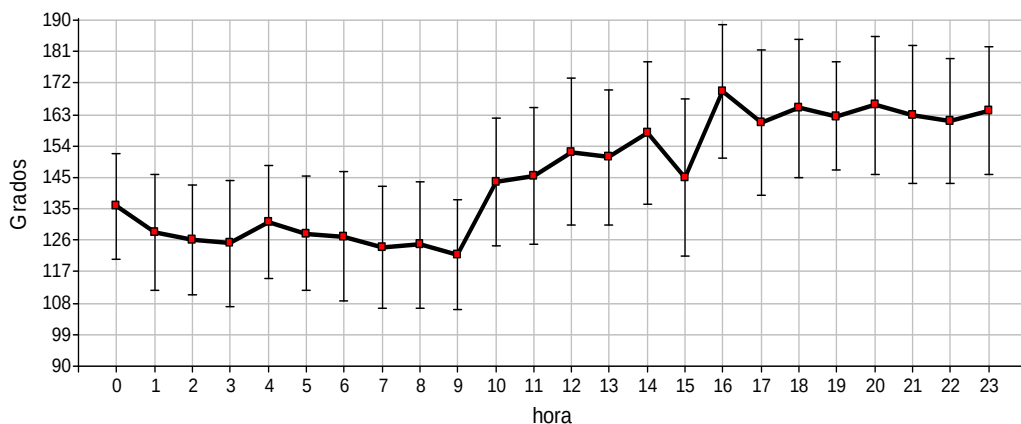


Figura 16 Dirección dominante del viento según hora en estación Guardia Vieja (Parcela 8). febrero 2013

La velocidad promedio del viento descendió durante la noche desde $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a la hora 0, hasta $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a la hora 7. Luego aumentó durante la mañana hasta alcanzar el primer pico a la hora 12 de $5.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, el segundo a la hora 16 de $5.5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ y el tercero a la hora 19 de $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

La evolución de la dirección promedio del viento durante el día se mantuvo desde el segundo cuadrante. Desde la 0 hs el viento tiene una pequeña rotación en sentido anti-horario, desde el SE hacia el ESE que culmina a las 9 hs. Luego comenzó a rotar en sentido horario, con un pequeño cambio a las 15 hs y luego nueva rotación horaria alcanzando casi la posición S a las 16 hs. Un último cambio anti-horario mantuvo la dirección promedio desde los 163° (SSE) entre las 17 hs y las 23 hs.

El ángulo de rotación promedio diario del viento fue inferior a los 48° , con una tendencia desde el SE a ESE durante la noche y primeras horas de la mañana, para ir tomando una dirección con mayor peso del S-SSE durante el resto del día. La velocidad del viento tiene una correlación positiva con la dirección ($r = 0,41$; $p < 0.0001$), es decir cuando el viento gira en sentido horario aumenta la velocidad del viento.

El análisis de la frecuencia de la dirección del viento (figura 17) muestra una prevalencia del ESE, del mismo modo que se demostró para el promedio de vientos de Enero a Marzo de los años 2011 a 2014, y similar a la dirección prevalente de las brisas de mar de las 18 hs.

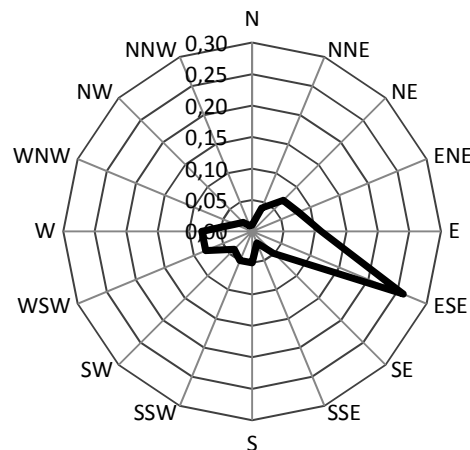


Figura 17 Frecuencia relativa de la dirección del viento en Guardia Vieja (Parcela 8). febrero 2013

Aunque muy bajo, se constató correlación negativa entre la velocidad del viento y el %HR en los dos sitios analizados: ($r = -0,24$; $p < 0.0001$ para ALB y $r = -0,27$; $p < 0.0001$ para LS), por lo cual el aumento de velocidad del viento que ocurre durante el día, así como el aumento de la temperatura provocan una disminución de la humedad de la canopia.

En febrero de 2013 y febrero de 2014 (datos no presentados) se destaca un pico de máxima temperatura ($29,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) y mínima de humedad de canopia ($57,7\text{ \%HR}$) a la hora 12 en Parcela 8. Este momento coincide con una dirección del viento de 154° y el primer pico diario de velocidad de $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. En Parcela 9 la temperatura a esa hora fue de $27,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la humedad relativa $63\text{ \%}$.

En febrero de 2014 (datos no presentados) se registró una situación similar: un pico de máxima temperatura a la hora 12 ($29\text{ }^{\circ}\text{C}$) en Parcela 8, superior a Parcela 9 ($25,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), y un pico de mínima humedad relativa en el mismo momento en Parcela 8

(65 %HR), inferior a Parcela 9 (75 %HR). A la hora 12 la orientación predominante del viento fue 160 ° y la velocidad media de 4,8 m*s⁻¹

2.1.3.8 Relación entre factores geográficos y variables climáticas

En la búsqueda de factores explicativos de la variabilidad climática local, se analiza la influencia de los factores geográfica sobre la temperatura y humedad de la canopia.

A partir de la información del cuadro 16, se estableció la correlación entre variables climáticas relacionadas con la temperatura y las variables geográficas: distancia a la costa (dm) y altura sobre el nivel del mar (anm). Las temperaturas y porcentajes de horas por rango de temperatura fueron tomadas dentro de la canopia de viñedos, desde el 23 de diciembre al 28 de febrero del año siguiente, durante los ciclos 2013 y 2014.

Cuadro 16 Variables geográficas: distancia al mar (dm) y altura sobre el nivel del mar (anm).

Sitio	Altura sobre nivel mar (anm) m	Distancia a la costa (dnm) km
Parcela 1	17	1,2
Parcela 2	36	4
Parcela 5	42	1
Parcela 7	60	12,5
Parcela 8	57	15,8
Parcela 3	140	42
Parcela 6	68	12,7
Parcela 9	85	18,9

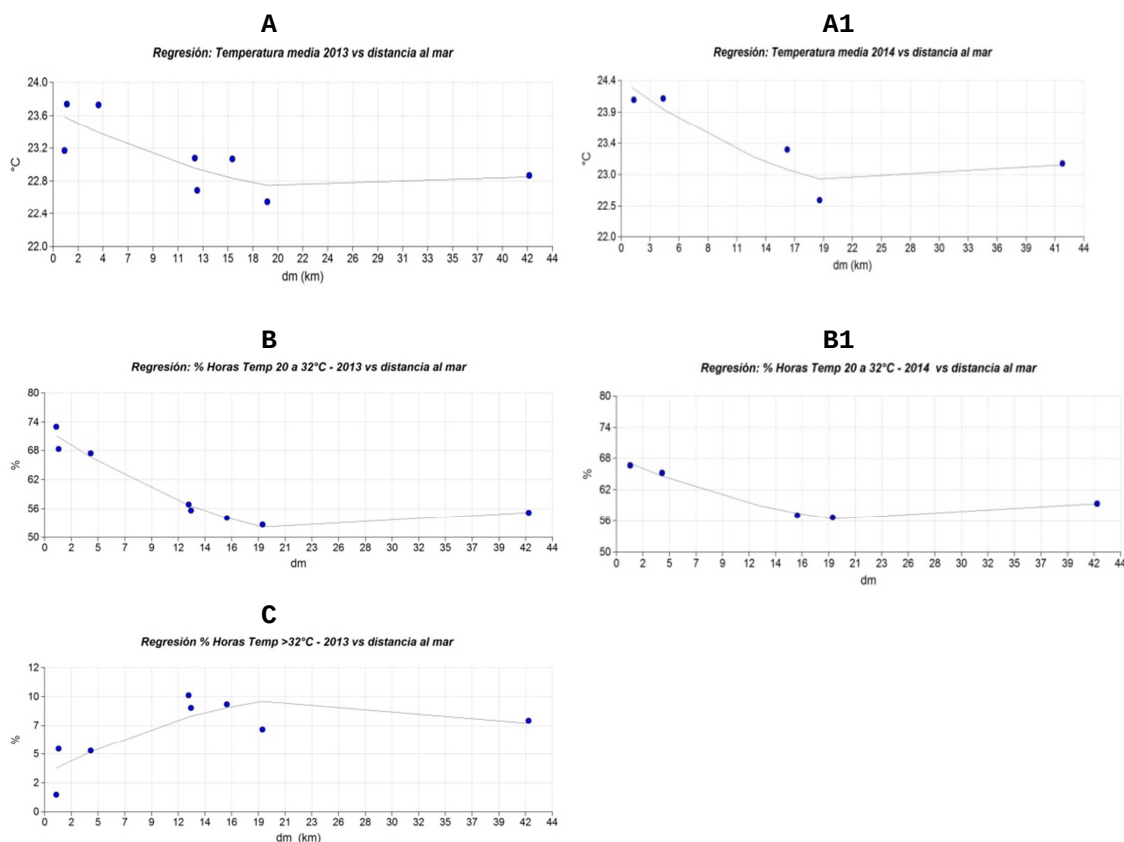


Figura 18 Regresión entre distancia al mar (km) y tres variables climáticas: Temperatura media de canopia 2013 (A) y 2014 (A1); porcentaje de horas con temperaturas entre 20 y 32 °C 2013 (B) y 2014 (B1); porcentaje de horas con temperaturas superiores a 32°C (C)

En el cuadro 16 se presentan las fórmulas de ajuste (polinomio de segundo grado) para la regresión distancia al mar (dm) vs temperatura media y % de horas en rangos de temperatura; el valor de R², el valor de “p” y los valores de “(dm)” mínimos o máximos.

Cuadro 17 Fórmulas de ajuste de la regresión entre (dm) y temperaturas.

Variable (Y)	(dm) ²	(dm)	constante	(dm) mínimo/max curva	R ²	p-valor
T med 2013 °C	0,0012	-0,0700	23,66	29,17	0,63	0,083
>32°C 2013	-0,0100	0,5000	3,13	25,00	0,68	0,057
20-32°C 2013	0,0300	-1,6400	72,69	27,33	0,97	0,0001
T med 2014 °C	0,0021	-0,1200	24,41	28,57	0,86	0,007
> 32°C 2014	s/c	s/c	s/c	s/c	0,39	0,285
20-32°C 2014	0,0200	-0,9600	68,14	24,00	0,99	<0,0001

De acuerdo a los resultados, existe influencia marina sobre las temperatura media de canopia que disminuye hasta una distancia a la costa de 29.17 km en 2013 y 28.57 km en 2014. El porcentaje de horas diurnas en el rango de temperatura óptimo para fotosíntesis (20 a 32°C) desciende, desde la costa hacia el continente, hasta los 27,33 km en 2013 y hasta los 24,00 km en 2014. Finalmente el porcentaje de horas con temperaturas superiores a 32 °C aumenta hasta los 25 km en 2013, en tanto que no se pudo establecer correlación en 2014.

Se concluye que existe influencia evidente del mar hasta los 18 a 20 km que permanece, según sea la variable hasta los 24,00 y 29,17 km.

Complementariamente se estableció la correlación entre la temperatura mínima promedio del mes de febrero de los ciclos 2012, 2013 y 2014 con (dm). La correlación es de signo negativo, siendo mayor la temperatura nocturna cuanto menor sea la distancia a la costa, a excepción del sitio Parcela 3.

El estudio de la variación en la amplitud térmica de viñedos (del cual se excluyó Parcela 3) durante el mes de febrero de los ciclos 2012, 2013 y 2014 en relación a la distancia al mar, marca un aumento hasta los 13 km para luego comenzar a descender lentamente (Figura 19). La fórmula de ajuste de la amplitud térmica (y) en °C durante el mes de febrero es:

$$y = -0.02x^2 + 0.52x + 10.55; (R^2 = 0,52; p = 0,008)$$

Donde x es la distancia a la costa expresada en km

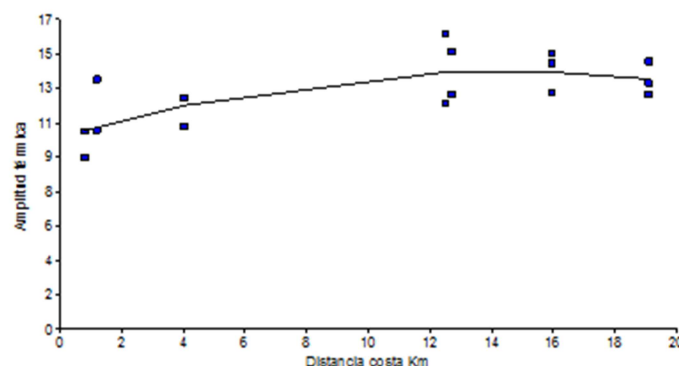


Figura 19 Regresión de amplitud térmica de canopia vs distancia a la costa, durante el mes de febrero de los años 2012, 2013 y 2014.

La amplitud térmica durante el mes de febrero es influida por el mar, pero hasta una distancia menor, a la que afecta las temperaturas medias de canopia para enero-febrero.

El análisis de la relación de la altura sobre el nivel del mar (anm) y las temperaturas de canopia, se ajustan mediante un polinomio de segundo grado y marcaron un descenso de las temperaturas medias desde el nivel del mar, hasta los 117,6 m en 2013 y hasta los 95,2 m en 2014. La cantidad relativa de horas diurnas dentro del rango óptimo para fotosíntesis también desciende con la altura hasta los 108.3 m en 2013 y hasta los 97.22 m en 2014. En tanto que no se verificó correlación entre la altura del viñedo y el porcentaje de horas con temperaturas mayores a 32°C en ninguno de los dos años. Cuadro 18

Cuadro 18 Fórmulas de ajuste de la regresión entre (anm) y temperaturas.

Variable	(anm) ²	(anm)	constante	(anm) mínimo/max curva	R ²	p-valor
T med 2013 °C	0,00017	-0.04	24.46	117,60	0.85	0.0094
>32 °C 2013	s/c	s/c	s/c	s/c	0.29	0.4196
20-32 °C 2013	0,0024	-0.52	80.92	108,33	0.66	0.0690
T med 2014 °C	0,00021	-0.04	25.05	95,24	0.83	0.0123
>32 °C 2014	s/c	s/c	s/c	s/c	0.46	0.2122
20-32 °C 2014	0,0018	-0.35	73.00	97,22	0.88	0.0052

El análisis de la influencia de factores geográficos sobre la humedad relativa media de canopia dio como resultado los valores que se presentan en el cuadro 19

Cuadro 19 Coeficientes de correlación de Pearson

Variable	(dm)	Valor de p	(anm)	Valor de p
%hs HR>89% -2013	0.71	0.05	0.64	0.09
%hs 60%<HR<70% 2013	-0.74	0.04	-0.65	0.08

No se observó influencia de las variables geográficas sobre %HR medio de canopia en los ciclos 2012, 2013 y 2014. Tampoco se encontró correlación alguna para los dos rangos de humedad analizados en el año 2014.

El análisis de 2013 mostró correlación positiva entre la humedad superior al 89 % y la distancia al mar y también con la altura sobre el nivel del mar, en tanto

que con el rango de humedad más adecuado para la fotosíntesis se obtuvo correlación negativa con (dm) y con (anm).

2.1.4 Discusión

Como punto de partida para definir las condiciones en que se desarrolla la viticultura y establecer límites geográficos a la región productiva, en los resultados se presentaron las principales características climáticas de la costa uruguaya durante el período setiembre-febrero, en el que transcurre la mayor parte del desarrollo vegetativo de la vid, tal como lo realizado por diversos autores: Winkler (1962), Branas (1974), Huglin (1978), Gladstones (1992), Fregoni y Pezzutto (2000); Tonietto (1999); Tonietto y Carbonneau (2004), Jones (2006), Ferrer *et al.* (2007) y Makra *et al.* (2009).

El análisis de las variables climáticas en un período de 30 años en la costa de Uruguay, muestra mayor porcentaje de humedad relativa y precipitaciones acumuladas en el E, las temperaturas medias, máximas y mínimas, siguen una tendencia decreciente de W a E, en particular la temperatura mínima, es menor en la costa atlántica con respecto a Colonia. Esta variable tuvo el coeficiente de variación más alto, seguido por la Temperatura Media. Con un enfoque evolucionista, Bidegain *et al.* (2009), concluyen que las tendencias de los últimos años marcan un aumento de la temperatura media en la costa, más pronunciada en la zona atlántica; crecimiento de las precipitaciones acumuladas en toda la costa, pero relativamente más importante en el litoral atlántico y una disminución en la costa del Río de la Plata en la velocidad media del viento de superficie, en particular a partir de la década de 1990.

El estudio de los índices de “clima vitícola” de acuerdo a la “Clasificación Climática Multicriterios” propuesta por Tonietto (1999), Tonietto y Carbonneau (2004) y adaptaciones propuestas por Ferrer *et al.* (2007) para Uruguay, permitió separar los sitios mediante un ACP que explica el 90 % de la varianza. El índice con más peso en la variabilidad fue “IS” con un valor de 0,87 seguido por los índices térmicos (IF e IH). A lo largo de la costa se obtuvieron valores más altos de IF para la zona E, así como en los sitios más próximos al mar. En los cuatro ciclos

analizados predominaron los climas: Cálido y Templado Cálido, Noche Templada y Noche Cálida, Sequía Moderada y Sub-húmedo. En relación a la clasificación de Ferrer *et al.* (2007) se reconocieron algunas diferencias :en Colonia (Parcela 1 y Parcela 2) las noches fueron más cálidas y mayor el volumen de las precipitaciones, en Montevideo (Parcela 5) el clima resultó más templado y la temperatura nocturna fue superior, en San José (Parcela 3) el clima vitícola resultó más cálido, en Canelones (Parcela 4, Parcela 6 y Parcela 7) y en Maldonado (Parcela 8 y Parcela 9) fue más cálido y la frecuencia de noche cálida también fue más alta. En los viñedos con suelos más profundos aumentó la frecuencia de clima sub-húmedo. En síntesis, en relación a los antecedentes el “clima vitícola” durante los años 2011 a 2014, tuvo temperaturas más altas, sobre todo nocturna y mayor humedad relativa. Estas condiciones además de coincidir con las tendencias señaladas por Bidegain (2005) y Bidegain y Camillioni (2006), se alinean con la afirmación de Jones *et al.* (2005), de que durante la segunda mitad del siglo XX, la mayoría de las regiones del mundo de elaboración de vinos de alta calidad, han experimentado una creciente tendencia al calentamiento en la temporada de producción.

Si bien la clasificación climática de Uruguay, de acuerdo a Köppen-Geiger, indica un régimen de precipitaciones constante, repartidas a lo largo del año y que superan los registros de evaporación, en el corto plazo los coeficientes de variación fueron muy altos para los índices que involucraron precipitaciones (IS y PPa).

En el cálculo de índices a cosecha, se separaron los sitios pero su clasificación difiere con lo obtenido según el sistema CCM propuesto por Tonietto (1999) y Tonietto y Carbonneau (2004). En este caso los períodos analizados son variables, entre sitios y años, de acuerdo a la evolución de la madurez tecnológica. Cuando se anticipa la cosecha, la última etapa de la maduración ocurre más próxima al solsticio de verano y como consecuencia el índice IF suele ser superior, ocurriendo lo contrario cuando el proceso de maduración se extiende más allá de la fecha promedio de la región. De acuerdo al largo del ciclo y a la heliofanía, la acumulación de energía solar promueve modificaciones en el valor de IH. Las posibilidades de acumulación de agua en el suelo y el volumen de precipitaciones durante la última etapa de la maduración tecnológica tiene gran incidencia en el valor absoluto de IS y

en el rango de clasificación climático. A cosecha, todos los sitios fueron clasificados, de acuerdo al promedio interanual de las variables como “Templado cálido, noches templadas y sequía moderada”, a excepción de los predios Parcela 6 y Parcela 7 que fueron “Templado cálido, noches cálidas y sequía moderada”. Si dentro de cada grupo de clasificación del sistema CCM se establecen tres sub-categorías (+1, +2 y +3) donde el número más alto representa un mayor valor de la variable, los sitios se podrían reagrupar en tres subgrupos (cuadro 20).

Cuadro 20 Distribución de sitios según índices reclasificados del sistema CCM a cosecha. Las referencias +1, +2 y +3 indican el sub-rango de cada categoría, un valor más alto significa mayor valor de la variable.

Sitios	Reclasificación IH	Reclasificación IF	Reclasificación IS
Parcela 1 Parcela 4 Parcela 9	Templado cálido +3	Templado +2/+3	Sequía moderada +3/+2
Parcela 2 Parcela 6 Parcela 7 Parcela 8	Templado cálido +2	Cálido/Templado +3	Sequía moderada +2/+1
Parcela 3 Parcela 5	Templado cálido +1	Templado +2/+1	Sequía moderada +3/+2

El sistema CCM permite comparar zonas de distintas regiones con condiciones estandarizadas, pero la aplicación de las adaptaciones sugeridas por Ferrer *et al.* (2007) y la estimación de los índices a cosecha permite discriminar zonas en base a las características climáticas reales durante cada período productivo.

El contraste entre años muestra diferencias importantes: 2012 con mayor acumulación térmica y noches más cálidas fue similar a 2011, pero este último fue además el más seco de los cuatro años. El 2013 fue el más frío y relativamente seco y el 2014 resultó el más húmedo de la serie. De acuerdo con Barros *et al.* (2006), las perturbaciones atmosféricas generadas por el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), y sus “teleconexiones” con la cuenca del Río de la Plata, son la principal fuente de variabilidad, provocando en la fase cálida (El Niño) precipitaciones anormalmente abundantes, en tanto que en la fase fría (La Niña) generan condiciones anormalmente secas en la región. Estos eventos explicarían de manera

general las características climáticas de los cuatro ciclos productivos. El período 2010-2011 fue categorizado como Niña (fuerte), 2011-2012 fue Niña (débil), 2012-2013 neutro, en tanto que 2013-2014 fue Niño. Esta coincidencia con la clasificación de “clima vitícola”, del mismo modo que lo señalan Ferrer *et al.* (2014), permitiría utilizar los resultados del monitoreo permanente del ENSO, junto al conocimiento de la modulación de su incidencia sobre las condiciones ambientales en cada sitio, como elemento fundamental para proporcionar a los viticultores, herramientas operativas y de previsión para mejora de la gestión del viñedo (Grifoni *et al.*, 2006).

2.1.4.1 Brisas de mar y tierra

De acuerdo a Abbs y Physick (1992), una de las particularidades del clima local en la costa es la presencia del fenómeno denominado “brisa marina”.

La mayor dificultad en el desarrollo de una estadística de días de brisa surge de la dificultad de separar las componentes debidas a las circulaciones locales de origen térmico y las debidas a los movimientos de escala sinóptica (Salvador y Millán, 2003). Sin embargo, las estimaciones realizadas previamente para una zona más amplia que incluye también la costa Atlántica (Pienika y Cataldo, 2012), refuerzan los resultados obtenidos en este trabajo.

El estudio de vientos a escala de viñedos o zonas aledañas, permitió confirmar la presencia de vientos de baja intensidad (inferiores $25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) con frecuencia diaria, que estarían asociados a las brisa marina (o brisas de mar y tierra). Predominan las brisas desde el cuadrante 1 y 2 a excepción de Guardia Vieja en Maldonado, donde los vientos de baja intensidad provienen de los cuadrantes 2 y 3.

Durante la mañana, la mayor frecuencia de la dirección de las brisas tiene componente N, fundamentalmente desde el cuadrante 1. Si se analiza la región evolucionando desde el W, Colonia (Estanzuela y Juan Lacaze), hacia el E, Maldonado (Guardia Vieja y Laguna del Sauce), se observa una rotación en sentido horario de la brisa matinal. Esta tendencia se refuerza con la proximidad del mar. Cuando se analizan las brisas de la tarde, se observa un predominio del cuadrante 2 y

una mayor presencia del componente E en las proximidades de la costa, efecto que se refuerza con la mayor exposición oceánica. Estos resultados revelan con claridad el efecto de brisas de mar y tierra. En la rotación de los vientos, además de las diferencias en el gradiente térmico mar-tierra, estaría implicada la fuerza de Coriolis, según lo mencionado por otros autores como Reyes y Pares (1983) y Salvador y Millán (2003), desviando la trayectoria del flujo a la izquierda en el Hemisferio Sur según lo señalado por García Skabar (2007).

La presencia de una frecuencia importante de brisa matinal originada desde el W, WSW y SW, observada en la zona de Guardia Vieja podría ser explicada por la topografía. La estación climática de referencia se encuentra a 60 m sobre el nivel del mar, en la ladera W de Sierra Ballena con una pendiente superior al 8,5 %, en un paisaje muy abierto hacia la Laguna del Sauce de aproximadamente 30 km² de superficie. Se plantea como hipótesis la posibilidad de que esta sea una brisa de “Valle”, que asciende hacia las zonas altas en horas de la mañana.

Los vientos “fuertes” de primavera, superiores a los 25 km*h⁻¹, proceden fundamentalmente desde el cuadrante 2 y 3, con mayor frecuencia en su tendencia desde S, SSE y SSW. Las excepciones son Punta Brava, con una gran exposición marítima, donde aparecen las direcciones ENE, ESE y Guardia Vieja con un comportamiento muy diferente en el que la frecuencia del WSW y W alcanzan el 80 %.

En el caso de Guardia Vieja el relieve podría interferir con la dirección predominante de la costa. Hacia el S y E, el viñedo aparece protegido por la sierra Ballena, en cambio hacia el W el paisaje, como ya fue señalado, presenta una exposición muy importante

Los vientos de primavera superiores a 25 km*h⁻¹ pueden generar daños físicos en los brotes, reducción de largo de brotes, de tamaño de hojas y densidad de estomas; también pueden afectar las inflorescencias y racimos recién cuajados. (Bettiga *et al.*, 1996, Dry 1993, citados por Jackson, 2008). De acuerdo a los resultados obtenidos, la instalación de barreras protectoras en los viñedos de la región costera del Río de la Plata, deberían cubrir un arco que varía entre los 112,5 °

y 247,5 °. Sin embargo estas podrían no ser suficiente para resguardar los viñedos en casos de eventos extremos de baja frecuencia, con muy alta intensidad y/o diferente dirección.

Según el sitio las barreras deberían ubicarse en forma perpendicular a las direcciones que se presentan el cuadro 21

Cuadro 21 Vientos de primavera superiores a los 25 km*h⁻¹, arco de dirección y punto cardinal más frecuente, según Estación climática de referencia.

Departamento /estación de referencia	Arco de dirección más frecuente de vientos de primavera superiores a los 25 km*h ⁻¹	Dirección más frecuente de vientos de primavera superiores a los 25 km*h ⁻¹
Colonia/ La Estanzuela	180° a 225°	202.5° (SSW)
Montevideo/ Sayago	157.5° a 180°	180° (S)
Canelones/ Las Brujas	112.5° a 225°	202.5° (SSW)
Canelones/ Juanicó	135° a 180°	157.5° (SSE)
Canelones/ Empalme Olmos	157.5° a 247.5°	157.5° (SSE)
Maldonado/ Guardia Vieja	225° a 270°	270° (W)

Se observa que más allá del arco a cubrir, las direcciones predominantes son 202,5 ° en Colonia y W de Canelones, 157,5 ° a 180 ° en Montevideo y centro W de Canelones y 270 ° en Guardia Vieja (Sierra Ballena) de Maldonado.

2.1.4.2 Microclima de la canopia en viñedos de la costa

Las fuertes implicaciones del clima sobre el funcionamiento de la vid, hacen necesario cuantificar los umbrales climáticos óptimos y extremos para los procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis y respiración, a fin de determinar la aptitud vitícola de una región (Hunter y Bonnardot, 2011). En tal sentido, se determinó que, durante los meses de enero-febrero de los años 2013 y 2014 la temperatura media de canopia y la cantidad de horas dentro del rango óptimo para fotosíntesis registró diferencias entre los sitios con una tendencia decreciente de W a E, con excepción de Parcela 5 (Montevideo) que fue similar a lo indicado para el W. Las temperaturas mínimas de canopia de los sitios del W más Parcela 5 (Montevideo), fueron significativamente superiores a los demás sitios. No se encontraron diferencias en las

temperaturas máximas según sitio, pero sí en la amplitud térmica que según el año fueron superiores en Parcela 6, Parcela 7 y Parcela 8.

La evolución horaria de la temperatura dentro del viñedo, muestra una evolución similar entre los años 2013 y 2014 para cada sitio. Sin embargo la amplitud térmica y la forma en la que ocurre la modulación diaria difieren de acuerdo al emplazamiento geográfico. Por ejemplo, durante el ciclo 2013 el sitio “Parcela 6” ubicado en el centro geográfico de la costa, presenta menores temperaturas entre las 16 hs y 4 hs, mientras que entre las 8 hs y las 13 hs supera a los demás sitios. A partir de las 13 hs y hasta la noche, los sitios de Colonia (Parcela 1 y Parcela 2) junto a Parcela 3 registran valores de temperaturas medias superiores a los demás sitios. Del mismo modo se observa el menor rango de amplitud térmica diaria en sitio Parcela 5.

En relación a la humedad de canopia, el contraste de medias permite identificar el efecto año siendo el 2014 el más húmedo, seguido por 2013 y 2012. Los resultados también mostraron diferencias entre sitios, encontrando los valores más altos de humedad promedio de canopia en Parcela 5 y Parcela 9.

La distribución relativa en la cantidad de horas dentro del rango de humedad predisponente para la aparición de enfermedades fúngicas, mostraron que los predios del E junto a Parcela 3 (San José) tuvieron los valores más altos, en tanto que los más bajos se registraron en el W y en Parcela 5 en 2013.

El análisis de la tendencia en la evolución horaria de la humedad, permite visualizar un ascenso a partir de las 18 hs a 19hs y alcanza su máximo durante las primeras horas de la mañana, comenzando a descender a partir de la hora 8. Los mínimos de humedad se registraron entre las 12 hs y 13 hs para Parcela 8 y entre las 18 hs y 19 hs para los demás casos. En la comparación dentro de cada región se observa que Parcela 9 mantiene mayor %HR que Parcela 8 en Maldonado y Parcela 1 es mayor que Parcela 2 en Colonia.

Las tendencias en la temperatura y humedad en la costa del Río de la Plata son consistentes con las diferencias de irradiación solar, presentados en el capítulo

anterior, en el cual se señalaba una disminución general de W-E más marcada durante los meses de verano.

Las diferencias en el microclima de canopia responden fundamentalmente a las características sinópticas, pero también, tal como lo expresan Zhang *et al.* (2005) serían resultado de fenómenos meteorológicos locales que afectan las temperaturas, la humedad, las precipitaciones, y la superficie del flujo de aire. Los resultados presentados confirmarían esta afirmación.

2.1.4.3 Viento y microclima del viñedo en dos sitios de Maldonado

El estudio de dos casos durante el mes de febrero de 2013, tal como se presenta en los resultados, muestran una evolución de la temperatura superior en Parcela 8 respecto a Parcela 9 desde las 21 hs hasta las 6 hs. y luego desde las 10hs hasta las 13hs. Por el contrario entre las 15hs y las 17hs la temperatura fue superior en Parcela 9. La humedad de canopia evoluciona en forma opuesta a la temperatura, siendo significativamente menor en Parcela 8 respecto a Parcela 9 a las 11hs y 12hs. Los valores más altos de humedad, de aproximadamente 90 %, se mantuvieron entre las 0 hs y 8 hs, durante la cual la temperatura se mantuvo por debajo de los 18 °C.

De acuerdo a los datos de la estación meteorológica de referencia, se observa un descenso de la velocidad promedio del viento durante la noche desde $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a la hora 0, hasta $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a la hora 7. Luego aumentó durante la mañana hasta alcanzar el primer pico a la hora 12 de $5.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, el segundo pico a la hora 16 de $5.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ y el tercero pico a la hora 19 de $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

El momento del día en que se produce la máxima intensidad de la brisa marina depende de la proximidad al mar y la latitud, entre otros factores. Reyes (1983) demostró que la máxima intensidad de la brisa se produce alrededor de las 14 hs en la costa de la Bahía de Todos los Santos, México, sobre el Trópico de Cáncer. En tanto que Urrutia (1993), para la Bahía de Arauco, Chile, ubicada aproximadamente 2° al sur de los sitios de Maldonado, determinaron que la máxima intensidad de la brisa marina se produce alrededor de las 16 hs.

Durante el período analizado los vientos (sin discriminar su intensidad) procedieron generalmente desde el segundo cuadrante. El ángulo promedio de rotación diaria fue inferior a los 48°, con una tendencia desde el SE a ESE durante la noche y primeras horas de la mañana, para ir tomando luego una dirección con mayor peso del S-SSE durante el resto del día. La prevalencia del ESE, fue coincidente con la dirección promedio del período enero a marzo de los años 2011 a 2014, y similar a la dirección más frecuente de las brisas de mar de las 18 hs, registradas en el mismo sitio. La dirección y velocidad del viento se correlacionaron en forma positiva dentro del ángulo de rotación analizado ($r = 0,41$; $p < 0,0001$), es decir, cuando en esta región el viento gira en sentido horario aumenta su velocidad.

Se constató correlación de signo negativo entre la velocidad del viento y el %HR en los dos sitios analizados (Parcela 8 $r = -0,24$; $p < 0,0001$; Parcela 9 $r = -0,27$; $p < 0,0001$), en virtud del cual el aumento diario de la velocidad del viento, así como el aumento de la temperatura reducirían la humedad de la canopia.

En febrero de 2013 y de 2014 (datos 2014 no presentados) se destaca en Parcela 8 un pico de máxima temperatura (29,2 °C) y mínima de humedad de canopia (57,7 %HR) a la hora 12. Este momento coincide con una dirección del viento de 154 ° y el primer pico diario de velocidad de 5 m*s⁻¹. En Parcela 9 la temperatura a esa hora fue inferior (27,1 °C) y la humedad relativa superior (63%).

2.1.4.4. Relación entre factores geográficos y variables climáticas

De acuerdo a los resultados, durante los meses de enero y febrero se verificó la existencia de la influencia marina sobre las temperatura media de canopia, que disminuye hasta una distancia a la costa de 28,6 a 29,2 km; el porcentaje de horas diurnas en el rango de temperatura óptimo para fotosíntesis (20 a 32 °C) desciende, desde la costa hacia el continente, hasta los 24,0 a 27,3 km. Durante el año 2013 se evidenció el efecto del mar sobre la cantidad de horas con temperaturas superiores a 32° C, que aumentó hasta los 25 km. El análisis detallado de los resultados permite concluir que existe influencia evidente del mar hasta los 18 a 20 km que permanece, según sea la variable, hasta los 24 y 29,2 km.

Por su parte la temperatura nocturna analizada solo durante el mes de febrero de los años 2012, 2013 y 2014 tuvo correlación negativa con (dm), es decir mayor temperatura nocturna cuanto menor es la distancia a la costa. Para el mismo mes, la amplitud térmica de viñedos, aumentó junto con la distancia a la costa, alcanzando un máximo a los 13 km para luego comenzar a descender lentamente.

La influencia del mar sobre las temperaturas tendría su explicación fundamental en la circulación atmosférica local. Los rangos de distancia bajo influencia marina resultaron similares a la distancia de penetración de la brisa marina en otras regiones del mundo: 35 km en Cape Town, Sudáfrica, a las 17:00 hs, con un efecto de enfriamiento que declina rápidamente con la distancia de la costa (Bonnardot *et al.*, 2002) o usualmente inferior a los 20 km en New England, U.S.A (Colby, 2004).

El análisis de la influencia de la altura sobre el nivel del mar (anm) sobre variables climáticas permitió confirmar un descenso de las temperaturas medias de canopia y de la cantidad de horas dentro del rango óptimo para fotosíntesis hasta los 95 m a 118 m según la variable y el año, en tanto que no se pudo confirmar el efecto sobre la cantidad de horas con temperaturas superiores a 32 °C. Más allá de estos resultados, en la medida que existe una correlación muy alta entre (dm) y (anm) con $r=0.97$ y $p < 0.0001$, no se descarta que los aparentes efectos de la altura correspondan a un efecto combinado o predominante de la distancia al mar.

La relación entre variables geográficas y humedad no tuvo los resultados esperados. Solo pudo demostrarse la correlación de algunas variables en el año 2013, durante el cual se verificó correlación positiva entre la humedad superior al 89 % con la distancia y con la altura sobre el nivel del mar. El año 2013 fue el único de los cuatro estudiados clasificado como “Neutro”, según el fenómeno ENSO. Es posible que el efecto de las condiciones a escala sinóptica no permitiera discriminar la influencia de los factores geográficos sobre la humedad de la canopia en los años 2011, 2012 y 2014.

Finalmente se plantea como hipótesis la posibilidad que, como factor geográfico, sea muy relevante el “grado de apertura del paisaje”. Esto surge por

comparación de situaciones dentro de cada zona y dentro de cada predio, en la que los registros de humedad relativa son menores para las posiciones topográficas más altas y abiertas.

También sería relevante la relación entre la apertura del paisaje, la velocidad y dirección de las brisas de mar y tierra y características estructurales del viñedo. Un ejemplo de esta afirmación resulta del contraste entre Parcela 8 y Parcela 9. Durante dos años se verificó que el pico de máxima temperatura y mínima humedad de canopia en Parcela 8 se registró a la hora 12. En ese momento la dirección y velocidad del viento fueron de 154° y $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en 2013 y 160° y $4.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en 2014. La dirección del viento casi coincidente con la orientación de las filas en Parcela 8 ($157,5^{\circ}$), sería la causa de un importante aumento de la circulación del aire, aumento de la temperatura y disminución de la humedad de canopia. Si bien en la Parcela 9 la orientación de las filas del viñedo es la misma, a la hora 12, la temperatura fue inferior y la humedad relativa superior a Parcela 8. Esto tendría su explicación en la presencia de barreras topográficas perpendiculares a la dirección de las filas que evitarían la ocurrencia de este fenómeno.

De acuerdo a las características particulares de cada sitio y año se generaron condiciones meteorológicas con diferencias en las precipitaciones, en la humedad y las temperaturas, capaces de modificar los rendimientos (Lobell *et al.*, 2007, Steel y Greer, 2008, Ferrer *et al.*, 2014), la fenología (Laget *et al.*, 2008), la composición de la uva (Grifoni *et al.*, 2006, Soar *et al.*, 2008, Laget *et al.*, 2008), así como la puntuación general de la cosecha y la calidad del vino (Jones y Davis, 2000).

El “efecto año” seguramente confirmará una fuente de variabilidad superior al suelo, a la genética y a las técnicas de cultivo, tal como lo señalan Van Leeuwen *et al.* (2004) y Ferrer *et al.* (2014), que se explican según Carbonneau *et al.* (2007) por la ecofisiología de la planta que modula las respuestas de la vid a las circunstancias climáticas.

2.1.5 Conclusiones

El presente estudio investigó las características climáticas en la zona vitícola de la costa Uruguaya del Río de la Plata por sus fuertes implicaciones sobre funcionamiento de la vid.

El enfoque utilizado involucró diversas variables meteorológicas y tres escalas espaciales.

Los resultados muestran fuertes variaciones entre años y una tendencia de aumento de las temperaturas y la humedad. A nivel espacial las condiciones climáticas resultaron diferentes a lo largo de la costa y a diferentes distancias del mar.

Se caracterizó el comportamiento de los vientos durante el ciclo vegetativo, en particular de las brisas de mar y tierra durante los meses de verano y su influencia sobre el microclima de la canopia.

Los resultados confirman la influencia del mar sobre la circulación atmosférica local y las condiciones ambientales en las que se desarrolla la viticultura en esta zona del mundo.

2.2. DISTRIBUCIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EN SEIS REGIONES DE LA COSTA DEL RÍO DE LA PLATA

2.2.1 Introducción

En esta sección se analiza la radiación solar incidente en la margen izquierda del Río de la Plata, como parte de la cuantificación e integración de los procesos biofísicos que explican la variación en el crecimiento y la composición de la uva.

La radiación solar es la fuente primaria de energía que desencadena los procesos físicos y químicos que dan origen a la vida, hace funcionar el sistema climático y posibilita la fotosíntesis y la producción de materia orgánica.

Esta energía, compuesta principalmente por bandas de radiación con longitudes de onda correspondientes al espectro visible y infrarrojo cercano, alcanza la superficie terrestre y debido a la forma de la Tierra y a las distintas posiciones que adopta a lo largo del año al recorrer su órbita, calienta más unas zonas que otras. Este desbalance, busca equilibrarse constantemente por flujos de calor en la litósfera, los océanos y principalmente la atmósfera. De este modo, un factor externo o astronómico, como la radiación solar genera la circulación atmosférica, determina la temperatura, el ciclo hidrológico y los vientos (Murphy y Hurtado, 2011). La radiación será determinante de la magnitud de los índices climáticos propuestos por Tonietto (1999) para la zonificación vitícola. En su método denominado “*Clasificación climática multicriterio*” se combinan dos índices térmicos: Heliotérmico (IH) y Frescor nocturno (IF), con un balance hídrico (IS).

El mesoclima se define como una serie de modificaciones locales del macroclima a través de la alteración de varios de sus elementos, como consecuencia de factores geográficos, también denominados internos. En ese sentido, en esta región, la latitud, altura sobre el nivel del mar y topografía no constituyen la fuente más importante de variabilidad, como si ocurre con la distancia a las grandes masas de agua que causan los efectos de “continentalidad” u “oceanidad”. En ausencia de fenómenos meteorológicos de mayor potencia, las diferencias en la capacidad calorífica específica del agua y la tierra, determinan diferencias de presión y desplazamientos del aire con frecuencia anual y diario, en diferentes direcciones de

la costa. La magnitud de estos fenómenos se correlaciona positivamente con la cantidad de energía recibida y tiene consecuencias trascendentes para la producción vitícola. Para una misma latitud puede haber diferencias en la humedad relativa, en la temperatura del aire y en la dirección e intensidad del viento, según la distancia a la costa, la topografía y el volumen de la masa de agua contigua.

El espectro de la radiación electromagnética o radiación solar incluye una gama de longitudes de onda (λ) que se extiende desde los rayos gama y rayos X hasta las longitudes de onda correspondientes a las micro ondas y ondas de radio.

Junto a la banda de radiación ultravioleta ($10^{-9} \text{ m} < \lambda < 10^{-5} \text{ m}$) se extiende el espectro correspondiente a luz visible ($0,4\mu\text{m}$ a $0,7 \mu\text{m}$), seguido por el Infrarojo (IR). El intervalo del IR es aproximadamente 100 veces más largo que el correspondiente al espectro visible, dividiéndose en dos categorías, el IR cercano y medio ($0,7$ a $3,2\mu\text{m}$) y el IR emitido o térmico ($3,2$ a $100 \mu\text{m}$). Este último rango del espectro corresponde esencialmente a la radiación electromagnética emitida por la superficie de la tierra bajo forma de calor.

La radiación neta (R_n) es una función que incluye la radiación directa, la difusa y las pérdidas por reflexión o albedo, las pérdidas por la radiación terrestre, más la contrarradiación atmosférica. La mayor parte del balance de radiación se determina por la radiación solar entrante.

Las partículas de gases en la atmósfera pueden desviar o bloquear la radiación incidente, por mecanismos de difusión y de absorción. De esta manera el ozono absorbe la radiación ultravioleta, el dióxido de carbono absorbe una gran cantidad de radiación en la porción infrarroja térmica del espectro y atrapa el calor en la atmósfera. El vapor de agua en la atmósfera absorbe gran parte de la radiación infrarroja de longitudes de onda pequeñas y longitudes de onda de microondas que entran en la atmósfera (entre $22 \mu\text{m}$ y 1 m). La presencia de agua en la parte inferior de la atmósfera varía mucho de un lugar a otro y de un momento a otro año, condicionando la cantidad de energía absorbida.

La irradiación que llega a la tierra, según la zona del espectro, aporta diferentes proporciones de energía (Figura 1).

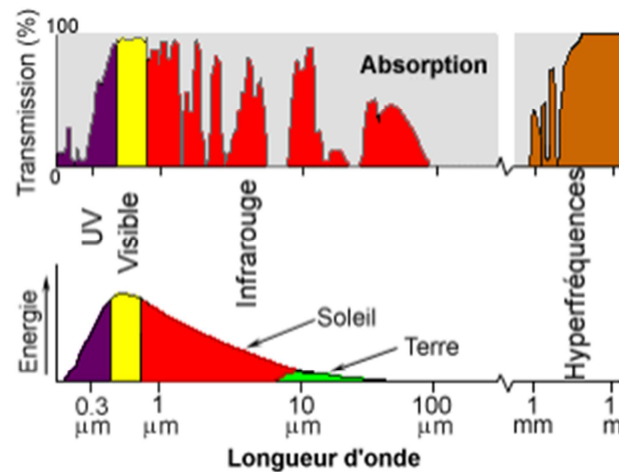


Figura 1 Representación de la cantidad de energía y porcentaje de transmisión según longitud de onda de la radiación incidente. Tomado de Centre canadien de cartographie et d'observation de la Terre (2016).

En términos de energía, para el valor de 1,5 de masa de aire, la luz del sol en el área de la superficie de la Tierra, es de alrededor de 52 a 55 por ciento de infrarrojos (por encima de 700 nm), 42 a 43 por ciento visible (400 a 700 nm), y 3 a 5 por ciento ultravioleta (por debajo de 400 nm), sumando un mínimo de 97 % del total de la radiación. (<http://redc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/>)

Por su parte Ponzoni y Shimabukuro (2009) indican que la mayor intensidad del flujo radiante ocurre en la región de luz visible, radiación fotosintéticamente activa (PAR), representando entre 45 a 55 % de la energía total, en tanto que la región del IR cercano (0,72 a 1,10 μm) e IR medio (1,10 a 3.20 μm) representa entre el 36 y el 51 % de la energía incidente, según el grado de nubosidad.

La radiación solar incidente a nivel de la tierra determina el potencial máximo de producción de los cultivos, junto a otros factores como el CO₂, el genotipo y la temperatura, Rabbinge (1993).

Los efectos del aporte de energía sobre la vid, como luz o calor, han sido objeto de numerosos estudios. Buttrose (1969) determinó que la disponibilidad de luz aumenta la producción de materia seca, en tanto que Smart (1989) demostró que la radiación solar tiene un efecto dominante sobre la fisiología de la vid actuando a través de la fotosíntesis, los sistemas de respuesta térmica y fitocromo.

El peso de este factor sobre la producción vitivinícola llevó a que Bois *et al.* (2008), realizaran un estudio de la variación espacial y temporal de la radiación solar en la región vinícola de Burdeos. En base a la información de imágenes del satélite Meteosat para el período 2001-2005 y su interpolación con datos diarios, se produjeron mapas de radiación solar horizontal con una resolución espacial de 500 m, que luego se integró con un modelo digital de terreno de 50 m de resolución. La cartografía para el período analizado muestra un gradiente de disminución de la radiación de oeste a este. Los valores medios obtenidos para agosto a septiembre (HN) se utilizaron para clasificar la región vitivinícola en tres zonas de: baja, media y alta radiación solar. El desarrollo vegetativo y potencial de maduración, de las diferentes zonas de denominación de origen de las regiones vitivinícolas de Burdeos, se discuten en relación con esta zonificación, donde existe una fuerte incidencia de las pendientes del terreno y orientación, que inducen variaciones considerables dentro de la parte oriental de la región.

Los efectos de la irradiación solar, y otros elementos del clima, sobre la cantidad y calidad del vino, fueron analizados por Makra *et al.* (2009) para la región vinícola de Tokaj, Hungría, concluyendo que la cantidad y distribución de horas de sol durante el ciclo productivo condiciona la cantidad y calidad de la vendimia.

Estos resultados ponen de relieve la necesidad de una cartografía de alta resolución de la radiación solar, que aporte a la comprensión científica del impacto sobre el balance hídrico del viñedo, el desarrollo de la vid y la maduración de la baya.

En el año 2011 la Facultad de Ingeniería (UDELAR) presentó el Mapa Solar del Uruguay (Abal *et al.*, 2011) con importantes conclusiones sobre la distribución espacial y temporal de la irradiancia en el territorio nacional. La metodología seguida

consistió en el uso de la correlación de Angstrom-Prescott entre los promedios normalizados de irradiación y heliofanía. Se realizaron mapas mensuales y uno anual, con una resolución espacial de entre 10 km y 30 km, trazando isolíneas de irradiación. Los resultados indican que los valores medios de irradiación global estimados para el territorio nacional varían entre $2,1 \pm 0,4 \text{ kWh/m}^2$ en junio y $6,7 \pm 0,9 \text{ kWh/m}^2$ para enero, con un promedio anualizado de $4,4 \pm 0,7 \text{ kWh/m}^2$.

A partir del modelo UM-SBR (Pinker and Laszlo, 1992) se realizó un mapa solar basado en información satelital a los efectos de compararlo con el obtenido a partir de medidas en Tierra, mostrando una muy buena concordancia entre ambos estimativos, dentro del margen de error de ambos modelos.

La evolución temporal de la irradiancia tiene importantes variaciones a lo largo del año, independientemente de la latitud, en particular para los meses de Enero y Febrero. Abal *et al.* (2011) demostraron que la irradiancia en la costa del Río de la Plata disminuye de oeste a este.

La magnitud de la irradiancia brinda información de la cantidad de luz y calor que puede recibir una planta en un momento y lugar determinado, por lo tanto constituye una variable de primer orden en una zonificación vitícola, aportando elementos clave para comprender la evolución fenológica, el potencial de producción de biomasa y la composición de la baya.

En esta sección se presentan los resultados de la estimación de irradiancia para seis sitios vitícolas de la costa a partir de imágenes del satélite GOES, realizadas con el objetivo de determinar si existen diferencias entre zonas, generar elementos que permitan interpretar el efecto año y aportar información que luego será correlacionada con variables climáticas de cada uno de los ciclos productivos 2011 a 2014.

2.2.2 Materiales y métodos

La irradiación solar se estimó en el Laboratorio de Energía Solar (LES/UDELAR), Instituto de Física, Facultad de Ingeniería, UDELAR, utilizando imágenes del satélite GOES.

Los estimativos se generaron utilizando el modelo satelital BD-JPT para calcular la irradiación global horaria a nivel del suelo. El mismo se trata de una modificación realizada por Alonso-Suárez *et al.* (2012) al modelo de Justus, Paris y Tarpley (modelo JPT), Justus *et al.* (1986), que incluye una dependencia de brillo en sus parámetros. Dichos parámetros fueron ajustados para el territorio uruguayo usando medidas de calidad controladas por LES /UDELAR.

Se estimaron valores diarios y mensuales para el período 01/2010 a 03/2014 y valores medios mensuales históricos para el período 01/2000 a 03/2014.

La ubicación de los sitios y parcelas corresponde a las siguientes coordenadas:

Cuadro 1 Ubicación de los sitios de estudio y parcelas de viñedos.

Sitio	Parcela/s	Latitud S	Longitud W
Colonia del Sacramento, Colonia	1 (o DAG) 2 (o BAR)	34° 23'	57° 51'
Mal Abrigo o Sierra Mahoma, San José	3 (o SM)	34° 07'	56° 56'
Juanicó, Canelones	4 (o JUANICÓ)	34° 37'	56° 15'
Punta de Yeguas, Montevideo	5 (o ROD)	34° 53'	56° 19'
Atlántida, Canelones	6 (o ATLA A) 7 (o ATLA B)	34° 4'	55° 48'
Laguna del Sauce-Valle Edén, Maldonado	8 (o ALB) 9 (o LS)	34° 44'	55° 01'

La irradiancia se expresa en MJ/m², tanto para valores diarios como mensuales.

La incerteza declarada corresponde, para valores diarios: ~ 7 % de la media del estimado, para valores mensuales a ~ 5 % de la media del estimado y para valores históricos a ~ 2 % de la media del estimado.

A partir de la información generada se calculó la irradiación recibida en cada uno de los sitios en el período setiembre-marzo, o fracciones del mismo de acuerdo a fecha de envero y cosecha. Se comparó entre o dentro de ciclos productivos.

Para la estimación no se tomó en cuenta la topografía, en el entendido de que el ángulo correspondiente a la altura solar no cambia de manera significativa. En todos los casos la inclinación del terreno en las parcelas de ensayo es inferior a 6 ° (10.5 % de pendiente) y en su mayoría inferior a 3 ° (5,2 % de pendiente).

Se analizó la correlación entre los valores de Irradiancia media diaria de Juanicó y Colonia con variables climáticas de las mismas zonas entre 01/01/2010 a 31/03/2014 . La información de las variables climáticas fue tomada del banco de datos agroclimático de INIA, GRAS, para las estaciones meteorológicas ubicadas en Las Brujas (Latitud 34°40'S, Longitud 56°20' W) y La Estanzuela (Latitud 34°20'S, Longitud 57°41' W), según normas de OMM.

El análisis estadístico se realizó con ayuda del software INFOSTAT 2010.

2.2.3 Resultados

Se contruyeron rectas de regresión entre la irradiación solar y distintas variables (cuadro 2).

Cuadro 2 Regresión entre irradiación y variables climáticas. Variable regresora : Irradiación media ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{día}^{-1}$)

(Y) Regresión Irradiación diaria con :	R ²	Recta regresión	N	Valor p
Temperatura media diaria °C	0.39	Y= 9.98 + 0.40x	3102	<0.0001
Temperatura Máxima diaria °C	0.48	Y= 13.73 + 0.51x	3102	<0.0001
Temperatura mínima diaria °C	0.18	Y= 7.23 + 0.27x	3102	<0.0001
Evapotranspiración «Penman» (mm)	0.80	Y= -0.28 + 0.21x	3102	<0.0001
Humedad relativa (%)	0.40	Y= 86.91 - 0.82x	3102	<0.0001
Heliofanía (horas)	0.71	Y= 0.86 + 0.39x	3102	<0.0001

Se verifica alta correlación entre Irradiancia y Evapotranspiración « Penman » (ETo) ($R^2=0,80$) y entre Irradiancia y Heliofanía ($R^2=0,71$), esperable porque la estimación contiene en su fórmula de cálculo la variable dependiente de la regresora. La ETo incluye la irradiación en el numerador de la fórmula, en tanto que la estimación de la irradiación incluye la Heliofanía, además de otros factores. El valor de R^2 entre Irradiación y Heliofanía sube a 0,76 cuando el ajuste es con un polinomio de fórmula:

$$y = 6,55 + 0,18x + 0,13x^2.$$

La temperatura máxima media diaria registra la mayor correlación de la serie de las temperaturas ($R^2=0,48$), en tanto que la Humedad Relativa también tiene un buen ajuste con la irradiación ($R^2 = -0,40$) pero de signo negativo.

La temperatura mínima, por su ocurrencia durante la noche, presenta baja correlación con la Irradiación solar. Los coeficientes de “x” en las rectas de regresión, tienen los valores más altos para la Temperatura Máxima y la Humedad relativa (HR), por lo cual pequeños aumentos relativos en la irradiancia provocarán variaciones importantes en las variables climáticas.

Las rectas de regresión permiten estimar los valores esperados para variables climáticas. A modo de ejemplo : en un día de verano con irradiación media de 25 MJ/m², se espera una Temperatura Máxima de 26,48 °C, ETo de 4,97 mm y HR de 66,41%

2.2.3.1 Efecto año

El análisis interanual de la irradiación permitió analizar las condiciones básicas en la que se desarrolló la producción vitícola, así como la incidencia sobre el rendimiento y la composición de la baya. A tales efectos se presentan los valores de irradiación media diaria para cada ciclo productivo, entre el 1° de setiembre al 31 de marzo del año siguiente, para los ciclos productivos 2011, 2012, 2013 y 2014. La información de cada ciclo corresponde al promedio de seis sitios.

Cuadro 3 Intervalo de confianza (95%) para valores de irradiación diaria desde setiembre a marzo, durante los ciclos productivos 2011, 2012, 2013 y 2014. Los valores son promedios de seis sitios de la costa.

Irradiación	AÑO			
	2011	2012	2013	2014
Media (MJ/m ² /día)	22,36	22,49	21,20	20,59
Mínimo (MJ/m ² /día)	20,88	21,07	19,69	19,27
Máximo (MJ/m ² /día)	23,84	23,91	22,71	21,91
DE	4,89	4,71	5,00	4,37
CV	21,89	20,96	23,56	21,22

Los resultados muestran una gran variabilidad entre años, con coeficientes de variación que oscilan entre 20,96 % en 2012 y 23,56 % para 2013. Los valores de energía fueron superiores en los ciclos 2012, 2011 y el más bajo en 2014.

La distribución de la irradiación mensual promedio durante los cuatro años de ensayo, permite tener una visión inicial general de la evolución de las condiciones durante el ciclo productivo en la costa del Río de la Plata (cuadro 4).

Cuadro 4 Intervalo de confianza (95 %) para valores de irradiación media diaria mensual en los ciclos productivos 2011, 2012, 2013 y 2014.

Irradiación	Mes						
	9	10	11	12	1	2	3
Media MJ/m ² /día	14,52	18,69	24,4	27,42	26,53	21,28	18,78
Mínimo MJ/m ² /día	14,02	17,77	23,55	26,82	25,54	20,24	18,51
Máximo MJ/m ² /día	15,02	19,61	25,25	28,02	27,52	22,32	19,05
DE	1,26	2,29	2,13	1,5	2,47	2,61	0,67
CV	8,67	12,26	8,72	5,48	9,32	12,24	3,54

Los meses de mayor irradiación promedio son diciembre (27.42 MJ/m²/día), mes en el que se produce el Solsticio de Verano y enero (26,53 MJ/m²/día). La variabilidad entre meses de distintos años fue importante, pero en menor proporción que la variabilidad que se registró entre años.

Los meses con mayor coeficiente de variación fueron octubre (12,26%) y febrero (12,24%). Los más estables fueron marzo (3,54 %) y diciembre (5,48 %). Para mayor detalle se presentan los valores de irradiación medios diarios mensuales para cada ciclo y seis sitios.

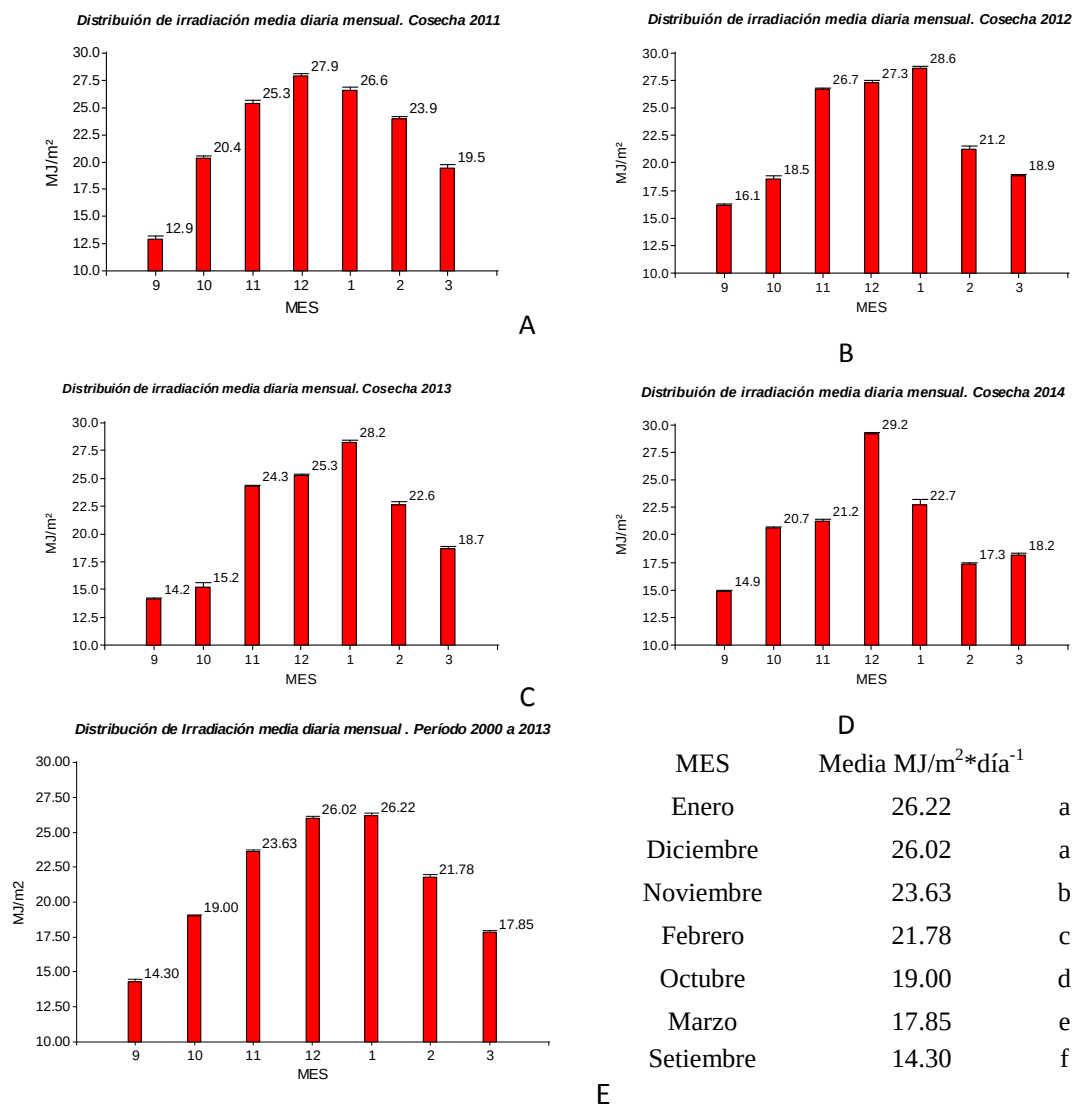


Figura 2 Irradiación media diaria mensual para las cosechas 2011 (A), 2012 (B), 2013 (C), 2014 (D) y promedio histórico del período 2000 a 2013 (E). A la derecha de (E) se presenta ANOVA de serie histórica, mediante Tuckey ($p < 0.05$) Medias con una letra común no son significativamente diferentes. Cada valor corresponde al promedio de los seis sitios de la costa.

Los valores promedios de los seis sitios, según mes y ciclo, mostraron una evolución diferente según el año. En el ciclo 2011 se destacó un inicio con baja irradiación y un aumento importante en octubre; también se caracterizó por valores generales de alta energía y el mayor registro para el mes de febrero de los cuatro

años. El ciclo 2012 se distinguió por alta irradiación desde setiembre a enero, exceptuando octubre que presenta un valor inferior a la serie histórica de 0,5 MJ/m²/día.

El período productivo 2013 comenzó con valores bajos de irradiación en el mes de Octubre y valores normales en el resto de período, con un máximo en el mes de enero.

El período 2014 tiene valores de irradiación muy bajos en noviembre, enero y febrero.

2.2.3.2 Efecto año x sitio

Los resultados de irradiación discriminados año y sitio permiten analizar las condiciones globales en las cuales se desarrolló la producción de cada ciclo y cada viñedo.

Los valores medios de irradiación diaria por sitio de los cuatro años, no muestran diferencias significativas, pero marcan una tendencia geográfica con valores que disminuyen desde el W al E. (Figuras 3 y 4)

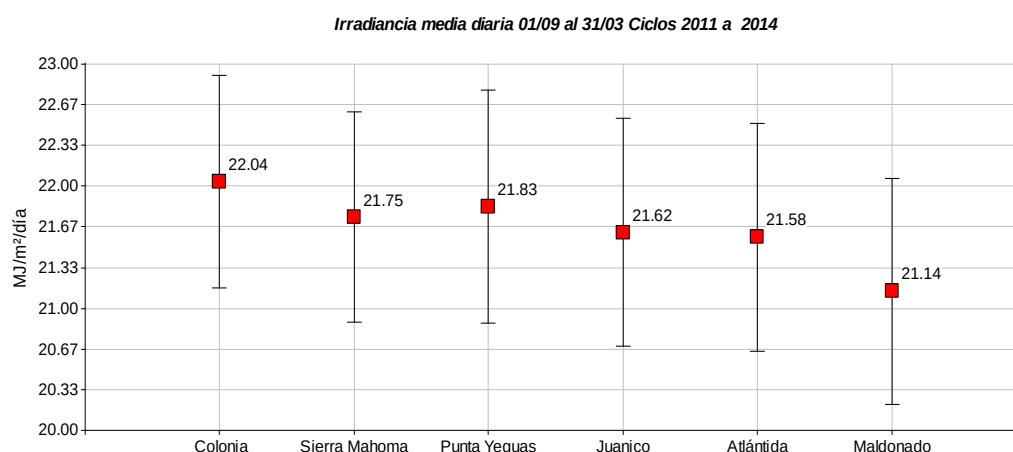


Figura 3 Estimación de la Irradiación solar media diaria entre el 01/09 y 31/03, años 2011 a 2014. Los valores medios que se presentan no son significativamente diferentes ($\alpha= 0.05$). Referencias geográficas: Colonia= Parcelas 1 y 2; Sierra Mahoma=Parcela 3; Juanicó= Parcela 4; Punta Yeguas=Parcela 5; Atlántida=Parcelas 6 y 7; Maldonado=Parcelas 8 y 9

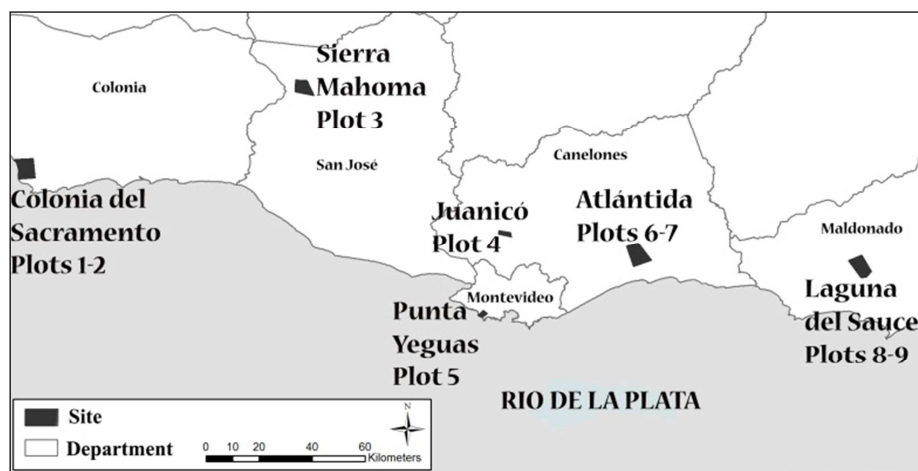


Figura 4 Ubicación de los seis sitios de ensayo en la costa del Río de la Plata

La comparación de los valores de irradiación media diaria 2011 a 2014, con los datos históricos del período 2000 a 2013 muestran una tendencia similar entre sitios y magnitudes superiores para el período del ensayo en relación a la serie más larga. En el período 2011 a 2014 Colonia marca el registro más alto, en tanto que en la serie histórica Punta Yeguas presenta un valor medio de irradiación ligeramente superior a Colonia (figura 5).

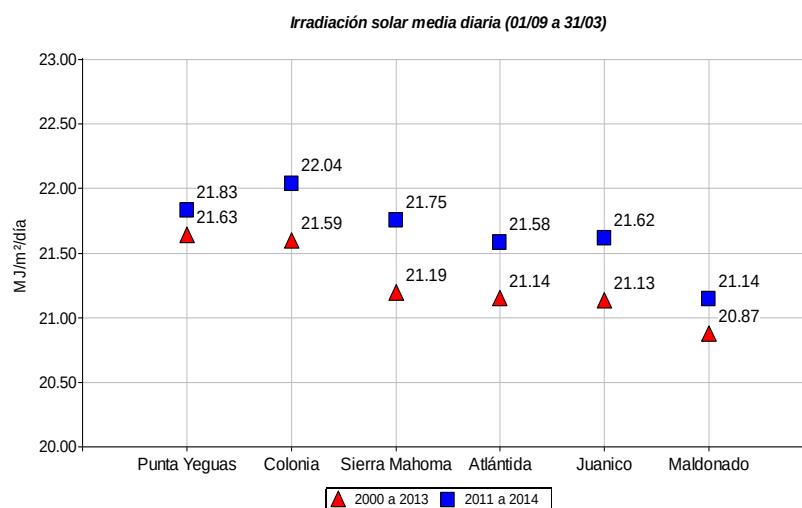
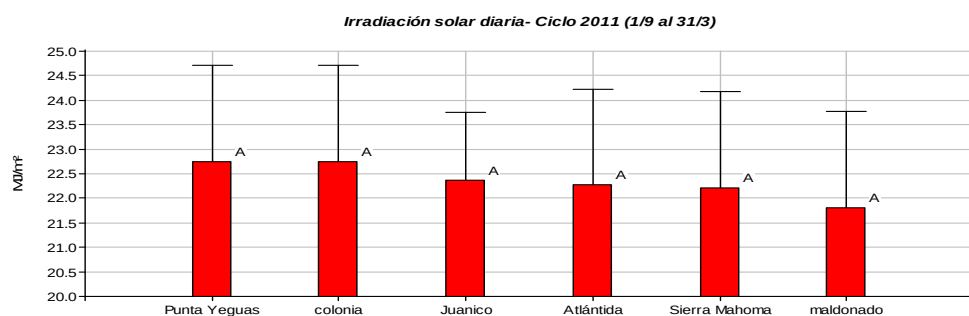


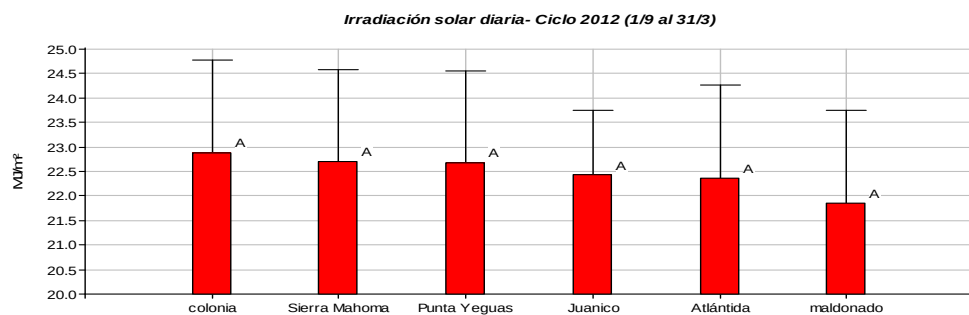
Figura 5 Comparación de dos series de valores de irradiación media diaria según sitio, en el período setiembre a marzo. Serie correspondiente al ensayo, años 2011 a 2014 y serie histórica años 2000 a 2013. Referencias geográficas: Colonia= Parcelas 1 y 2;

Sierra Mahoma=Parcela 3; Juanicó= Parcela 4; Punta Yeguas=Parcela 5; Atlántida=Parcelas 6 y 7; Maldonado=Parcelas 8 y 9

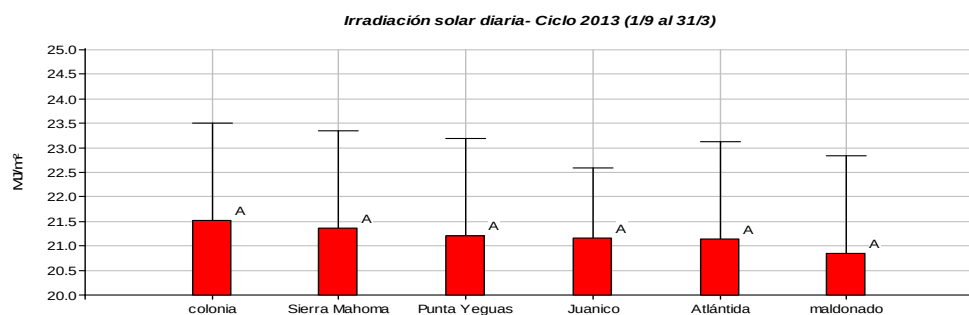
En las figura 6 se presentan las estimaciones de irradiación media diaria para cada uno de los sitios y ciclo de producción (2011 a 2014). En cada ciclo se consideran los meses de setiembre a marzo del año siguiente.



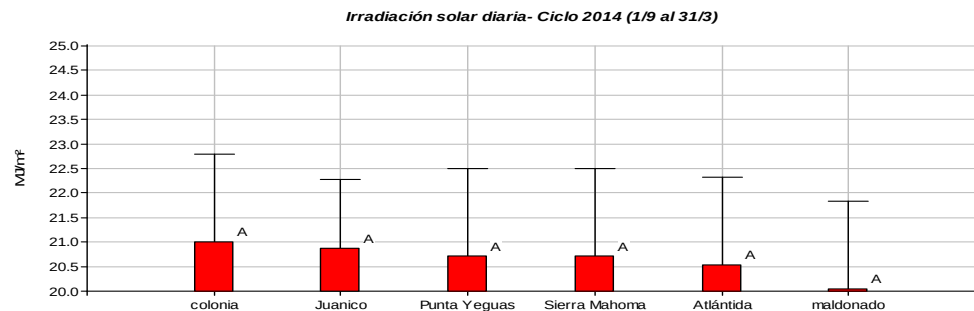
A



B



C



D

Figura 6 Análisis de varianza de la irradiación solar media diaria (MJ/m²/día) entre el 01/09 y 31/03, según sitio. Test de Tuckey ($\alpha=0.05$) Columnas con igual letra no muestran diferencias significativas. Referencias: A cosecha 2011; B cosecha 2012; C cosecha 2013, D cosecha 2014. Referencias geográficas: Colonia= Parcelas 1 y 2; Sierra Mahoma=Parcela 3; Juanicó= Parcela 4; Punta Yeguas=Parcela 5; Atlántida=Parcelas 6 y 7; Maldonado=Parcelas 8 y 9

Del mismo modo que el análisis de promedio de años por sitio, los resultados del ANOVA de radiación anual y entre sitios, no muestra diferencias significativas, pero se observa la misma tendencia entre los extremos geográficos de oeste a este. En general predominan valores superiores en Colonia e inferiores en Maldonado. La zona de Atlántida siempre presenta valores superiores a Maldonado. Punta Yeguas se ubica con la mayor irradiación en 2011 para luego posicionarse en el tercer lugar en los años subsiguientes. Juanicó ocupa una posición media coherente con la tendencia W-E, a excepción en el año 2014 de menor energía recibida, ocupando el segundo lugar. En el caso de Sierra Mahoma, en 2012 y 2013 se ubica en una posición coherente con la tendencia W-E, sin embargo esto no acontece en los ciclos 2011 y 2014.

Un mayor detalle se ofrece en la Figura 7, en la que se presentan los resultados de irradiación por ciclo, mes y sitio, confirmando los datos analizados anteriormente. Los meses de febrero, octubre y enero con mayor variabilidad, presentan dentro de cada mes un rango de distribución de valores de energía que sigue la tendencia general de W a E del territorio.

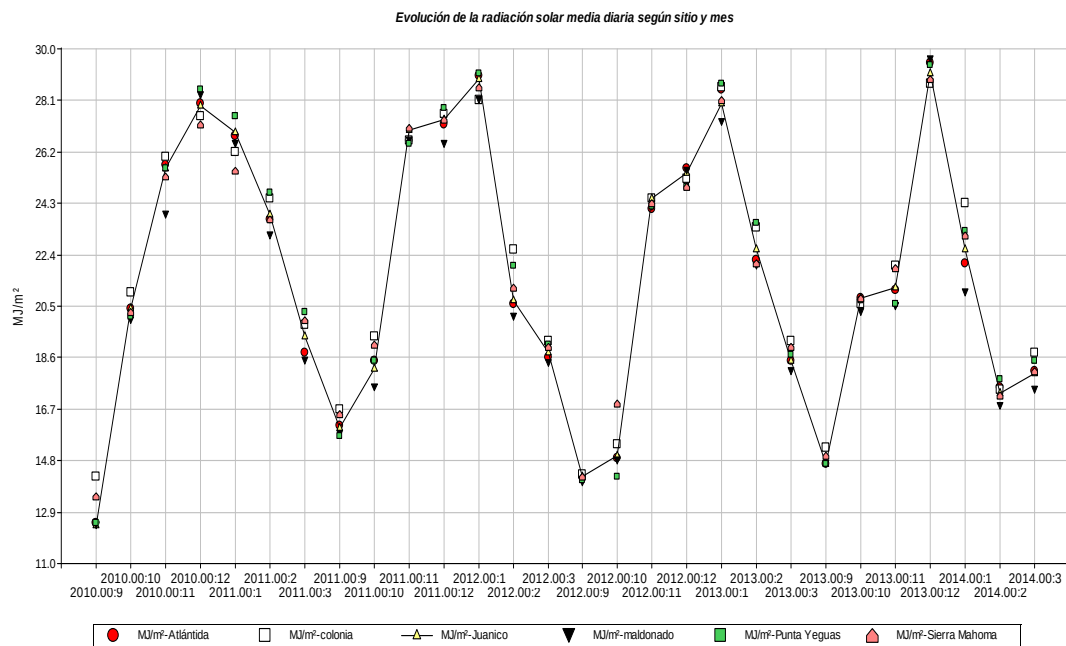


Figura 7 Evolución de la irradiación media diaria mensual (setiembre a marzo) según sitio para las zafas 2011, 2012, 2013 y 2014. En el eje de las abscisas, los cuatro primeros dígitos indican el año y los dos últimos el mes. Referencias geográficas: Colonia= Parcelas 1 y 2; Sierra Mahoma=Parcela 3; Juanicó= Parcela 4; Punta Yeguas=Parcela 5; Atlántida=Parcelas 6 y 7; Maldonado=Parcelas 8 y 9

2.2.3.3 Irradiación acumulada a cosecha por parcela

En el cuadro 5 se presentan los valores de irradiación acumulados a cosecha para cada una de las nueve parcelas de ensayo y para cada ciclo productivo. Aun perteneciendo a la misma región, con igual valor de irradiación, la extensión del ciclo y la fecha de cosecha determinan diferencias de irradiación acumulada entre parcelas. Los valores corresponden a las parcelas y años donde efectivamente se cosechó.

Cuadro 5 Irradiación acumulada por parcela de ensayo entre distintos momentos del ciclo productivo. (“AÑO” refiere al año de cosecha)

Sitio	Parcela (Nº-Sigla)	Año	Irradiancia acumulada (MJ/m ²)		
			01 Setiembre a Cosecha	01 Enero a Cosecha	Envero Cosecha
ATLANTIDA	6-ATLA ALTO	2011	4345,20	1703,00	960,50
ATLANTIDA	7-ATLA BAJO	2011	4345,20	1703,00	1057,70
JUANICÓ	4-JUANICÓ	2011	4350,80	1707,00	844,70
ATLANTIDA	6-ATLA ALTO	2012	4303,50	1607,77	708,32
ATLANTIDA	7-ATLA BAJO	2012	4303,50	1607,77	816,34
COLONIA	1-BAR	2012	4282,50	1526,77	656,08
COLONIA	2-DAG	2012	4282,50	1526,77	684,48
JUANICÓ	4-JUANICÓ	2012	4238,40	1536,12	576,98
MALDONADO	8-ALB	2012	4270,18	1634,41	744,72
MALDONADO	9-LS	2012	4270,18	1634,41	616,20
PUNTA YEGUAS	5-ROD	2012	4390,29	1690,10	603,93
ATLANTIDA	6-ATLA ALTO	2013	3809,40	1404,90	638,1
ATLANTIDA	7-ATLA BAJO	2013	3689,60	1285,10	581,0
COLONIA	1-BAR	2013	3848,90	1426,30	652,00
COLONIA	2-DAG	2013	3704,20	1281,60	594,70
JUANICÓ	4-JUANICÓ	2013	3861,50	1448,10	580,10
MALDONADO	8-ALB	2013	3695,60	1300,30	633,40
MALDONADO	9-LS	2013	3882,70	1487,40	506,50
PUNTA YEGUAS	5-ROD	2013	3748,30	1387,20	645,70
SM	3-SM	2013	3700,10	1249,30	551,70
COLONIA	1-BAR	2014	4073,60	1426,30	747,00
COLONIA	2-DAG	2014	4073,60	1426,30	805,50
JUANICÓ	4-JUANICÓ	2014	3637,00	1013,10	664,90
MALDONADO	8-ALB	2014	3947,90	1345,00	743,40
MALDONADO	9-LS	2014	3947,90	1345,00	721,90
PUNTA YEGUAS	5-ROD	2014	3639,60	1027,50	346,90
SM	3-SM	2014	3639,40	991,70	395,90

La irradiación acumulada del ciclo 2011 fue superior durante las tres etapas estudiadas. El año 2012 le siguió con la mayor magnitud de los registros en los períodos setiembre a cosecha y enero a cosecha, pero la acumulación de energía entre envero y cosecha fue menor debido al corto período transcurrido. En las zafras

2013 y 2014 existieron diferencias en la acumulación de energía entre sitios, determinadas fundamentalmente por la fecha de cosecha.

2.2.4 Discusión

Se verificó la correlación entre Irradiación y variables climáticas, de acuerdo a lo expresado por Murphy y Hurtado (2011). Para la temperatura, ETo y Heliofanía la correlación fue de signo positivo, en tanto que con la HR fue de signo negativo. En cuanto a las temperaturas, el ajuste superior fue con la variable temperatura máxima. La temperatura mínima, que obviamente tiene baja correlación con la irradiación solar, estaría más influenciada por la presencia cercana de grandes masas de agua y el viento. La temperatura mínima se registra en el momento en que pierde potencia el efecto de la brisa marina, por lo cual a diferencia de otras variables, la influencia de la radiación solar parece tener menos peso que la “continentalidad” del sitio.

Teniendo en cuenta que la estimación de Irradiancia corresponde a promedios diarios, durante la mañana y la tarde, cuando los valores de energía recibida son menores, encontraremos valores de HR más altos, así como registros más bajos de temperatura máxima, temperatura media y evapotranspiración.

La estimaciones de irradiación en la zona costera mediante utilización de imágenes satelitales, entre el 1° de setiembre y el 31 de marzo, muestran una tendencia de disminución de Oeste al Este, por lo cual, para un mismo período es esperable una mayor acumulación de energía en Colonia que en Maldonado. Estos valores son coherentes con el mapa solar del Uruguay elaborado por Abal *et al.* (2011) y con los resultados obtenidos por Bois *et al.* (2008) para la región de Burdeos, en la que también existe un gradiente de irradiación que disminuye de W a E.

La excepción a esta tendencia está dada por la zona de Punta Yeguas en el departamento de Montevideo, situada geográficamente en el centro. Para esta región se estimaron valores de irradiación iguales o superiores a Colonia, a pesar de ubicarse en una latitud más alta, con una diferencia de aproximadamente +0° 30' Sur (55 km al sur). Es posible que en esta zona, ubicada sobre la costa (parcela de ensayo

a 800 m del estuario), se generen condiciones atmosféricas particulares que favorezcan una mayor heliofanía en el período del año que se analiza. Además de la escasa distancia a la costa, debe tenerse en cuenta que esta parte del Río de la Plata, límite entre la zona media y exterior del estuario, tiene una exposición marítima muy grande. En dirección Sur las masas continentales recién se encuentran a 3200 km (Antártida) y en dirección Este a 6600 km (Sudáfrica).

Los resultados muestran gran variabilidad entre años (CV de 20,96 % a 23,56%). Los ciclos 2011 y 2012 fueron ligeramente similares y con niveles de irradiación promedio que superaron a 2013, en tanto que 2014 constituye el año con menor irradiación de la serie.

De acuerdo a Buttrose (1969), Smart (1989) y Makra *et al.* (2009), es esperable que las diferencias en la irradiación generen condiciones más o menos favorables para la acumulación de biomasa, el rendimiento y la composición de la baya.

Sin embargo, no solo es importante el promedio sino su distribución a lo largo del ciclo productivo. La dinámica anual de la irradiación condiciona el desarrollo de los sub ciclos vegetativo y reproductivo, que tienen su expresión en el desarrollo fenológico, en el rendimiento y la composición a cosecha. En las zafras 2011 y 2014 los valores más altos de irradiación se verificaron en el mes de diciembre, en tanto que en 2012 y 2013 ocurrieron en el mes de Enero. La dinámica de la irradiación mensual permitiría definir un “perfil” de cada año ya que, los cambios que se suceden de un mes a otro, pueden generar diferencias en la tasa de crecimiento de pámpanos, en el desarrollo de hojas, en el tamaño de bayas, etc. También pueden generar condiciones más o menos favorables para la maduración de acuerdo a las diferencias de irradiación entre Enero y Febrero, siempre y cuando los niveles de energía no supongan condiciones de estrés fuerte hídrico térmico. Por ser Febrero el mes con mayor variabilidad entre años (CV de 12,24%) y durante el cual transcurre la mayor parte del período de maduración de la uva en la zona costera, la velocidad en la síntesis y degradación de compuestos en la baya y en consecuencia la cosecha, serían altamente dependientes de la irradiación acumulada en ese mes. Este

hecho está asociado a la luz y temperatura necesarias para los procesos de fotosíntesis, respiración, síntesis de antocianos y compuestos aromáticos en la baya. Esta situación es coherente con el índice de frescor nocturno (IF) o temperatura mínima media del mes previo a la cosecha, según lo propuesto por Tonietto (1999), que depende parcialmente de la irradiación y tiene correlación con la concentración de componentes aromáticos y antocianos en la baya.

De acuerdo a la correlación demostrada entre Irradiación con Temperatura, Humedad Relativa y Heliofanía, podría esperarse que un mes con niveles de energía elevados en relación a su media, se corresponda con mayor cantidad de días despejados y cálidos. Por el contrario, niveles de irradiación por debajo de la media, darían la pauta de un mes más frío y con mayor presencia de humedad. Según esta premisa, febrero de 2011 (23,9 MJ/m²/día) debería ser seco y cálido, en tanto que febrero de 2014 (17,3 MJ/m²/día) húmedo y frío.

La comparación con datos climáticos de estaciones ubicadas en tres de las seis regiones de referencia confirman lo expresado. (Cuadro 6)

Cuadro 6 Irradiación solar y variables climáticas del mes de Febrero en dos años contrastantes de tres regiones de la costa. Los datos de Temperatura Media, %HR y Precipitación para Colonia y Juanicó fueron obtenidos de las Estaciones Meteorológicas de INIA La Estanzuela e INIA Las Brujas, y para Atlántida de Estación Davis instalada en Empalme Olmos.

Sitio	Período	Irradiación MJ/m ² /día	Temp. Media °C	% HR	Precipitación mm
Colonia	Febrero. 2011	24,50	22,46	68,25	81,30
Colonia	Febrero 2014	17,40	21,42	82,96	301,20
Juanicó	Febrero. 2011	23,90	22,18	65,25	48,30
Juanicó	Febrero 2014	17,30	21,43	76,50	304,40
Atlántida	Febrero. 2011	23,70	22,25	79,00	45,61
Atlántida	Febrero 2014	17,50	21,61	84,33	244,80

Particular atención debe ponerse en la irradiación recibida durante el mes noviembre, durante el cual ocurre la floración y cuajado en la región costera.

Contemporánea con la floración transcurre el proceso de inducción, con fuerte dependencia de la luz recibida (cita). Un año con poca irradiación en el mes de noviembre, mal manejo de la canopia y exceso de disponibilidad hídrica, pueden determinar una merma en la producción de uva del ciclo siguiente. El promedio de irradiación de noviembre de los cuatro años fue de 24,37 MJ/m²/día, correspondiendo el valor más alto al período de floración de la zafra 2011 ($\pm$ 2,33 MJ/m²/día) y el más bajo a la zafra 2014 (-3,17 MJ/m²/día).

El estudio de acumulación de energía a cosecha muestra grandes diferencias según el año, sitio y manejo gestión de la canopia. En ocasiones, la decisión del viticultor de dilatar la cosecha para alcanzar su objetivo productivo, compensa el déficit de acumulación de energía de una región o un año en particular (reflejado en la composición de la uva). Las condiciones sanitarias del viñedo o la presencia de eventos extremos (granizo, vientos), pueden ocasionar una cosecha anticipada, sin alcanzar la madurez tecnológica deseada, implicando una menor acumulación de energía.

La diferencia de irradiación entre puntos extremos: Colonia-Maldonado revelan una diferencia promedio de 3,5 %. Teóricamente equivaldría a una diferencia de 6 a 7 días más en la fecha de cosecha en Maldonado con respecto a Colonia o una reducción de aproximadamente 0,4 ° a 0,5 ° de alcohol probable, si la cosecha se realiza en la misma fecha.

En el territorio nacional existe un gradiente en la duración del ciclo de producción vitícola, que aumenta de N-S y de W-E. Hasta el momento estas diferencias se explicaban básicamente por la latitud y la temperatura, pero a la luz de estos resultados entendemos que las diferencias en la distribución de irradiación solar son la principal fuente de variabilidad.

Del mismo modo que en el trabajo de Bois *et al.* (2008) la irradiancia permitió diferenciar zonas en la costa del Río de la Plata.

2.2.5 Conclusiones

Los sitios y los años mostraron diferencias en la irradiación durante el ciclo del cultivo, con una tendencia a disminuir de W-E más marcada en los meses de verano.

Se introduce la irradiación solar como un elemento básico en la zonificación vitícola, observándose diferencias (tendencia) en los valores de energía recibidos, aún sobre latitudes similares.

La medición de la evolución de este factor puede constituir un nuevo concepto para caracterizar una vendimia y una zona de producción, brindando elementos para la interpretación científica de los procesos fisiológicos que determinan el rendimiento, la calidad de la cosecha y los atributos del vino y constituirse en soporte para la propuesta de técnicas de cultivo ajustadas a cada sitio.

2.3 SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF SOLAR IRRADIATION IN RÍO DE LA PLATA COAST AND ITS RELATIONSHIP WITH CLIMATE VARIABLES OF INTEREST FOR VITICULTURAL PRODUCTION¹

2.3.1 Abstract

The current article investigates the relationships between solar irradiation and other climate variables of interest for viticulture; as well as with climate indexes used worldwide for viticultural zoning. Global solar irradiation was estimated through satellite imagery and, from this, photosynthetically active radiation (PAR) was calculated using a diffuse fraction model. Data were examined for six viticultural regions distributed along the Río de la Plata coastline, in South Uruguay for vintages 2011 to 2014. Results showed that available solar energy decreases from west to east in the coastline. Interannual variability is greater than spatial variability. Significant correlations were found between solar irradiation and reference evapotranspiration ($R^2=0.80$), sunshine duration ($R^2=0.71$), maximum ($R^2=0.48$) and mean temperature ($R^2=0.39$). A negative relationship was found for relative humidity ($R^2=0.40$). Energy accumulation over the growing period showed a similar behaviour to the Adapted Heliothermal Index ($R^2=0.98$), whereas mean daily irradiation for February was negatively correlated with the adapted Dryness Index ($R^2=0.53$). At the vineyard scale, a relationship between PAR and global solar irradiation of 48.3% was determined. Due to the limitation to the use of solar energy imposed by high temperatures, the amount of energy used by the vineyard represented a 34.3% of the global solar irradiation. Satellite images allowed for an accurate estimation of solar irradiation in locations where no ground observations are available. Moreover, this information can be used for viticultural zoning and for determining interannual variation of environmental conditions and for analyzing their influence on plant development and vintage quality.

Keywords: Solar Irradiation, Satellite Images, PAR Estimation, Multicriteria Climate Classification System, Río de la Plata, Viticulture

¹ Echeverría G, Ferrer M, Alonso-Suárez R, Mirás-Avalos J (2016) "Spatial and temporal distribution of solar irradiation in Río de la Plata as estimated by satellite imagery. Relationships with climate variables". *International Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 2016; 3(4): 22-33)

2.3.2 Introduction

In all viticultural regions, the effect of climate conditions on wine quality is widely recognized. Climate conditions vary in time and space. The effect of the annual climate variations is known as "vintage effect" [1]. In fact, wine sensory profile has been reported to be influenced by its origin, the climatology of vintage and wine-making techniques [2].

The effect of vintage on berry size and composition is very important and reported on a great number of works dealing with the impact of climatic conditions on the synthesis of berry quality components [3][4][5]. In addition, the effects of climate, soil, and cultivar have been found highly significant with regard to vine behaviour and berry composition. It is likely that the effects of climate and soil on fruit quality are mediated through their influence on vine water status [6]. In the production conditions of Uruguay, vintage effect is greater than that of cultivar or management practices [5].

Wine production in Uruguay occurs along the coastline of Río de la Plata, in a region 40 km wide and 300 km long, approximately. The five departments from the coastline held 93.8% of the vineyard surface in the country, with 97% of the national production [7]. This region presents particular climate conditions due to the ocean influence and its study might provide further insights on vine response, well as for proposing strategies for mitigating climate change effects. The Sea-Land Breeze, with great influence in the region studied, is a mesoscale response of the atmosphere to horizontal variations in surface heating that is associated with the temperature difference between land and sea [8], caused by solar irradiation.

In order to describe the climate conditions in which viticulture is developed worldwide, a Multicriteria Climate Classification System has been proposed [9]. This methodology is widely accepted for discriminating production regions on a climate

basis. With the aim of establishing objective criteria for viticulture zoning in Uruguay, Ferrer et al [10] adapted the indices used in the aforementioned system by modifying the analysis period and taking the potentially available water of the soil from its actual capacity for assessing soil water balance instead of using a standard value.

Solar irradiation on the surface is of paramount importance for many applications, such as calculating the radiative budget of the earth surface for climate studies, agrometeorology, hydrology, surface temperature interpretation and evaluation of crop yields [11].

The importance of solar energy on agricultural production transcends its indirect effect on climate, determines the maximum potential for crop production, along with factors such as CO₂, genotype and temperature [12]. Nevertheless, most of the studies about agricultural systems tend to analyze the effects of light and temperature separately [13], as if they were independent variables.

According to Ponzoni and Skimabukuro [14] and Goudriaan and Van Laar [15], the proportion of PAR on the incident global radiation varies from 45% under sunny conditions (diffuse fraction is 0.2) to 55% under overcast conditions (diffuse fraction is 1). Other relationships mentioned by several authors are between 42.2% and 52% [16] [17] [18].

The effects of solar energy (light or heat) on grapevine have been previously studied. Irradiation influences on the reference evapotranspiration (ET_o) [19] whereas PAR availability increases dry matter production [20]. Solar irradiation exerts a dominant effect on vine physiology through photosynthesis, thermal and phytochrome responses [13] thus affecting synthesis and degradation of chemical components in the berries. Increases in irradiation are associated to higher contents in soluble solids in the berries and lower malic acid concentrations [21]. Some authors reported a positive correlation between irradiation and anthocyanins synthesis [22], whereas others indicated that anthocyanin contents in the berries are the result of a combined effect between solar irradiation and berry temperature, synergistic at moderate temperatures but potentially antagonistic at high temperatures [23]. Environmental factors such as solar irradiation, air temperature and water shortage

parameters will interfere with the ratio acid/sugar, the aroma, color intensity and yield [24].

Direct measurements of solar irradiance can be obtained from pyranometers. The network of these instruments is not always sufficiently dense and measurements are not always reliable, in particular, their inter-calibration [11]. This is one of the main reasons why viticulture zoning based on solar irradiation is uncommon. However, from an image taken by a geostationary satellite it is possible to estimate solar irradiation on the earth surface with low uncertainty. These satellites are able to scan large portions of land, thus generating information with a temporal frequency of several images per hour, although with a moderate spatial resolution (1 km).

Open access satellite images allowed for multiplying the studies about hourly solar irradiation. In Bordeaux, the spatial and temporal variability of solar irradiation has been studied between 2001 and 2005 using information from Meteosat satellite. This showed a decreasing trend on solar irradiation from west to east [25]. Mean values obtained for August and September were used for dividing this viticulture region into three zones with low, medium and high solar irradiation. Terrain slopes and their orientation induced considerable variations on irradiation within the oriental part of the region. Vegetative development and maturation potential of the different zones within the Bordeaux Designations of Origin were discussed on the basis of the obtained zoning.

Other works based on the spatial distribution of the solar irradiation allowed for characterizing the regions of Valtellina, Lombardy [26] and Tokaj [27], correlating solar energy to the amount and quality of the harvest. These results highlight the need for mapping solar irradiation with high resolution, which would enhance the scientific knowledge about its impact on vineyard water balance, grapevine growth development and berry maturation.

Abal et al [28] presented the “Solar Map of Uruguay”, with conclusions about the spatial and temporal distribution of annual and monthly irradiation over the whole country. Mean global irradiation values vary between $2,1 \pm 0,4 \text{ kWh/m}^2$ in June and $6,7 \pm 0,9 \text{ kWh/m}^2$ in January, with an annual average of $4,4 \pm 0,7 \text{ kWh/m}^2$. Spatial

distribution of irradiation over the Uruguayan coast of Río de la Plata during the summer months shows a decreasing trend from west to east. This first map was made using the few irradiation records available in the country prior to 2010 and sunshine hours daily records acquired by the National Weather Service (INUMET, Uruguay). It was based only on ground measurements, which provides limited spatial and temporal resolutions. Both aspects can be greatly improved using satellite images. In Alonso-Suárez et al [29] a satellite-based model for hourly irradiation estimates was developed for Uruguay. This new information provided hourly records from 2000 to date with a 1 km spatial resolution and reduced uncertainty. For monthly values, the uncertainty of satellite model is ~4% and for long-term values is ~2% [30]. Estimates from this model have been used to develop the second version of Uruguay's first Typical Meteorological Year Meteorological Year for Solar Energy Applications [31].

The magnitude of solar irradiation provides information about the amount of light and heat that a plant can receive in a given period and location; therefore, it constitutes a first-rate variable for viticulture zoning, providing key elements for understanding phenological development, biomass production potential and berry composition [32].

In the current study, the spatial and temporal distribution of solar irradiation over viticulture areas on the left coast of the Río de la Plata are analyzed. The correlation between solar irradiation with temperature, ETo, relative humidity, sunshine duration and the indexes provided from the Multicriteria Climate Classification System were assessed. Finally, the amount of PAR at the vineyard scale was estimated and related to canopy temperature. As a practical application, reference parameters for characterizing the interannual variation were generated by determining solar irradiation intervals.

2.3.3 Materials and Methods

2.3.3.1 Estimation of Solar Irradiation, Temperature, Reference Evapotranspiration, Relative Humidity and Sunshine Duration

Solar irradiation was estimated using a satellite statistical model developed by the

Solar Energy Laboratory (LES) of UDELAR [29]. This model uses images from GOES-East satellite that are generated for South America each half hour, with a nominal spatial resolution of 1 km. The model is called BD-JPT and allows for calculating hourly global irradiation on the soil surface. It is a modification of the previous JPT model [33], by introducing a dependence on brightness on their parameters, which improved considerably its performance. Those parameters were adjusted to the Uruguayan territory by using measurements of controlled quality acquired by the measurement network of LES/UDELAR. This network uses first class or secondary standard pyranometers, according to the World Meteorological Organization [34]. These pyranometers are calibrated every two years against a secondary standard which is kept traceable to the primary standard in the World Radiation Center. The uncertainty of the model, assessed by comparison with measurements independent of those used for adjusting it, was 14% and 7% at the hourly and daily scale, respectively [29]. Both percentages are expressed with respect to the average of the estimated at each temporal scale. At the hourly scale, the uncertainty of the estimation from satellite is lower than that from interpolating ground data [35], except for when measurement sites are very close to the spot to be estimated (~35 km for satellite models at ~20%). At the daily scale, the uncertainty of the satellite model is similar to that from a first-class instrument located on the ground (7%).

Monthly and daily values were estimated for the period 01/2010 to 03/2014 and monthly averages for the period 01/2000 to 03/2014. For the study case, hourly irradiation was daily estimated from 05.01.2011 to 11.01.2011. Irradiation is expressed in MJ/m², both for monthly and daily values. Estimated irradiation values include the whole solar spectrum, from 310 nm to 2800 nm, and include ultraviolet (UV), visible (V) and near infrared (NIR) wavelengths.

Locations of sampling sites and plots distributed over 300 km along the coast of Río de la Plata are presented in table 1 and figure 1.

Table 1. Location of sampling sites and reference weather stations used in the current study.

Site	Plot	Latitude	Longitude	Reference weather station		
				Location	Type	Distance from vineyards (km)
Colonia del Sacramento, Colonia	1-2	-34° 23'	-57° 51'	La Estanzuela	Conventional (1)	17
Sierra Mahoma, San José	3	-34° 07'	-56° 56'	San José	Conventional (2)	30
				Mal Abrigo	Pluviometric (2)	3
Juanicó, Canelones	4	-34° 37'	-56° 15'	Las Brujas	Conventional (1)	11
Punta de Yeguas, Montevideo	5	-34° 53'	-56° 19'	Sayago	Davis* (3)	11
Atlántida, Canelones	6-7	-34° 39'	-55° 47'	Empalme Olmos	Davis* (4)	14
Laguna del Sauce, Maldonado	8-9	-34° 44'	-55° 01'	Guardia Vieja	Davis* (3)	0

Operators: (1) Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), (2) Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET ex DNM), (3) Facultad de Agronomía UDELAR, (4) Private. * Automatic station “Vantage Pro2”

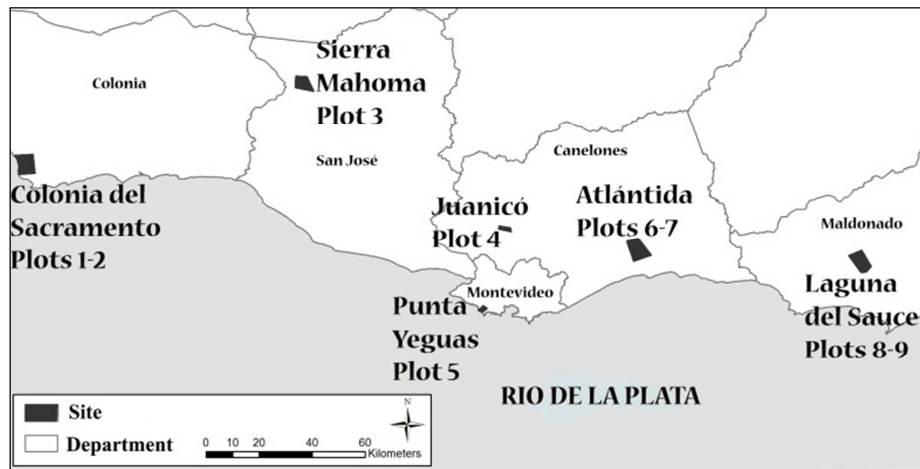


Figure 1. Location of the study sites (grey) and plots along the Uruguayan coast of Río de la Plata.

From the generated information, the irradiation received in each of the study sites during the period September to March and January to harvest was calculated. Topography was not considered for this estimation because solar height angle does not change significantly. In all the studied plots, terrain aspect is lower than 6° (10.5% slope) and mostly lower than 3° (5.2% slope).

Climate variables during 2011, 2012, 2013 and 2014 were obtained from different weather stations managed by several institutions (Table 1). They were all installed and operated under the technical standards of the WMO and were distributed over the coast. Data from 3 conventional stations, 3 automatic stations (“Vantage Pro2”, Davis Instruments, Hayward, CA, USA; hereof “Davis”) were used and also data from one pluviometric station in order to reduce possible errors from a reference station located at 30 km from the vineyard.

Data series were subjected to validation tests according to the norm UNE 500540 (2004). Those series that did not fulfill basic standards were removed and those which presented “suspicious” data after the first filters were validated or removed after visual inspection.

2.3.3.2. Correlations Between Solar Irradiation and Temperature ETo, Relative Humidity, Sunshine Duration and Multicriteria Climate Classification Indices

The correlation among the values of daily irradiation at Colonia del Sacramento (plots 1 and 2) and Juanicó (plot 4) with climate variables from the same areas was analyzed between 01/01/2010 and 31/03/2014. Climate data was provided by reference weather stations.

The viticulture climate indexes for the study sites were calculated for the years 2011, 2012, 2013 and 2014, according to the Multicriteria Climatic Classification System (MCC) method for grape-growing regions defined by Tonietto and Carbonneau [9], adapted by Ferrer et al [7] using specific conditions for Uruguay. Three synthetic and complementary viticultural climatic indexes were computed: Heliothermal Index (HIA), Dryness Index (ISA) and Cool Night Index (CIA).

The Heliothermal index (HIA) was adapted to the crop cycle (1st September to 28th February) for Uruguay by Ferrer [7]. The following equation was used:

$$HIA = \sum [(T_{avg} - 10^{\circ}C) + (T_{max} - 10^{\circ}C)]/2$$

Where: T_{avg} is mean daily temperature and T_{max} is maximum daily temperature.

The Dryness index (ISA) corresponds to the potential water balance of the soil in Riou’s index, and has been adapted by Ferrer [7] for the specific crop conditions of

Uruguay by taking into account the readily available water (RAW) of the soil in the studied plots (47.6 to 105.5 mm) and the crop cycle (1st September to 28th February), values were calculated monthly. This index summarizes the presence or absence of dryness.

$$W = W_o + P - T_v - E_s,$$

Where W is the estimated soil water reserve at the end of a given period. W_o is the soil water-holding capacity, P the precipitation and T_v the potential transpiration in the vineyard. E_s is the direct evaporation of water from the soil.

The Cool night Index (CIA) is an indicator of night temperature conditions during maturation. In our case, February values were considered

2.3.3.3. Case Study at the Vineyard Level

The case study was performed over the period from 05.01.2011 to 11.01.2011, in plot 6, located in Atlántida (Figure 1). The cultivar was Tannat, in a vertical shoot positioning, north-south oriented, the lowest wire was at 0.9 m and the highest wire was at 1.7 m. Canopy temperature was registered using dataloggers (HOBO Pendant® Temperature/Light 64K) installed in the cluster zone.

Proportion of PAR from the hourly global irradiation was estimated from the global irradiation obtained by satellite imagery. For doing this, atmospheric transmissivity (τ_a) was calculated in order to estimate the diffuse fraction (f_d) and, from that information, the percentage of PAR for each hour. The following equation was used for calculating τ_a :

$$\tau_a = GHI \cdot S_o^{-1} \cdot \text{Sen}\beta^{-1},$$

where GHI is the global solar irradiation at the surface on an hourly scale, S_o is the hourly value of the solar constant corrected due to Earth-Sun distance and $\text{Sen}\beta$ is the sinus of the solar height angle (incidence angle of solar beams over the surface). From τ_a , f_d was estimated using the model reported by Ruiz-Arias et al. [36] using coefficients adjusted to Uruguay by Abal et al. (2016) through the expression:

$$f_d = 0,974 - 1,014 \cdot \text{EXP}(-\text{EXP}(3,069 - 6,168 \cdot \tau_a)).$$

The proportion of PAR for each hour was calculated from the diffuse fraction values according to Goudriaan and Van Laar (1994) [15]. A minimum of 45% PAR (with respect to GHI) for a diffuse fraction of 0.1 and a maximum of 55% PAR for a diffuse fraction of 1. For intermediate values, we used a regression line defined between those two thresholds. Thus, PAR is calculated hourly and can be accumulated over the day. Finally, the proportion of available PAR was calculated, namely, hourly PAR at the same time that canopy temperature was lower than 35°C.

2.3.3.4. Statistical Analysis

Linear and non-linear regressions were used for evaluating the relationships between solar irradiation and other climate variables and indices.

Analysis of variance (ANOVA) was used for assessing the influence of year and site on solar irradiation. Means were separated using the Tukey test ($p = 0.05$).

All analyses were performed using InfoStat software version 2011 (GrupoInfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>)."

2.3.4. Results

2.3.4.1. Correlation Between Solar Irradiation and Temperature, ETo, Relative Humidity and Sunshine Duration

Strong correlations (Table 2) between solar irradiation and ETo ($R^2=0.80$) and sunshine duration ($R^2=0.71$) were verified. For temperatures, the highest correlation was observed with maximum daily temperature ($R^2=0.48$), whereas minimum daily temperature showed a low regression coefficient ($R^2=0.18$). Finally, relative humidity was fairly correlated to solar irradiation, although negatively ($R^2= - 0.40$).

The slopes of the regression lines were higher for maximum temperature and relative humidity, hence slight relative increasings in solar irradiation might cause important modifications on these climate variables (Table 2).

Table 2. Regression lines between daily solar irradiation ($x = \text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$) and climate variables (Y). Sites: Colonia del Sacramento (plots 1 and 2) and Juanicó (plot 4). Period from 01/01/2010 to 31/03/2014.

Regression of daily solar irradiation with:	Regression line	R^2	N	p-value
Daily mean temperature ($^{\circ}\text{C}$)	$Y = 9.98 + 0.40x$	0.39	3102	<0.0001
Daily maximum temperature ($^{\circ}\text{C}$)	$Y = 13.73 + 0.51x$	0.48	3102	<0.0001
Daily minimum temperature ($^{\circ}\text{C}$)	$Y = 7.23 + 0.27x$	0.18	3102	<0.0001
Reference evapotranspiration(mm)	$Y = -0.28 + 0.21x$	0.80	3102	<0.0001
Relative humidity (%)	$Y = 86.91 - 0.82x$	0.40	3102	<0.0001
Sunshine duration (hours)	$Y = 0.86 + 0.39x$	0.71	3102	<0.0001

2.3.4.2 Spatial and Interannual Variability of Solar Irradiation

Monthly distribution of solar irradiation averaged for all the study sites (Table 3) provides a general overview about the evolution of irradiation conditions on the coast of Río de la Plata over the growing cycle.

Table 3. Summary statistics for daily values of monthly irradiation (values correspond to the average of the daily solar irradiation from every site during the years 2011, 2012, 2013 and 2014).

Irradiation	Units	Month							
		9	10	11	12	1	2	3	
Mean	$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$	14.52	18.69	24.40	27.42	26.53	21.28	18.78	
Minimum	$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$	14.02	17.77	23.55	26.82	25.54	20.24	18.51	
Maximum	$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$	15.02	19.61	25.25	28.02	27.52	22.32	19.05	
Standard deviation		1.26	2.29	2.13	1.50	2.47	2.61	0.67	
Coefficient of variation	%	8.67	12.26	8.72	5.48	9.32	12.24	3.54	

Higher irradiation values were recorded in December ($27.42 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$) and January ($26.53 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$). The highest coefficients of variation (CV) were found in October (12.26%) and February (12.24%), whereas the most stable months were March (3.54%) and December (5.48%).

Mean daily irradiation values for each site indicated a geographical trend with decreasing values along the coast from West to East. Average values for the four years of study were: Colonia del Sacramento, (plots 1 and 2) $22.04 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$, Punta Yeguas (plot 5) $21.83 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$, Sierra Mahoma (plot 3) $21.75 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$, Juanicó (plot 4) $21.62 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$, Atlántida (plots 6 and 7) $21.58 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$.

$^2 \cdot \text{day}^{-1}$ and Laguna del Sauce (plots 8 and 9) $21.14 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$. These values were not significantly different.

When the evolution of irradiation for each site was discriminated per year, interannual variability was greater than spatial variability. However, the decreasing trend in irradiation along the coast from West to East was verified for each of the four years studied (Figure 2).

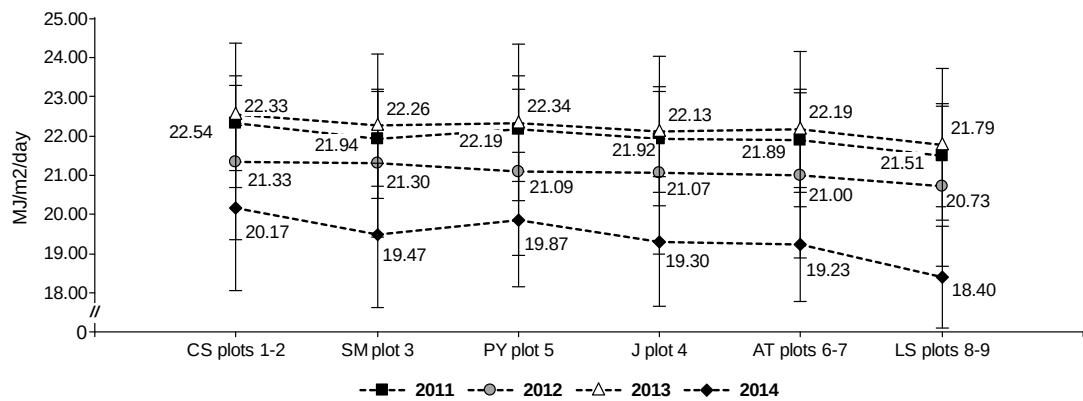


Figure 2. Variation of the daily mean solar irradiation as a function of site and year. Sites from West to East: CS= Colonia del Sacramento, SM=Sierra de Mahoma, PY=Punta Yeguas, J=Juanicó, AT=Atlántida, LS=Laguna del Sauce. Years: 2011, 2012, 2013 and 2014. Each value corresponds to the average of the daily irradiation from September 1st to 31st March. Error bars indicate the standard deviation

Table 4. Daily solar irradiation averaged for February in each of the studied years and corresponding Standard deviation (n=24).

Year	Irradiation February ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)
2011	23.93 ± 0.59 a
2012	21.20 ± 0.94 c
2013	22.65 ± 0.69 b
2014	17.33 ± 0.33 d

During February, when the maturation of most of the red grapevine cultivars in the region is taking place, irradiation showed significant differences among years. The highest value was observed in 2011 whereas the lowest one was found in 2014, with a difference of 27.87% between them (Table 4).

Values followed by different letters are significantly different according to the Tuckey test ($p \leq 0.05$)

The annual dynamics of irradiation in the two most distant sites (Figure 3) displayed different shapes of energy accumulation over a growing season, as well as a monthly difference between sites. The maximum levels of irradiation were reached in December for the years 2011 and 2014 and in January for 2012 and 2013.

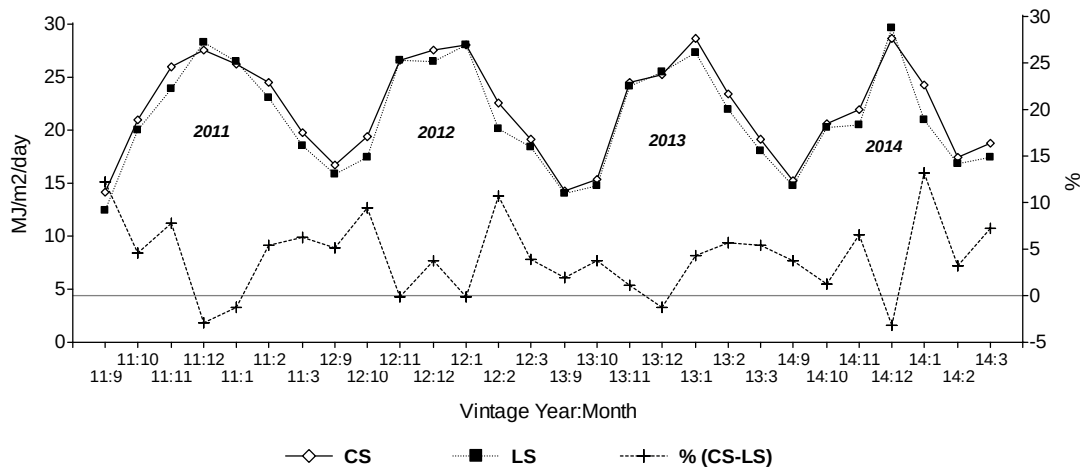


Figure 3. Dynamics of the monthly average of daily solar irradiation as a function of site and year. The two most distant sites and the four years studied are represented: CS= Colonia del Sacramento, plots 1-2 (to the West) and LS=Laguna del Sauce, plots 8-9 (to the East). The % (CS-LS) variable represents the percentage of the difference between the irradiation for CS against that of LS.

2.3.4.3 Correlation between Solar Irradiation with the Multicriteria Climate Classification System (MCCS) Indices

ISA (Dryness Index Adapted)

Average irradiation for February, key period of berry maturation, is negatively correlated with ISA. When the values of irradiation for this month are higher than $19.05 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$, the ISA index changes from “Sub-humid” to “Moderately dry” (Figure 4A).

Cool night Index (CIA)

The correlation between irradiation in February and CIA showed a very low level of fitting ($R^2=0.10$), proving that a high degree of independence exists between this thermal index (linked to daily minimum temperature) and solar energy.

HIA (Heliothermal Index Adapted)

HIA (Heliothermal Index Adapted) showed a strong correlation with solar irradiation (Figure 4B).

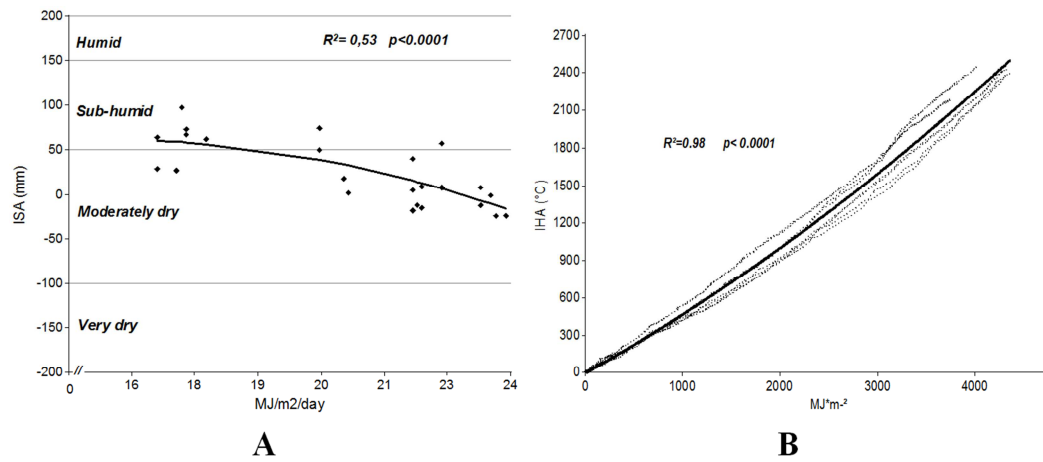


Figure 4 (A) Regression between February average daily solar irradiation and ISA (mm), in vineyards from six regions of the coast of the Río de la Plata ($Y = -1.13x^2 + 35.48x - 215.71$; $n=27$; $R^2 = 0.53$; $p < 0.0001$). (B) Regression between cumulated irradiation and the HIA between 01/09 and 15/03, for Colonia del Sacramento (plots 1-2) and Juanicó (plot 4) sites. In both (A) and (B) data corresponds to the 2011, 2012, 2013 and 2014 growing seasons.

Daily cumulation of HIA was modelled with the following equation:

$$Y = 0.00003x^2 + 0.44x - 6.6 \quad (R^2=0.98; p < 0.0001; N=1440)$$

Where “x” represents the daily value of cumulated solar irradiation on the surface.

From the former equation, the solar irradiation intervals corresponding to the HIA classification were calculated (Table 5).

Table 5. Correspondence among irradiation intervals and HIA according to the MCCS.

Viticultural climate Index HIA			Irradiation class intervals (MJ*m ²)
Class	Acronym	Class interval (°C)	
Warm	HIA ₅	2400-3000	4242,41 - 5076,26
Temperate warm	HIA ₄	2100-2400	3802,10 - 4242,41
Temperate	HIA ₃	1800-2100	3343,65- 3802,10
Cool	HIA ₂	1500-1800	2864,60 - 3343,65
Very cool	HIA ₁	1000-1500	2011,79 - 2864,60

The HIA intervals calculated with the equation for the solar irradiation accumulation were fitted to the actual HIA values for the four years. Estimated HIA values varied between 1990 (“Temperate”) and 2503 (“Warm”), whereas the actual HIA values varied between 2085 (“Temperate”) and 2430 (“Warm”). Although this equation allows for a rather precise estimation of the climate type ($Y = 1.22x - 534.42$; $R^2=0.51$; $N=27$), irradiation values lower than 4200 MJ/m² underestimate HIA at harvest, whereas higher irradiation values overestimate this index.

2.3.4.4 Study Case at the Vineyard Level

Hourly evolution of solar irradiation (from satellite images), between 8h and 18h, PAR and canopy temperature during the week from 5/1/2011 to 11/01/2011 in a vineyard from Atlántida, Uruguay, is shown in Figure 5A. In average, the energy of PAR represented 48.31% of solar irradiation on the surface.

A regression line between solar irradiation and daily temperature was fitted:

$$Y = 0.01x + 21.72; R^2 = 0.50; N=77; p\text{-value} < 0.0001$$

In Figure 5B, the available hourly PAR, or energy below 35°C, is represented

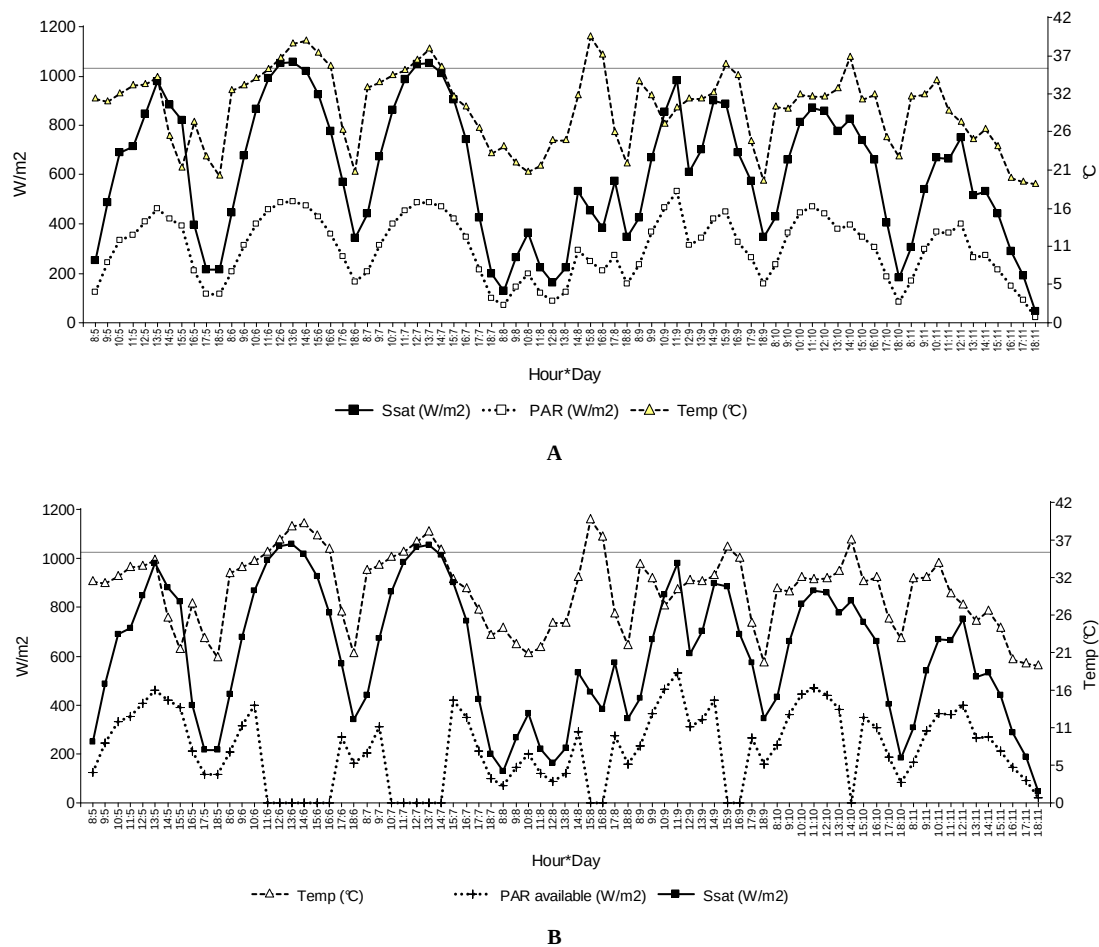


Figure 5. Hourly evolution (between 8h and 18h) of (A) solar irradiation, PAR and canopy temperature; and (B) useful PAR and canopy temperature. Timespan 05.01.2011 to 11.01.2011. Site: Plot 6, Atlántida, Canelones.

Table 6. Cumulative daily values of solar irradiation, useful PAR and proportion between them.

Day	Irradiation (MJ*m ⁻² *day ⁻¹)	Useful PAR (MJ*m ⁻² *day ⁻¹)	Useful PAR /Daily irradiation (%)
05.01.2011	23.4	11.5	49.1
06.01.2011	31.4	4.9	15.6
07.01.2011	30.4	5.8	19.3
08.01.2011	13.1	5.3	40.0
09.01.2011	27.5	10.4	38.0
10.01.2011	26.0	11.1	42.6
11.01.2011	17.8	9.1	51.2

The highest amount of useful PAR was reached with a daily solar irradiation cumulated from 8h to 18h of 21.22 MJ*m⁻²*day⁻¹ ($Y = -0.09x^2 + 3.82x - 30.55$;

$R^2=0.92$; $p\text{-value} < 0.001$). Higher values of daily irradiation would be associated to high temperatures and to a reduction in available PAR. In the seven days analyzed, the proportion of useful PAR represented 35.2% of the total energy received (Table 6).

2.3.5. Discussion

2.3.5.1. Irradiation and Climate

The results from the regression analysis between solar irradiation and temperature, ETo, relative humidity and sunshine duration confirmed the strong relationship among these variables and incoming energy on the surface. According to Priestley and Taylor [19], ETo was positively correlated with irradiation. Apart from solar irradiation, all the climate variables are affected by other climate components such as atmospheric circulation and geographical factors that explain a portion of their variability. In the studied region, the geographical factor with the greatest influence is the sea and the sea-land breezes [10]. The effect of this phenomenon in the coastal regions would be manifested in a reduction of the daily temperature variability and an increase in relative humidity with respect to an inland region, according to works performed in South Africa [38] [39].

In addition, cloudiness also affects the loss of energy from the earth and, consequently, surface temperature, limiting the incoming solar radiation and the outcome of thermal energy.

The relevance of knowing the cumulated irradiation and its distribution relies on the fact that, from their analysis, it would be possible to infer light, temperature and humidity conditions in which a crop is developed.

2.3.5.2. Spatial Distribution of Irradiation

The results of mean irradiation for each location presented a decreasing trend from West to East. These results are in agreement with those reported by Abal et al [28] in Uruguay. It is likely that the lowest irradiation on the East of the coast during the months of grapevine vegetative development is a result of an increase in cloudiness and relative humidity due to sea influence [40].

The analysis of irradiation per year and location reflected the same geographical trend. This difference was more evident on the geographic endpoints, although they are located at a similar latitude ($-0^{\circ} 21'$). According to Buttrose [20], Smart [13] and Makra et al [27], differences on net irradiation should correlate with plant functioning. In this work, the differences in cumulative daily irradiation between the most distant locations would be theoretically equivalent either to a delay of 6-7 days in the growing cycle for a given cultivar, or, approximately, 0.4° - 0.5° of probable alcoholic grade if harvest would take place on the same date for both locations [32].

Irradiation spatial variability showed trends that allowed for discriminating viticultural regions along the Río de la Plata coast, in the same way as performed in Lombardy [26] and Bordeaux [25]. In contrast to what was found in those cases, where topography was a determinant factor, in the coast of Río de la Plata the most relevant factor was sea influence.

2.3.5.3. Solar Irradiation and Climate Indices from the Multicriteria Climate Classification System (MCCS)

According to Van Leeuwen et al. [6], climate and soil affect grapevine through determining its water status. The ISA index, that estimates water availability for plants during a growing cycle, was negatively correlated with the average daily irradiation of February. The studied soils present a low to medium water holding capacity (between 47.6 and 105.5 mm), due to their differences in texture and high percentages of clay that reduce water infiltration and root growth to deeper soil horizons. In this way, the soil volume where 90% of active roots are located determines that water balance over a growing cycle is highly dependent on the rainfall regime that occurs in the last stage of maturation. Moreover, the increase in rainfall is associated with lower irradiation levels. Under the studied conditions, when the average daily irradiation during February was over $18.38 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}^{-1}$, ISA corresponds to IS+1 “Moderately dry”; whereas when irradiation values are lower that this threshold ISA would be IS-1 “Sub humid”. Interannual comparison showed that February of 2014, with an irradiation of $17.3 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}^{-1}$ was classified as “Sub humid” in all the studied sites, whereas in 2011, 2012 and 2013 ISA corresponded to

“Moderately dry”.

Regarding the two MCCA thermal indices, cool-night index showed a very low correlation with irradiation, similarly to the relationship between irradiation and minimum temperature. On the contrary, the heliothermal index presented a very high correlation with the daily cumulative solar irradiation. The good fitting between these two variables allows for the use of cumulative irradiation in a similar way to HIA and hence estimate the correspondence among the classification intervals for both variables. For instance, a cumulative irradiation between 3802.10 MJ/m² and 4242.41 MJ/m², from bud-break to harvest, corresponds to the classification “Temperate warm” or HI4 from MCCA. The estimation of HIA at harvest from solar irradiation, for a total of 27 harvests in 4 years averaged 2244.31°C and a coefficient of variation of 8.31%, whereas HIA calculated from the weather station observations averaged 2271.93°C and a coefficient of variation of 4.81%. The estimator generated values with higher heterogeneity than the actual values when these are calculated from temperature data. A greater number of years would result in a better fitting.

The six study sites are located within three climate regions, as discriminated by Ferrer et al.[10] applying the MCCA. The relationships between solar irradiation and two out of the three MCCA indices suggests that the differences in solar irradiation spatial distribution could be one of the factors that explains the climate zoning for grapevine and wine production. The estimation of the energy received in different regions of the planet obtained by satellite imagery could be used for a regional or worldwide zoning of viticultural production.

2.3.5.4 Interannual Variability of Irradiation

Significant differences among years were detected for cumulative energy. According to its correlation with meteorological variables and with two out of three MCCA indices, the cumulated amount of solar energy allowed for establishing that light and temperature conditions were higher in 2011 and 2012, whereas relative humidity and water balance were lower in those years than in 2014.

The dynamics of monthly solar irradiation level for each vintage correlates with vine growing kinetics and other plant responses. The difference between irradiation levels occurred in February could have caused different conditions for berry composition according to Dokoozlian and Kliewer [21], Spayd et al. [22] and Tarara et al. [23]. In addition, changes in the length of the maturation period and on disease or pest incidence could be expected.

These results proved that including solar irradiation in this kind of studies would allow for discriminating years according to their amount and profile of solar irradiation and, thus, be used for characterizing a given vintage, such as performed by Makra et al. [27] in Tokaj. This methodology would be comparable with the traditional determination of the “vintage effect” from climate variables in the sense pointed out by Blouin and Guimberteau [1]. This influence would be manifested in yield variability as well as in differences in berry size and composition [24] [2] [3] [4], since this effect is greater than genetics or management practices [5], thereby affecting the economy of winemaking enterprises.

2.3.5.5. Solar Irradiation, PAR and Canopy Temperature

Solar irradiation influences plant life mainly through its thermal effects and photosynthesis [41] [42]. The relationship between global PAR and global solar irradiation (estimated through satellite images) for hourly values was 48.31% in the case of Atlántida, Uruguay (34° 39' S, 55° 47' W). This proportion lies within the thresholds reported by Li et al. [16] and Jacovides et al. [17] for hourly values during summer and the value obtained by Escobedo et al. [43]. However, it was higher than the proportion obtained by Yu et al. [18] for daily values. Apart from this percentage, a direct relationship between solar irradiation and PAR exists ($R^2=0.98$, $p\text{-value}<0.0001$).

Nevertheless, this relationship is not direct when the proportion of useful PAR, as a function of a threshold of 35°C maximum temperature, is taken into account since from this threshold plant photosynthesis would be stopped. Considering this limitation allows for establishing that useful PAR increases with daily solar irradiation till a maximum of 21.22 MJ*m⁻²*day⁻¹. When the value of daily solar

irradiation surpasses this threshold, the absolute amount of useful PAR begins to decrease by the effect of high temperatures associated with the increasing irradiation (combined effect light-temperature). In the short term and at mesoscale, other factors that affect temperature, such as atmospheric circulation, topography, sea-land breezes or cloudiness will modulate this dependence on solar irradiation.

Under the conditions of the current study, it can be concluded that for two sites with similar irradiation values, such as what happened in 2011 in Punta Yeguas and Sierra Mahoma, the close proximity to the sea of Punta Yeguas (0.8 km) with respect to Sierra Mahoma (41 km) and the consequent reduction in maximum temperatures would have generated a higher amount of useful PAR and conditions for a greater dry matter production and sugar accumulation in the berries [20].

2.3.6. Conclusions

Solar irradiation over large territories can be reliably estimated by satellite imagery. From this information, long-term hourly solar irradiation series can be obtained and used for generating cumulative daily values, monthly and historical averages.

A high correlation between irradiation and temperatures, reference evapotranspiration, sunshine duration and relative humidity was demonstrated. Moreover, a relationship between solar irradiation and two indices from the MCCS was proven.

Cumulative irradiation and its annual distribution profile could be used for discriminating the interannual variability of environmental conditions over a vintage and associate product quality to pre-established solar energy intervals.

According to the results, it would be possible to perform a regional or worldwide viticultural zoning on the basis of irradiation estimated through satellite images. In contrast with the viticultural regionalization exclusively based on climate indices, the proposed method also provides information about the incoming energy for photosynthesis and all grapevine physiological processes.

2.3.7. Acknowledgments

We thank Ph.D. Ing. Agr. Elena Beyhaut and Ph.D. Ing. Agr. Santiago Dogliotti for comments that greatly improved the manuscript.

2.3.8. References

- [1] Blouin, J., &Guimberteau, G. 2000. Maturation etmaturité des raisins. Editions Féret, Bordeaux. Francia.
- [2] Fischer, U., Roth, D., Christmann, M. 1999. The impact of geographic origin, vintage and wine estate on sensory properties of Vitisvinifera cv. Riesling wines. Food Quality and Preference, 10 (4), 281-288.
- [3] González-Neves, G., Ferrer, M., Gil, G. 2012. Differentiation of Tannat, Cabernet Sauvignon and Merlot grapes from Uruguay according to their general composition and polyphenolic potential. Comunicata Scientiae, 3 (1), 41-49.
- [4] Fernández Gómez, O., Baeza Trujillo, P., Junquera González, P., Lissarrague Garcia-Gutierrez, J. R. 2013. Efectos de las diferentes estrategias de riego en la composicióndel vino y superfil sensorial (Vitisvinifera L., cv. Cabernet sauvignon). In: "Congreso de los Grupos de InvestigaciónEnológica", 18/06/2013 - 21/06/2013, EscuelaTécnica Superior de IngenierosAgrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid. p. 1.
- [5] Ferrer M., Echeverría G., Carbonneau A. 2014. Effect of berry weight and its components on the contents of sugars and anthocyanins of three varieties of Vitisvinifera L. under different water supply conditions. South African Journal of Enology and Viticulture, 35 (1), pp. 103-113.
- [6] Van Leeuwen, C., Friant, P., Chone, X., Tregoat, O., Koundouras, S., Dubourdieu, D. 2004. Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. American Journal of Enology and Viticulture, 55 (3), 207-217.
- [7] INAVI. Instituto Nacional de Vitivinicultura, 2015. <http://www.tannatalmundo.com.uy/articulos/681-38-estadisticas-de-viñedos-datos-departamentales-2015.html>

- [8] Li, Y., & Chao, J. 2016. An Analytical Solution for Three-Dimensional Sea–Land Breeze. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 73 (1), 41-54.
- [9] Tonietto J.; Carbonneau A. 2004. Multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology* 124, 81-93.
- [10] Ferrer, M., Pedocchi, R., Michelazzo, M., González Neves, G. Carbonneau, A. 2007. Delimitación y descripción de regiones vitícolas del Uruguay en base al método de clasificación climática multicriterio utilizando índices bioclimáticos adaptados a las condiciones del cultivo. *Agrociencia*, 11 (1), 47-56.
- [11] Dedieu, G., Deschamps, P. Y., Kerr, Y. H. 1987. Satellite estimation of solar irradiance at the surface of the earth and of surface albedo using a physical model applied to Meteosat Data. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26 (1), 79-87.
- [12] Rabbinge, R. 1993. The ecological background of food production. In *Ciba Foundation Symposium 177-Crop Protection and Sustainable Agriculture* (pp. 2-29). John Wiley & Sons, Ltd..
- [13] Smart R. E. 1989. Solar radiation interception as a guide to the design of horticultural plantings. II twenty years experience with grapevines. *ISHS ActaHorticulturae* 240: Australian Temperate Fruits Review Conference ISBN 978-90-66053-63-2, ISSN 0567-7572 Vol 1 Roseworthy, Australia.
- [14] Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. 2009. Sensoriamento no estudo da vegetação. 1ª Edição. São José dos Campos: Parênteses.
- [15] Goudriaan J., Van Laar H. H. 1994. *Modelling Potential Crop Growth Processes Textbook with Exercises*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, Volume 2 1994. pp. 238.
- [16] Li, L., Xin, X., Zhang, H., Yu, J., Liu, Q., Yu, S., Wen, J. 2015. A method for estimating hourly photosynthetically active radiation (PAR) in China by combining geostationary and polar-orbiting satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 165, 14-26.

- [17] Jacovides C. P., Tymvios F. S., Asimakopoulos D. N., Theofilou K. M., Pashiardes S. 2003. Global photosynthetically active radiation and its relationship with global solar radiation in the Eastern Mediterranean basin. *Theoretical and Applied Climatology*. 74,(3), 227-233.
- [18] Yu X, Wu Z, Jiang W, Guo X. 2015. Predicting daily photosynthetically active radiation from global solar radiation in the Contiguous United States. *Energy Convers Manag* 89 (0): 71–82. doi: 10.1016/j. enconman.2014.09.038.
- [19] Priestley C., Taylor R., 1972. On assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters, *Monthly Weather Review*, 100, 81-92.
- [20] Buttrose, M. S. 1969. Vegetative growth of grapevine varieties under controlled temperature and light intensity. *Vitis*, 8: 280-285.
- [21] Dokoozlian N, Kliewer W., 1996. Influence of light on grape berry growth and composition varies during fruit development. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121, 869-874.
- [22] Spayd S., Tarara J., Meed., Ferguson J., 2002. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitisvinifera* cv. Merlot berries. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53, 171-182.
- [23] Tarara, J. M., Lee, J., Spayd, S. E., Scagel, C. F. 2008. Berry temperature and solar radiation alter acylation, proportion, and concentration of anthocyanin in Merlot grapes. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59 (3), 235-247.
- [24] Chaves M. 1981. Photosynthetic characteristics and environmental control in some grapevine cultivars. In Margaris NS and HA Mooney (eds): *Components of Productivity of Mediterranean ClimateRegions Basic and Applied Aspects*. 1981 Dr W. Junk Publishers, The Hague/ Boston/London.
- [25] Bois, B., Wald, L., Pieri, P., Van Leeuwen, C., Commagnac, L., Chery, P., Christen, M., Gaudillère, J.-., Saur, É. 2008, Estimating spatial and temporal variations in solar radiation within Bordeaux winegrowing region using remotely sensed data, *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 42 (1), 15-25.

[26] Failla O., Mariani L., Brancardo L., Minelli R., Scienza A., Murada G., Mancini S., 2004. Spatial distribution of solar radiation and its effects on vine phenology and grape ripening in an Alpine environment. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55, 128–138.

[27] Makra, L., Vitányi, B., Gál, A., Mika, J., Matyasovszky, I., Hirsch, T. 2009, Wine quantity and quality variations in relation to climatic factors in the Tokaj (Hungary) winegrowing region, *American Journal of Enology and Viticulture*, 60 (3), 312-321.

[28] Abal G., D'Angelo M., Cataldo J., Gutiérrez A. 2011 Mapa solar del Uruguay versión 1.0 Memoria Técnica, Departamento de Publicaciones, Unidad de Comunicación de la Universidad de la República (UCUR), Montevideo, Uruguay ISBN: 978-9974-0-0847-2 53p.

[29] Alonso-Suárez R, G. Abal, R. Siri, P. Musé. 2012. Brightness-dependent Tarpley model for global solar radiation estimation using GOES satellite images: Application to Uruguay, *Solar Energy*, 86 (11), 3205-3215, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.08.012>

[30] Alonso-Suárez R, G. Abal, P. Musé, R. Siri, 2014. Satellite-derived Solar Irradiation Map for Uruguay, *Energy Procedia*, 57, 1237-1246, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.072>.

[31] Alonso-Suárez R, Bidegain M, Abal G, Modernell P. 2016. Año Meteorológico Típico para Aplicaciones de Energía Solar (AMTUES): series horarias típicas para 5 sitios del Uruguay. Memoria Técnica del LES/UdelaR, pags 143, versión 2.4, junio de 2016 – <http://les.edu.uy/productos/amtues-2/>

[32] Echeverría G., Ferrer M., Abal G., Alonso-Suárez R. 2015. Solar Radiation in the Uruguayan Coast of the Río de la Plata and its Relation to Viticulture Climate. *Anales del Actualités Vitivinicoles journal (PAV) of the GIESCO* (<http://www.giesco.org>). 19th International Meeting GIESCO, Pech Rouge, Montpellier, 2015.

[33] Justus, C., Paris, M., Tarpley, J., 1986. Satellite-measured insolation in the

United States, México, and South America. *Remote Sensing of Environment* 20, 57–83.

[34] WMO. 2008. Guide to meteorological instruments and methods of observation. Technical Report 8, World Meteorological Organization, WMO. 7th Ed.

[35] Pérez R., Seals R., Zelenka, A. 1997. Comparing satellite remote sensing and ground network measurements for the production of site/time specific irradiance data. *Solar Energy* 60 (2), 89-96.

[36] Ruiz-Arias, J. A., Alsamamra, H., Tovar-Pescador, J., & Pozo-Vázquez, D. 2010. Proposal of a regressive model for the hourly diffuse solar radiation under all sky conditions. *Energy Conversion and Management*, 51 (5), 881-893.

[37] Abal, G., Aicardi D., Alonso-Suárez R., Laguarda A. 2016. Estimation of ground-level diffuse irradiation in southern latitudes. Submitted in July 2016 to *Solar Energy*.

[38] Bonnardot, V. 2003. The sea breeze: a significant climatic factor for viticultural zoning in coastal wine growing areas. IV Symp. Intr. Zoning vit. 339-343.

[39] Myburgh, P. 2005. Effect of altitude and distance from the Atlantic Ocean on mean February temperatures in the Western Cape Coastal region. *Wynboer Technical Yearbook*, 2005, 49-52.

[40] Castaño, J. P; Giménez, A.; Ceroni, M.; Furest, J.; Aunchayna, R. 2009. Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Serie Técnica 193. Uruguay. 34p.

[41] Wang L, Gong W, Li C, Lin A, Hu B, Ma Y. 2013. Measurement and estimation of photosynthetically active radiation from 1961 to 2011 in Central China. *Applied Energy* 111 (0): 1010–1017. doi: 10.1016/j. apenergy.2013.07.001.

[42] Jones Hamlyn G. 2015. Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge university press, ISBN 978-0-521-27959-8.

[43] Escobedo J., Gomes E., Oliveira A., Soares J. 2011. Ratios of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Botucatu site in Brazil. *Renew Energy*; 36: 169–78.

3 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE DIVERSOS TERROIRS VITÍCOLAS DE LA COSTA DEL RÍO DE LA PLATA: ANÁLISIS DE SU INFLUENCIA SOBRE VARIABLES VEGETATIVAS, COMPONENTES DE RENDIMIENTO Y COMPOSICIÓN DE LA BAYA

3.1 IMPLEMENTATION OF TECHNIQUES FOR REMOTE SENSING AS A METHOD TO DETERMINE THE PRODUCTIVE POTENTIAL OF A VITICULTURAL TERROIR ²

3.1.1 Summary

The aim of this research was to establish the correlation between the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) of the native prairie 3- year prior to the implantation of a vineyard and the subsequent response from the vine. The estimate NDVI was calculated based on 2003 Aster satellite image, from the Atlántida area, in southern Uruguay. Two experimental plots were set 170 m apart, at contrasting NDVI and topographic positions. Each plot was composed of 25 plants of Tannat variety (*Vitis vinifera* L.), randomly selected within each vineyard. The NDVI class intervals were able to distinguish areas with significantly different productive potential, which was correlated with soil physical properties and hydric behaviour. The defined plot with a lower NDVI (0.4133) belongs to an area of shallower soil and a higher percentage of sand and coarser textures. There, the predawn leaf water potential was lower, with increased plant stress during ripening and significant differences in dry matter production for m² soil), yield, leaf area, berry weight and differences in the composition. The use of a

² Echeverría G, Ducati J, Ferrer M (2013) Implementation of techniques for remote sensing as a method to determine the productive potential of a viticultural terroir. 18th International Symposium GiESCO 2013 (Group of international Experts of vitivinicultural Systems for CoOperation) Editorial: Ciência e Técnica Vitivinícola, INIAV - DOIS PORTOS (Ex-Estação Vitivinícola Nacional), Dois Portos Proceedings: Actas, 28 , 719- 723

remote sensing satellite technique made possible to analyse the physical conditions of the terroir and to determine its productive potential, thus confirming the feasibility of this low cost technology.

Key Words: NDVI, remote sensing, soil texture, leaf water potential, Tannat

3.1.2 Resume

L'objectif de cette recherche a consisté à mettre en relation les données issues l'indice de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) de la prairie indigène 3 ans avant l'implantation d'un vignoble avec la réponse subséquente de la vigne. L'estimation NDVI a été calculée à partir de l'image satellite Aster (année 2003), de la zone Atlántida, dans le sud de l'Uruguay. Deux parcelles expérimentales de vigne ont été mises en place à une distance de 170 m en positions topographiques et valeurs de l'NDVI contrastées. Le dispositif expérimental a été constitué de 25 souches de la variété Tannat (*Vitis vinifera* L.) disposées au hasard dans chaque parcelle. Le NDVI a permis d'identifier deux zones significativement différentes du vignoble selon leurs potentiel productif et corrélées avec les propriétés physiques du sol et du comportement hydrique. La parcelle avec une faible NDVI (0,4133) est caractérisée pour un sol moins profond et une pourcentage plus élevé de sable et de textures grossières. Le potentiel hydrique foliaire de base a été plus faible et la contrainte hydrique des plantes a augmenté au cours de la maturation des baies. La réponse de la plante se traduit en: la production de matière sèche, le rendement, la surface foliaire, le poids de baies et des différences dans leur composition. La mesure NDVI utilisant les images satellites se révèle pertinente pour apprécier des variations des conditions physiques du terroir et de déterminer son potentiel de production, confirmant ainsi la faisabilité de cette technologie à faible coût.

Mots –Clés: NDVI, télédétection, texture du sol, potentiel hydrique foliaire, Tannat

3.1.3. Introduction

Considering a viticultural region, characterized by its climate, the physical properties of the soil and the water availability are both relevant factors for the vine strength and yield, and as well for the berry composition (van Leeuwen et al. 2004, Tisseyre et al. 2006, Pellegrino et al. 2006).

In an important proportion of the Uruguayan commercial vineyards the management is done by assuming that the soil is homogeneous, and differences in grape composition are not detected, when they come from variability in water supply. (Ojeda et al 2005).

Nevertheless, soil studies at scales of 1/50000 or bigger lead to the detection, within small areas, of significant differences in structure, texture and. sense, Okamoto et al. (2004), working with Chardonnay vines under two levels of water stress have shown that with an early stress the ABA level had a significant increase at the fruit zone, leading to an early harvest, berry contraction and leaf fall.

The NDVI index (Normalized Difference Vegetation Index) is a powerful tool to monitoring vegetation. From the information stored in the reflectance of the electromagnetic radiation, at the spectral bands corresponding to the red and the near infrared, it is possible to calculate the NDVI, as indicated by Rouse et al. (1973), as cited by Ponzoni and Shimabukuro (2009). This index is an indicator of vigour and of the health status of the vegetation. Among many applications, it is possible, using satellite images, to associate the NDVI of each pixel and of each vegetation type to soil characteristics (Goutouly et al. 2006)

Researchers as Hall et al. (2002), Dobrowski et al. (2003), and Johnson (2003), using images from satellite and airborne sensors, obtained significant correlations between reflectance indexes and vigour parameters.

In this study, using a different approach, we analyse the predictive power of the NDVI to estimate the vine vigour; this is done calculating the index on a native grassland area, with dominance of grasses of summer cycle, on which, three years after, a Tannat vineyard was planted.

The relationships of NDVI with soil characteristics and with vine responses, are investigated, under the assumption that the soil water content influences strongly both grape yield and berry composition, as suggested by Rankine et al. (1971); Deloire et al (2003) and by Ojeda (2005). In the same sense Flores (2005), Cortell et al. (2008), and Reynolds et al. (2012) indicate that the water reserve and the soil fertility have a positive correlation with vine vigour, which can be estimated by pruning weight. Other authors as Bodin and Morlat (2006); Morlat and Bodin (2006) have validated an analysis model of the influence of soil type on precocity, vigour, yield and grape quality.

This work is based on the use of NDVI of a grassland area, previous to the creation of a vineyard, as an indirect method to evaluate the soil water availability, and then to analyse its correlation with vine vigour and berry composition.

3.1.4. Materials and methods

In a commercial, non-irrigated vineyard, located in the zone known as “Atlantida”, at south of Uruguay (34°39'30.93"S, 55°47'55.48"O), in years 2011, 2012 and 2013, two essay plots were defined, in parcels 170 meters apart. Each parcel had 25 plants of Tannat (*Vitis Vinifera* L) randomly selected, planted in rows, with a Royat pruning, and a similar numbers of buds per vine.

The higher parcel “Atla alto” has plants with spacing of 2,5 m x 0.90 m; it was planted in 2006 at the mean altitude of 56 m above sea level. The lower parcel “Atla bajo” has plants with spacing of 2,5 m x 1 m, and was planted in 2007, at about 48 meters above sea level.

The NDVI index was calculated from the image 14488 acquired by the ASTER image aboard Terra satellite, at date Dec. 10, 2003. For this range of wavelengths, the pixel size is 15 meters.

Soils and roots were studied. For this, trenches were opened in several places at both vineyards, for pedological measurements. A complete description of soil structure was done, and samples of the horizons were collected, to measure content of organic matter, texture and apparent density. Laboratory analysis were performed

at the Soil Department of MGAP/Uruguay. The available water within the soil profile occupied by roots was measured following the method proposed by Fernández (1979) and Silva et al., (1988). The soil temperature in rows of each parcel was measured each 30 minutes through the installation of data loggers, Maxim's Button devices, at depths of 25 cm and 40 cm, . The spatial distribution of roots was studied through excavations near the plants at each parcel, and measurements of root diameter by a digital gauge, on a vertical grid of 10 cm x 10 cm.

The phenological evolution was followed by observation on the field, leading to the construction of phenograms of the parcels in the scale of Eichhorn and Lorenz (1977). The potential Exposed Leaf Surface was estimated at veraison by the method proposed by Carbonneau (1995).

The predawn leaf water potential (Ψ) was obtained in a pressure chamber Scholander et al. (1965). Measurements were done five times per season, from bloom to harvest, each measurement being done over ten fresh, healthy adult leaves, located at the upper third part of canopy.

At harvest time, samples were collected at each parcel: four samples of 250 berries each, following the method indicated by Carbonneau et al. (1991). Weight was determined using a Ohaus Scout scale (Ohaus Corp., USA). Immediate analysis of must was performed following O.I.V. (2007) norms. For soluble solids a refractometer Atago (N1 Atago, Japan), and for pH a potentiometer Hanna HI8521 (Hanna Instruments, Italy) was used.

Harvest was done individually in 25 vines at each parcel. Weight was measured by a Moretti model RS 232-C scale, and the number of clusters per plant was counted. In 10 plants, a branch with clusters was extracted, located at the centre of the pruning wire; leaves, branches and wood were separated. The fresh weight by organ was measured, as well as branch diameters; afterwards samples were dried at a 50 °C oven, until reaching a stable weight. This permitted to obtain the dry matter samples, which were expressed in weight by plant organ.

The statistical analysis was done through Analysis of Variance (ANOVA), with separations of averages by the Test of Tuckey ($\alpha=0.01$ y $\alpha=0.05$), by Determination of Partial Correlation Coefficients of Pearson, and Simple Linear Regression Analysis, using the InfoStat 2011 software.

3.1.5. Results and discussion

Determination of NDVI on grassland: significant differences were found in NDVI values from pixels of the higher and lower sectors. The average NDVI value of Atla alto was 0.4482, and the one for Atla baja was 0.4133. This results indicate that previously to the vineyard development, the native grassland at Atla bajo presented a lesser vegetative development than Atla alto.

Soil studies: it was revealed that in Atla alto the soil depth is about 60 cm, with three horizons with clear differences. At the upper level, the texture is “Franco Arcilloso” (clay-based), followed by two horizons with clay “Arcillosos”, with clay content of 48 and 45% respectively. Under these horizons there is a matrix which is “franco-arcillosa” (clay-based, but with gravels of various sizes and coarse sand, with calcium carbonate concretions. In the soil volume which was occupied by 90% of the roots, the Effective Potential Available Water was estimated to be 67 mm. On the other hand, at the lower parcel, Atla bajo, the soil depth was about 48 cm, composed by two horizons, the upper one having a texture “Franco-Arcillo-Arenoso” (clay-based, with 50% of sand), followed by an horizon of clay (“Arcilloso”, with 54% of clay). The soil is on a bedrock which is crystalline, decomposed, with quartz, feldspate and mica. There, in the space occupied by 90% of the roots, the Effective Potential Available Water was estimated being 57 mm. At Atla bajo, the fraction of gravels large and small is higher.

The analysis of soil temperature, from cluster formation to harvest, in 2011, reveal significant differences ($\alpha=0.01$) in mean, maximal, and minimal temperatures. For Atla bajo, values are 26.32°C, 29.81°C and 23.55° respectively; for Atla alto, values are 24.42 °C, 26.23°C and 22.95°C. The thermal characteristics of soil are linked to its texture, and have an influence over the water regime. The higher proportion of sand at the upper horizon in Atla bajo increases the temperature,

and as well the direct evapotranspiration of the soil.

As the plants in this study were of juvenile age, the soil physical conditions are determinant for the root distribution: taking the soil superficial layer, 20 cm thick, at Atla bajo 67% of the roots were found in this layers, whereas in Atla alto the percentage was 56%. It was seen, therefore, that the physical resistance to penetration in a clay horizon, added to smaller oxygen content, are factors that put limits to root growth.

The plant response is in correspondence to data from the soil, and in special with the water dynamics in the profile. The Predawn leaf water potential, from bloom to harvest, in years 2011 to 2013, shows significant differences ($\alpha=0.01$), from -0.29 MPa (n=190) at Atla alto to -0.35 MPa (n=175) at Atla bajo. This differences are even more evident when comparison is made with the Predawn leaf water potential in veraison, during the years 2011 to 2013: values are -0.34 MPa at Atla alto and -0.49 in Atla bajo ($\alpha=0.01$). Therefore, in Atla bajo the plants were subjected to a greater water stress than at Atla alto (Table I).

The mean potential exposed leaf area for the three study years was 6.048 m²*ha⁻¹ in Atla alto and of 4.744 m²*ha⁻¹ in Atla bajo. The fresh, dry weight of branches, either total or by organ, was significantly higher at Atla alto ($\alpha=0.01$), excepted for the dry weight of wood, where the difference had a smaller significance ($\alpha=0.05$) (Table II). The total weight at Atla alto was 890.65 g*m⁻² of soil, whereas at Atla bajo was 529.28 g*m⁻² of soil. A significant linear correlation between cluster dry weight and branch dry weight was found ($R^2 = 0.94$), where $y = 26 + 1,19x$; being x the dry branch weight. The size of branches was 10.4% bigger at Atla alto, but with no statistical difference.. The average number of clusters was 1.87 per branch and 7.48 per square meter of soil for Atla alto, a value which was higher than the value for Atla bajo, but in this case with no significant difference; values for Atla bajo were 1.70 and 7.09 clusters, respectively (Table III). Yields were significantly higher at Atla Alto, a result which is in agreement with Shange and Conradie (2012), who had found that soils standing over different parental matter can influence over yield, even within short distances.

There are differences in the absolute amount of dry matter between the two sites, but this is not true considering the distribution taking plant organs. At Atla alto the cluster takes 70.10% of the total dry matter, and at Atla bajo clusters take 67.54%, but with no statistical difference, this also happens with dry matter in leaves and branches. These results seem to suggest that unequal stress conditions had no influence on the division of dry matter, and this could be interpreted, at least to Tannat variety, as being a process genetically controlled (Table IV).

Weight and composition of berries. Berry weight at Atla alto was 1.68 g, higher than at Atla bajo, which was 1.45 g, but without significant differences for the average of three seasons. However, when the variability analysis is performed by season, the year 2011 being the one with greater levels of recorded stress, berry weight had differences clearly significant, being to Atla alto of 1.54 g, and for Atla bajo, 1.30 g. The concentration of soluble solids in the must didn't present significant differences, but in Atla bajo was higher than in Atla alto, with $236.9 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ and 209.5 g/l respectively. Total acidity at Atla alto, of $4.77 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, was significantly higher than at Atla bajo, with $4.41 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ ($\alpha=0.01$). Differences with the same significance level were also recorded for pH, being for Atla alto of 3.41 and for Atla bajo of 3.53 (Table V).

These results are in agreement with van Leeuwen et al (2004), Tisseyre et al (2006), and with Pellegrino et al (2006), since they confirm that the water offer influences plant vigor, and also yield and composition. The results are also coherent with Shellie (2006), who in irrigation tests has demonstrated that for a smaller value of leaf water potential corresponds smaller values of branch growth, berry size, cluster weight, yield, number of clusters, and berry total acidity. In the same sense, Gómez-del-Campo et al (2002) note that cultivar and water offer determine the development of leaf area and, in consequence, the amount of produced dry matter. The same authors, in an essay performed with four grape varieties, concluded that the burgeons were the organs more affected by water stress, affecting the accumulation of dry matter. Soil differences and plant response were also noted as important by Bodin and Morlat (2006), and by Morlat and Bodin (2006), who have

determined that soils over rock which is much degraded, with high clay content, deeper and with fair water offer, have a positive effect on vigor, but a negative effect on precocity; conversely, in soils over less altered rock and less deep the opposite effect is observed. In the same way, these authors have found that soil had effects on yield and berry weight and composition. A higher leaf area favors a greater concentration of organic acids in berries (Ferrer 2007), and this would explain the values obtained in this study.

3.1.6. Conclusions

Previously to the installation of a vineyard, the NDVI index was determined on the original grassland, from a satellite image. Two areas were defined by its different topography, but separated by a short distance. The differences already expressed by the original vegetation in the grassland were consistent with soil differences and were also consistently followed by the vineyard responses. In the zone with smaller NDVI, the soil presented a lower water availability and vineyard vigour, and the same for berry size and pH, as well as for concentration of organic acids.

For Uruguayan conditions, where native and artificial grasslands cover large areas, this method can become an important tool, of a very low cost, for the initial mapping of soil conditions and its water offer. From the cartography it would be possible to define, with larger clarity, the better sites and which systems to adopt, accordingly to the defined productive aims

The repetition and improvement of these studies will lead to a better understanding of the results presently obtained, and to the consolidation of the methods discussed here.

3.1.7. References

- Bodin, F., Morlat R. (2006). Characterization of viticultural terroirs I. Validation of the water supply regime, phenology and vine vigor, in the Anjou vineyard (France). *Plant and Soil* (2006) 281:37–54
- Deloire, A., Ferrer, M., Carbonneau, A. (2003). Respuestas de la viña al Terroir. Elementos para un método de estudio. *Agrociencia Vol.VII N°1*, 105-113.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión (2011). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dobrowski, S.Z., Ustin, S.L., Wolpert, J.A. (2003). Grapevine dormant pruning weight prediction using remotely sensed data. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 9: 177-182.
- Ferrer M. (2007). Etude du climat des régions viticoles de l'Uruguay. des variations climatiques et de l'interaction apportée par le microclimat et l'écophysiologie des systèmes de conduite Espalier et Lyre sur Merlot. (Thèse Doctorat). Montpellier : Université de Montpellier II. 360pp
- Gómez-del-Campo, M., Ruiz, C., Lissarrague, J.R. (2002). "Effect of water stress on leaf area development, photosynthesis, and productivity in Chardonnay and Airén grapevines", *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 53, no. 2, pp. 138-143.
- Johnson L.F. (2003). Temporal stability of an NDVI-LAI relationship in a Napa Valley vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research*.9 (2): 96–101
- Morlat R., Bodin F. (2006). Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth, II Validation of the grape yield and berry quality in the Anjou vineyard (France) *Plant and Soil* 281:55–69
- Ojeda, H., Carrillo, N., Deis, L., Tisseyre, B., Heywang, M., Carbonneau, A. (2005). Precision viticulture and water status II: quantitative and qualitative

- performance of different within field zones, defined from water potential mapping. In: C.R. XIV GESCO, Vol. 2, Greisenheim - Allemagne.741-748
- Okamoto, G., Kuwamura, T., Hirano, K. (2004). "Effects of water deficit stress on leaf and berry ABA and berry ripening in Chardonnay grapevines (*Vitis vinifera*)", *Vitis*, vol. 43, no. 1, pp. 15-17.
- Ponzoni F., Shimabukuro Y. (2009). Sensoriamento remoto no estudo da vegetação, 136 p., Parentese Editora, São José dos Campos, SP, Brasil; ISBN 978-85-60507-02-3
- Rankine, B.C., Fornachon, J.C.M., Boehm, E.N. et al. (1971). «The influence of grape variety, climate and soil on grape composition and quality of table wines», *Vitis*; 10: 33-50.
- Shange L.P., Conradie W.J. (2012). Effects of Soil Parent Material and Climate on the Performance of *Vitis vinifera* L. cvs. Sauvignon blanc and Cabernet Sauvignon - Part I. Soil Analysis, Soil Water Status, Root System Characteristics, Leaf Water Potential, Cane Mass and Yield. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, Vol. 33, No. 2
- Shellie, K.C. (2006), "Vine and berry response of merlot (*Vitis vinifera* L.) to differential water stress", *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 57, no. 4, pp. 514-518.
- Silva, A., Ponce de León, J., García, F., Durán, A. (1988). "Aspectos Metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua en los suelos del Uruguay". Facultad de Agronomía, Boletín de Investigación N° 10, Montevideo, Uruguay.
- Tisseyre B., Ojeda H., Carrillo N., Deis L., Heywang M. (2006). Viticultura de precisión y estado hídrico. I: Cartografía del potencial hídrico e interés para la zonificación a nivel intra-parcelario. *Enología* N° 12, Febrero-Marzo 2006
- Van Leeuwen C., Friant P., Choné X., Tregoat O., Koundouras S., and Dubordieu D. (2004), Influence of climate, soil, and cultivar on terroir In: *Am. J. Enol. Vitic.* 55(3):207-217. 2004

3.1.8. Attachments

Table I Predawn leaf water potential. Ψ total: from floration to harvest; Ψ V: in veraison

Tableau I Potentiel hydrique foliaire de base. Totale Ψ : de floration à vendage; Ψ V: dans véraison

Site	Ψ Total (MPa)	N	Ψ V (MPa)	N
Atla alto	-0.29 a	190	-0.34 a	34
Atla bajo	-0.35 b	175	-0.49 b	31

Means followed by the same letter are not different by Tukey's test ($\alpha=0.01$)

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas différentes par le test de Tukey ($\alpha=0.01$)

Table II Fresh and dry weight by branch, during seasons 2011, 2012 and 2013. Expressed in $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ of soil

Tableau II poids frais et sec par branche, au cours des saisons 2011, 2012 et 2013. Exprimée en $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ de sol

Site	Fresh weight ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)				Dry weight ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)			
	Wood **	Leaf **	Cluster **	Total **	Wood *	Leaf **	Cluster **	Total **
Atla alto	365.35 a	351.41 a	2322.17 a	3038.93 a	140.37 a	110.66 a	639.61 a	890.65 a
Atla bajo	224.33 b	209.89 b	1216.00 b	1650.21 b	92.92 b	68.68 b	367.68 b	529.28 b

Means followed by the same letter are not different by Tukey's test ($*\alpha=0.05$; $**\alpha=0.01$) N=30.

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas différentes par le test de Tukey ($*\alpha=0.05$; $**\alpha=0.01$) N=30

Table III Length of branch and quantity of cluster for m^2 of soil

Tableau III Longueur de la branche et la quantité de cluster pour m^2 de sol

Site	N° Cluster $\cdot \text{m}^{-2}$ soil	Length for branch cm
Atla alto	7.48 a	111.55 a
Atla bajo	7.09 a	101.03 a

Means followed by the same letter are not different by Tukey's test ($\alpha=0.05$) N=30

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas différentes par le test de Tukey ($\alpha=0.05$) N=30

Table IV Distribution of dry matter as plant organ in %

Tableau IV Répartition de matière sèche par organe de la plante en%

Site	Wood	Leaf	Cluster
Atla alto	17,04 a	12,86 a	70.10 a
Atla bajo	19,01 a	13,45 a	67.54 a

Means followed by the same letter are not different by Tukey's test ($\alpha=0.1$) N=60

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas différentes par le test de Tukey ($\alpha=0.1$)
N=60

Table V Influence on the weight and composition of the berry, during seasons 2011, 2012 and 2013

Tableau V Influence du poids et de la composition de la baie, au cours des saisons 2011, 2012 et 2013

Site	Berry Weight g *	pH **	Total acidity g*l ⁻¹ H2SO4 **	Sugar g*l ⁻¹ *
Atla alto	1,68 a	3,41 b	4.77 a	209.53 a
Atla bajo	1,45 a	3,53 a	4.41 b	236.90 a

Means followed by the same letter are not different by Tukey's test (* $\alpha=0.05$; ** $\alpha=0,01$)

Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas différentes par le test de Tukey
(* $\alpha=0.05$; ** $\alpha=0,01$)

3.2. EFFECTS OF SOIL TYPE ON VINEYARD PERFORMANCE AND BERRY COMPOSITION IN THE RÍO DE LA PLATA COAST (URUGUAY) ³

3.2.1 Abstract

Aims: Vineyards in Uruguay are concentrated over soils formed from Quaternary sediments; however, in recent years vineyard surface over soils formed from metamorphic rocks has increased. In this context, this study assessed the relations among soil physical properties and grapevine vegetative development, yield and berry composition, in order to understand how vine response is affected and characterize the viticultural production potential for different regions.

Methods and results: The work was conducted from 2011 to 2014 in non-irrigated Tannat commercial vineyards, located in Río de la Plata coast region. Roots were studied by excavating trial pits and soils were described. For each vintage the Dryness index was estimated and pre-dawn leaf water potential was measured.

Vine response (vigor, yield and berry composition) was determined for each vineyard.

Three soil texture classes over two types of parent rock were observed. The soils formed over metamorphic rocks, coarse-textured and with lower depth and water availability had lower yield, lower vegetative development and higher concentration of compounds associated with berry quality. In contrast, vineyards on soils developed over quaternary sediments or on metamorphic rock but with greater water availability, showed the inverse response.

Conclusion: The amount of available water potential in root zone significantly affected plant growth, yield, bunch rot and berry composition.

³ Artículo en edición: Echeverría G, Ferrer M, Mirás-Avalos J, “Effects of soil type on vineyard performance and berry composition in the Río de la Plata Coast (Uruguay)” *Oeno-One* (Original File 1829).

Significance and impact of the study: According to edaphic conditions, it is possible to optimize grapevine production within the sub-region of Río de la Plata coast, by balancing the ratio source-sink for each soil through vineyard management.

Keywords: Soils, metamorphic rock, grapevine response, berry composition, Tannat

3.2.2. Introduction

Soils are essential components of viticultural terroirs, along with climate, plant and human factors (Seguin, 1986; Deloire *et al.*, 2005), influencing vineyard performance and berry and wine composition (Tisseyre *et al.*, 2007; Trought *et al.*, 2008; Van Leeuwen, 2010).

The volume of soil potentially explored by roots depends on its physical properties. Texture is widely used for characterizing soils and as a root-zone volume indicator (Oliver *et al.*, 2013). In fact, soil depth and clay fraction exert a strong influence on grapevine development and yield (Bodin and Morlat, 2006; Trought *et al.*, 2006), maybe because they determine water supply and aeration (Lanyon *et al.*, 2004; Tardáguila *et al.*, 2014). However, the apparent influence of soil properties on berry composition is indirect (Zerihun *et al.*, 2015), being mediated by their effects on canopy size, which is negatively associated with berry quality. On shallow soils, grape soluble solids content and pH were higher and titratable acidity was lower as reported by Trought *et al.*, (2008). Moreover, soils with less water and organic matter caused higher anthocyanins concentrations in grape skins (Cheng *et al.*, 2014).

Usually, soils devoted to quality-grape production showed low yields (Van Leeuwen *et al.*, 2008; Renouf *et al.*, 2010). However, if yield is to be used as a management goal in viticulture, optimal yield ranges for different cultivars, soil types and climatic conditions need to be developed, so soil quality should be monitored (Lanyon *et al.*, 2004). This is justified by the fact that high yields can be obtained in soils with large ranges in coarse elements or clays (Seguin, 1986); therefore, it is not possible to define an ideal soil using texture as the only basis (Seguin, 1983).

According to Morlat *et al.*, (1999), it is possible to estimate the terroir-induced vigor and precocity potential of the vines by considering soil depth, water availability, natural drainage, root depth and slope, amongst other factors. This approach has been validated by Bodin and Morlat, (2006) and Morlat and Bodin, (2006).

A number of studies reported that the best grape quality is obtained under moderate water stress conditions during the maturation period (Matthews and Anderson, 1988; Van Leeuwen and Seguin, 1994; Choné *et al.*, 2001; Ojeda *et al.*, 2002; Roby *et al.*, 2004). Absence of water deficit in vines during ripening determine a low quality potential due to an increase of competition between reproductive and vegetative sinks, as well as disorders in secondary metabolism (Koundouras *et al.*, 1999). Similarly, severe water stress has negative consequences for grape and wine quality (Morlat *et al.*, 1992).

Soil characterization is time-consuming and costly. Recently, electromagnetic sensors have been used for assessing soil apparent electrical conductivity (ECa), allowing for taking a large number of measurements in a short time and differentiating areas of the soil according to their water availability (Sudduth *et al.*, 2005; Goulet and Barbeau, 2006). The ECa is strongly correlated with soil texture (Bramley *et al.*, 2011; Rodríguez-Pérez, 2011) and proved to be a reliable predictor of within-field spatial variability, since it is significantly correlated with plant growth and yield (Bramley *et al.*, 2011; Rossi *et al.*, 2013). This technique allows for a rapid soil characterization that would facilitate taking decisions for vineyard management.

In Uruguay, viticultural areas are concentrated on the coastline of the Río de la Plata, mainly to the South and Southwest of the country, over soils formed from Quaternary sediments. In the last decade, vineyard surfaces have increased in the East of the country and other areas, over soils formed from metamorphic rocks (Celio, 2016).

In this context, the current study, conducted across four vintages, aimed to relate grapevine vegetative development, yield, and berry composition with textural soil class and water contents in order to characterize the potential of soils from six regions along the coast of Río de la Plata for viticultural production.

3.2.3. Materials and Methods

3.2.3.1 Location of the studied sites

Nine plots distributed throughout 300 km of the Uruguayan coast of Río de la Plata, on different types of soils and geological parent materials, were selected for the current study. The plots are numbered correlatively from W to E, placing plots 1 and 2 in Colonia del Sacramento, Colonia Department and plots 8 and 9 in Laguna del Sauce and Pueblo Edén, Maldonado Department (Supplementary Figure 1). This region is characterized by a high annual rainfall. According to the Instituto Nacional de Meteorología of Uruguay (<http://www.meteorologia.com.uy/ServCli/tablasEstadisticas>), accumulated rainfall over the growing season (September 1st to March 31st) is 721mm in the W, 662 mm in the region centre, and 645mm in the E of Uruguayan coast of Río de la Plata. The accumulated monthly average is 103 ± 17 mm in the W, 95 ± 10 mm in the region centre and 92 ± 16 mm in the E of Río de la Plata.

3.2.3.2. Description of the experimental plots

The study was conducted from 2011 to 2014 in nine commercial, non-irrigated vineyards, where experimental plots were defined. In each of them, 30 Tannat (*Vitis Vinifera* L.) vines, distributed in three rows with ten vines each, were randomly selected. Plants were trellised to Vertical Shoot Positioning, and pruned using a Guyot system; rows were oriented in the North-South direction in all sites. Location, rootstock, year of plantation and vine spacing are reported in Table 1.

Table 1. Characteristics of the studied vineyards.

Plot	Location	Site	Rootstock	Year of plantation	Spacing
1	34° 23' 47,40"S; 57° 52' 49,67"W	Real de Vera	3309C	2000	2.50m x 1.20m
2	34° 23' 17,40"S; 57°51' 07,37" W	Piedra de los Indios	3309C	1999	2.50m x 1.15m
3	34°07' 10,46" S; 56°56' 50,98" W	Mal Abrigo	3309C	2000	2.00m x 0.90m
4	34°36' 44,77" S; 56°14' 42,02" W	Juanicó	SO4	1998	2.50m x 1.10m
5	34°53' 04,55" S; 56°19' 24,33" W	Punta de Yeguas	3309C	2005	2.50m x 1.00m
6	34° 39' 30,43"S; 55°47' 56,11" W	Atlántida A	3309C	2006	2.50m x 0.90m
7	34°39' 36,70" S; 55°47' 55,22" W	Atlántida B	3309C	2006	2.50m x 1.00m
8	34°42' 31,74"; 55°03'31,56" W	Sierra Ballena	Gravesac	2004	2.50m x 1.00m
9	34°44'36,22" S; 55°01'16,42" W	Pueblo Edén	101-14Mg	2005	2.50m x 1.20m

3.2.3.3. Vine vigor measurements

Exposed Leaf Surface (SFEp) was estimated at veraison as proposed by Carbonneau (1995). At harvest, one shoot with clusters was collected from 10 vines; and leaves, clusters and wood were separated. The fresh weight per organ was measured, as well as shoots length. Then, samples were dried at 50°C in an oven, until stable weight was reached. This permitted to obtain the dry matter of the samples, which was expressed in dry weight per plant organ. Dry weight per linear meter was estimated using the average number of shoots per linear meter from all the vines in the plot and the average dry weight of 10 shoots. A relative indicator of vigor was expressed as dry weight per cm of shoot.

3.2.3.4. Root characterization

Roots were studied by excavating trial pits in the row from soil surface till the parent material. Amount, diameter and distribution of roots were determined at different distances from the vine axis and in parallel to the row. Roots were painted,

photographed and mapped over a 100 cm² grid. Roots were classified according to their diameter as < 3 mm, 3 to 5 mm and > 5 mm.

Root depth was defined as that till 90% of active roots (diameter <3 mm) could be found. This depth was used for estimating dryness index (DI) and soil textural class for the rootzone (TCra).

3.2.3.5. Soil characterization

Soils of each plot were described according to FAO, (2006) guidelines and classified following the USDA Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999). Two samples for physical and chemical analysis were taken from each horizon in the excavated trial pits. Moreover, at least five more samples were collected on each plot using a manual drill with the aim to complement the observations of structure, texture, depth and presence of active roots.

Soil texture was determined with the method of Bouyoucos, (1962) and soil organic carbon (SOC) with that of Walkley and Black, (1934). From clay, sand and silt contents of each horizon, the relative percentages of these fractions were calculated till the active-root depth; thereby assigning a new textural class corresponding to the rootzone (TCra).

During the 2012-2013 growing cycle, soil ECa was measured in the inter-row with an EM38 electromagnetic equipment (EM38-Geonics, Mississauga, Ontario, Canada), using the vertical dipole, taking at least one measurement every 7 plants. These measurements were performed on the same dates as pre-dawn leaf water potential readings.

The Dryness index (DI) was used to determine the available soil water, and was calculated according to Riou and Lebon, (2000), as adapted by Ferrer, (2007). The DI was estimated from September to harvest. The available water capacity (AWC) within the soil profile occupied by roots was estimated following the method proposed by Fernández, (1979). This measure was considered the starting point in the water balance.

3.2.3.6. Leaf water potential

Pre-dawn leaf water potential (LWP_{pd}) was determined with a pressure chamber (Soil moisture equipment, Santa Barbara, CA, USA). Measurements were made before dawn in 20 adult, healthy leaves per plot at four different stages of grapevine development: fruit-set, veraison, pre-harvest and harvest.

3.2.3.7. Yield components and bunch rot incidence

At harvest, the yield of the 30 plants per plot was individually weighed, the number of clusters was counted and the average weight per bunch was calculated by dividing yield per vine to the number of clusters. Rot incidence was estimated by weighing separately bunches with at least 5% of berries affected, and it was expressed as the percentage of total yield per vine.

Berry weight was measured in samples of 250 randomly collected berries.

3.2.3.8. Grape samples and analysis

Harvest was carried out at “technological maturity” for each plot. In the case of Tannat, the criteria for determining the harvest date were: maximal sugar contents (g/L), total acidity values (gH₂SO₄) between 4.0 to 5.5, pH ranging between 3.2 and 3.5 and onset of berry weight decrease. Moreover, the appearance of notorious symptoms of bunch rot and/or pH greater than 3.50 prevails over other parameters for deciding on harvesting. These parameters were analyzed periodically according to OIV, (2009) methods. For this purpose, replicated 250-berry samples from all vines in each plot were collected weekly from veraison to harvest. Berry composition was determined after manually destemming the berries and obtaining the juice by crushing the pulp with an electric blender (HR2290, Phillips, The Netherlands). Soluble solids contents (SS) were measured using a refractometer (Atago N1, Atago, Tokyo, Japan); pH was determined with a pH meter (HI8521, Hanna Instruments, Villafranca Padovana, Italy) and total acidity (TA) was measured by titration and expressed as g sulfuric acid/L juice.

Total anthocyanins (ApH₁), extractable anthocyanins (ApH 3.2), phenolic richness (A₂₈₀) and cell maturity index (EA) were determined in the grape samples

according to Glories and Augustin (1993). All the measurements were carried out in duplicate with a Shimadzu UV-1240 Mini (Shimadzu, Japan) spectrophotometer, using glass (for anthocyanins) and quartz (for the absorbance at 280 nm) cells with 1 cm of path length. The indexes were calculated considering the respective dilution of the grape extracts, according to González-Neves *et al.* (2004).

3.2.3.9. Statistical analysis

Multivariate techniques, such as Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Clustering (HC), were used to determine relations between vigor, yield and berry composition traits with soil class. Variables were standardized by vintage year, as follows:

$$SV_x = \frac{V_x - \bar{V}}{SD_v}$$

where V_x is the value of the original variable in position x (mean by plot and year), $\bar{V}$ and SD_v are, respectively, the average and the standard deviation of the original variable by vintage year.

Plant response to TCra was analyzed by MANOVA and means were separated using the LSD Fisher test ($p < 0.10$)

Discriminant analysis was used to characterize the relationships between, soil (Depth, AWC, ECa, DI) and vine (LWPpd) water-related variables, with Textural class and Geological material. Moreover, Pearson's correlation coefficient was employed to assess significant relationships among variables.

All the statistical analyses were carried out using the Info Stat software.

3.2.4. Results

According to the USDA classification, three soil groups were identified on the studied vineyards (Table 2), and they belonged to three textural classes: silty-clay-loam, silty-clay and clay loam. Parent materials were either Quaternary sediments or Metamorphic rocks ("average degree" and "quaternary sediments"). In plot 9, the presence of limestone over the metamorphic rock justified the sub-classification.

Great differences among sites were observed for rootzone depth, varying from 36 to 70 cm, soils formed over metamorphic rocks being the shallowest. Depth, soil textural class and SOC determine water reserve potentials, which ranged from 57 to 123 mm. According to the monthly rainfall regime in the region (96.7 mm per month), soils would be at field capacity in springtime.

Table 2. Main soil characteristics for each plot.

Plot	Geology (parent rock)	USDA soil classification	Depth* (cm)	AWC* (mm)	Textural class* (TCra)
1	Quaternary sediments (QS)	Typic Argiudoll	50	96	Silty clay loam
2	Quaternary sediments (QS)	Typic Argiudoll	56	97	Silty clay loam
3	Metamorphic rock average degree (MRad)	Typic Hapludoll	36	76	Clay loam
4	Quaternary sediments (QS)	Vertic Argiudoll	70	123	Silty clay
5	Quaternary sediments (QS)	Typic Argiudoll	60	110	Silty clay
6	Metamorphic rock (MR)	Typic Hapludert	43	67	Clay loam
7	Metamorphic rock (MR)	Abruptic Argiudoll	36	57	Clay loam
8	Metamorphic rock (MR)	Lithic Hapludoll	36	68	Clay loam
9	Metamorphic rock and quaternary sediments (MR/QS)	Abruptic Argiudoll	54	85	Clay loam

*Depth with 90% of visible roots with a diameter lower than 3 mm

Significant differences in vine vigor were detected amongst soil TCra classes (Table 3). Clay loam soils showed lower values of SFEp, whereas shoot length was lower under silty-clay-loam soils. No significant differences among soil classes were detected for total shoot and linear dry weights. However, vines grown on clay loam soils presented the highest dry weight per cm of shoot. In summary, biomass production was lower in clay-loam soils.

Table 3. Vine response according to soil textural classes (Means $\pm$ standard deviations).

Variables type	Variable	TCra		
		Silty clay	Clay loam	Silty clay loam
Vine vigor	SFEp ($\text{m}^2 \cdot \text{plant}^{-1}$)	1.81 ab $\pm$ 0.30	1.61 b $\pm$ 0.31	1.89 a $\pm$ 0.24
	Shoot long (cm)	129 a $\pm$ 39	127 a $\pm$ 28	100 b $\pm$ 9
	Total shoot dry weight (g)	188 a $\pm$ 44	164 a $\pm$ 51	189 a $\pm$ 59
	Total linear dry weight ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$)	2.29 a $\pm$ 0.48	1.99 a $\pm$ 0.67	2.22 a $\pm$ 0.54
	Total dry weight per cm of wood ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-1}$)	204 b $\pm$ 33	269 a $\pm$ 53	248 ab $\pm$ 46
Yield components	Berry weight (g)	1.68 a $\pm$ 0.12	1.66 a $\pm$ 0.16	1.70 a $\pm$ 0.17
	Fruit yield ($\text{g} \cdot \text{vine}^{-1}$)	5417 a $\pm$ 2096	1918 b $\pm$ 610	4775 a $\pm$ 2028
	Bunch rot ($\text{g} \cdot \text{vine}^{-1}$)	2602 a $\pm$ 2310	312 b $\pm$ 392	328 b $\pm$ 441
	Bunch dry weight (g)	128 ab $\pm$ 38	103 b $\pm$ 39	103 b $\pm$ 39
Berry composition	SS ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	203 a $\pm$ 36	224 a $\pm$ 25	216 a $\pm$ 13
	TA ($\text{g H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{L}^{-1}$)	5.2 a $\pm$ 1.8	5.1 a $\pm$ 1.3	4.2 a $\pm$ 0.6
	pH	3.37 a $\pm$ 0.25	3.54 a $\pm$ 0.11	3.56 a $\pm$ 0.09
	ApH1 ($\text{mg EMG} \cdot \text{L}^{-1}$)	1583 b $\pm$ 822	2096 a $\pm$ 517	1708 ab $\pm$ 230
	ApH3.2 ($\text{mg EMG} \cdot \text{L}^{-1}$)	777 b $\pm$ 386	982 a $\pm$ 213	860 ab $\pm$ 150
	EA (%)	49.2 a $\pm$ 10.5	51.4 a $\pm$ 10.5	49.5 a $\pm$ 7.2
	A280	57.5 b $\pm$ 17.0	73.6 a $\pm$ 13.6	53.9 b $\pm$ 11.9
Pre-dawn leaf water potential (Veraison-harvest)	LWPPd (MPa)	-0.26 a $\pm$ 0.16	-0.27 a $\pm$ 0.17	-0.24 a $\pm$ 0.17

*EMG = malvidin-3-glucoside equivalent.

Values on each row followed by different letters are significantly different according to the LSD Fisher ($p \leq 0.10$).

Yield components showed significant differences amongst soil classes (Table 3), except for berry weight. Vines on clay-loam soils showed lower values of yield, bunch dry weight and rot incidence. Vineyards grown on silty clay soils showed the highest yield and bunch rot incidence.

Berry composition was mainly unaffected by soil textural class, except for the phenolic and anthocyanins concentrations (Table 3). Vineyards on clay loam soils produced berries with the highest concentrations on total and extractable anthocyanins and phenolic compounds, whereas the lowest values were observed for berries from vineyards on silty clay soils. No significant differences were detected for SS, TA, pH and EA.

Vine variables (vigor, yield components, sanitary status and berry composition) were separated according to plot and soil TCra classes by a PCA (Figure 1). The principal component (PC) 1 explained 37.6% of the variance and PC 2 explained 17.1%, hence the first two PC explained 54.7% of the total variance in the dataset.

Those attributes associated to berry quality (SS, EA, ApH1, ApH3.2 and A280) are located on the negative side of PC1, close to plots 6, 7 and 8, with clay loam soils. In addition, plot 9 (clay loam soil) was associated to berry quality, although with higher pH values and lower yields than the former plots. Plot 3, also on clay loam soils, was not related to quality attributes but with vigor variables.

Yield components were located close to plots 4 and 5, on silty clay soils, and plots 1 and 2 on silty clay loam, on the positive side of PC1. This group of plots was associated to less negative values of LWPPd.

In contrast, biomass production (dry weight of shoot per linear meter, total shoot dry weight and bunch dry and SFEp per vine) had a more heterogeneous distribution. Shoot length, SFEp per vine and dry weight per shoot by m were located close to plot 5 (Silty clay) and 3 (Clay loam), in the negative side of PC2. In contrast, total shoot dry weight and yield components (Berry weight and Bunch dry weight) were located in the positive side of PC2.

Berry composition variables were negatively correlated with yield and vigor, except for shoot length and Dry weight per cm shoot.

Complementarily, a negative correlation between SFEp vine and EA was observed. A positive correlation between Dry weight per cm shoot and anthocyanins, and a negative correlation with Bunch rot weight were also shown by PCA. Moreover, a negative correlation between Dry weight per shoot by m and berry sugar and phenolic concentrations was also detected. Berry pH showed a negative correlation with yield components.

The LWPPd measured between veraison and harvest showed less negative values for vines over Silty Clay and Silty clay loam soils and more negative values for those grown on Clay loam soils. The LWPPd was negatively correlated with TA.

Parent rock of each plot allowed for associating quality attributes with yield over MR, whereas vigor and yield were related to QS. The sub-classes established for MR, such as MRad and MR/QS showed an intermediate behavior.

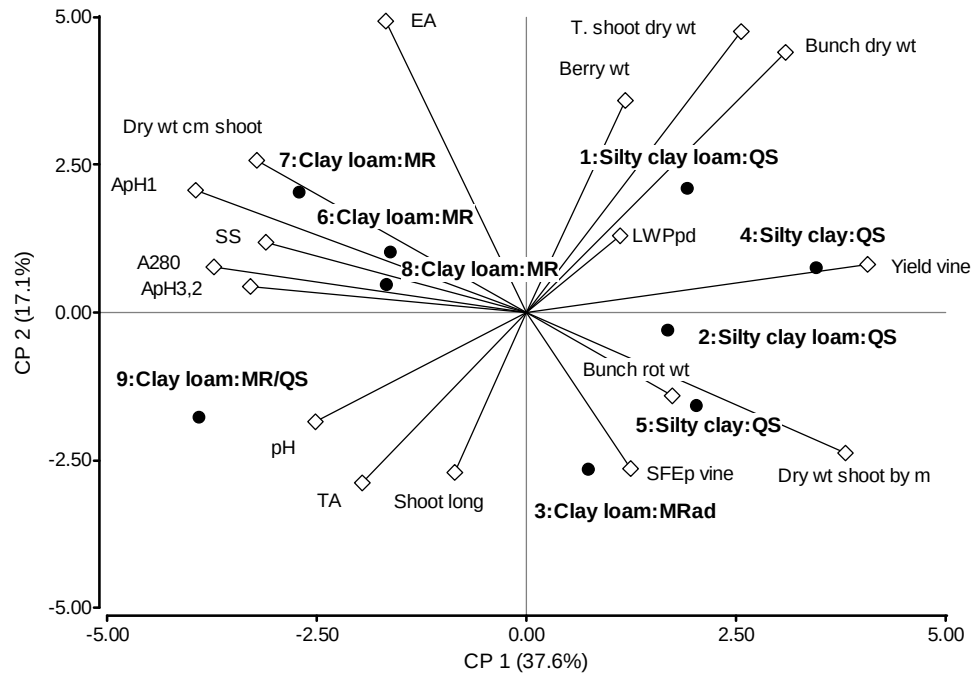


Figure 1. Discrimination of vine vigor, yield components and berry composition variables at harvest, as a function of plot, textural class in the active rootzone (TCar) and Geology. Variables were standardized per vintage year.

When performed on the vine vigor variables, HC (Figure 2A) grouped together plots 6, 7 and 9 (clay loam), plots 1-2 (silty clay loam) and plots 4, 8, 5 and 3 (silty clay and clay soils).

When using yield components, HC grouped plots according to soil parent material (Figure 2B). As an example, plots 3, 7 and 8 had the highest coarse particle content in the soil profile and a metamorphic rock at low depth, whereas plot 6 had the same parent material but at greater depth.

For berry composition (Figure 2C), HC gathered the plots in two groups. The first one includes plots 6, 7, 8 and 9 (clay loam soils) and the second group consists of plots 4, 5 (silty clay soils), 1, 2 (silty clay loam) and 3 (clay loam soils).

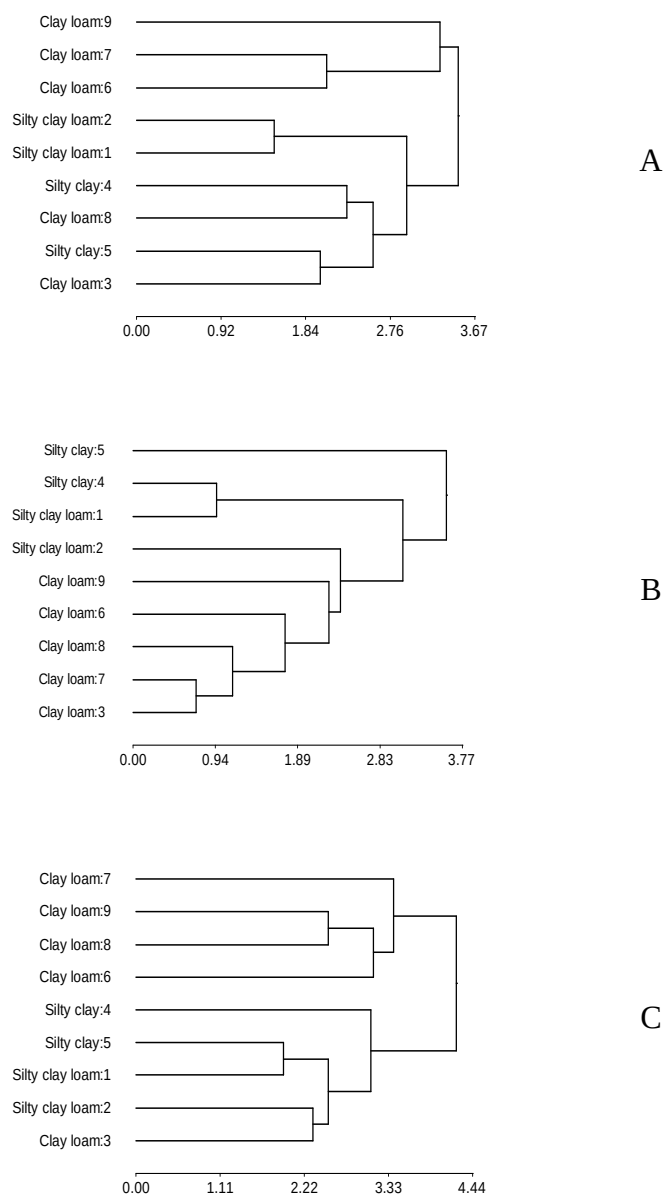


Figure 2. Ascending hierarchical classification (Euclidian mean) grouping plots and soil textural classes (TCar) for similarity of: vine vigor (A), yield components (B) and berry composition (C).

The relationship between TCra and those soil properties related with water availability for plants (ECa, depth, AWC, DI and LWPpd) was studied over the 2013 growing cycle. Discriminant analysis (Figure 3A) showed that most of the variability among plots was distributed along the first canonical axis. Clay loam and silty clay

soils were clearly separated by the prediction ellipses, whereas silty clay loam soils appeared to have a behavior similar to that of the silty clay soils. The most important variable for this separation was AWC. When parent material was included in the analysis (Figure 3B), five independent groups were observed, except for a slight interception area between the ellipses for silty clay/QS and silty clay loam/QS soils.

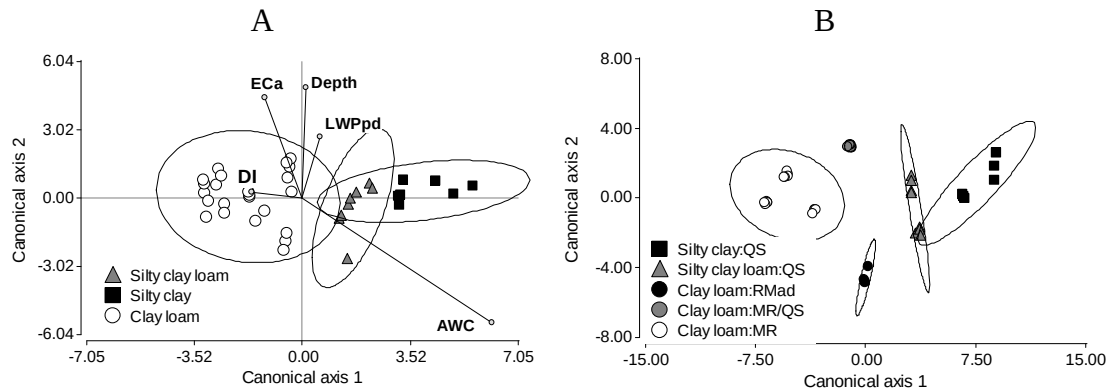


Figure 3. Discriminant analysis and prediction ellipses of measurements of soil apparent electrical conductivity (ECa), pre-dawn leaf water potential (LWPpd), soil available water capacity (AWC) and Dryness index (DI) in the nine studied plots. A- As per soil class (TCra) and B- As per soil class (TCra) and geology. Data correspond to the growing cycle of 2013.

Pearson correlation coefficients (Supplementary Table 1) for the aforementioned variables proved a strong correlation between depth and AWC, suggesting that soil depth is a determinant factor on soil water availability. A significant correlation was also observed between AWC and DI ($r=0.44$, $p<0.05$). Moreover, a high correlation was observed between ECa and Depth ($r=0.83$, $p<0.001$) and ECa and AWC ($r=0.81$, $p<0.001$). A lower correlation coefficient was observed between ECa and DI ($r=0.37$, $p<0.05$). Finally, LWPpd measurements were not significantly related to any of the soil water availability variables studied.

Significant correlations between AWC and vigor, yield and berry composition variables for the growing cycles of 2011 to 2014 were observed. Significant positive correlations were detected between AWC and SFEp per vine ($r=0.53$, $p<0.001$), yield per vine ($r=0.70$, $p<0.001$) and bunch rot weight ($r=0.47$, $p<0.05$); whereas negative

relations were found for AWC and dry weight per shoot ($r = -0.51$, $p < 0.05$), SS ($r = -0.33$, $p < 0.1$), pH ($r = -0.38$, $p < 0.05$), ApH1 ($r = -0.43$, $p < 0.05$) and A280 ($r = -0.43$, $p < 0.05$). The rest of correlations with AWC had r values less than 0.3 or $p > 0.1$.

3.2.5. Discussion

In this study, the potential for viticultural production of soils from six regions along the coast of Río de la Plata was characterized for the first time. As reported by a number of authors (Tisseyre *et al.*, 2007; Trought *et al.*, 2008; Van Leeuwen, 2010), the soil influence on vegetative expression, yield, berry composition and vine sanitary status was verified. Soil physical properties and rootzone depth were highly correlated with vine performance, as previously indicated by Bodin and Morlat, (2006); Trought *et al.*, (2006) and Oliver *et al.*, (2013).

Apart from texture, soil structure plays a relevant role on vineyard performance. In some plots with high contents of fine-size particles, roots were not able to explore deep soil layers. The presence of Bt horizons with high clay contents limited root development at greater depths due to physical limitations and lack of oxygen. Nevertheless, Typic and Vertic Argiudoll soils associated with quaternary sediments (QS) showed greater rootzone depths than Hapludoll and Hapludert soils, but also than Abruptic Argiudoll soils when they are formed from metamorphic rocks (MR or MRad). In fact, our results showed that the presence of a silty layer between the soil and MR in the Abruptic Argiudoll soil from plot 9 created deeper soils. Independently of the assigned textural class (TCra) and parent material, except for plot 1, all vineyards had a Bt horizon with more than 40% clay (data not shown). This is a common and distinctive characteristic of the soils from this region.

In accordance with the reports of van Leeuwen *et al.*, (2008) and Renouf *et al.*, (2010), a negative correlation was observed between two groups of variables: one group associated to berry quality and the other one related to vigor and yield. Even though the concentration and the evolution of compounds from the primary metabolism (SS, TA and pH) is part of the criteria used for deciding harvest date, there was a trend to obtain similar results between different regions on the same season; however, they did not reflect the velocity in the accumulation of these

compounds. Moreover, when the comparison of these variables accounted for the effect of the year, as expressed by the averages and standard deviations as a function of soil class in the ANOVA, differences were not significant. In contrast, secondary metabolites were different among soil classes, even when including the year effect.

Vines grown on deep soils formed on QS and classified as silty clay or silty clay loam showed a greater vegetative expression than those grown on clay loam soils on MR. ANOVA results for vigor variables confirmed this trend, even though not significant differences were detected for total shoot dry weight and total linear dry weight. The HC analysis for vigor variables grouped the plots according to TCra, except for plots 3 and 8 that belonged to the clay loam class and were classified with other plots on silty clay soils because they had high values of dry weight per cm of shoot and shoot length. It is possible that in those plots, the relative importance of SFEp would be small due to a larger distance between shoots, which might promote an increase in shoot diameter and length without significantly increasing leaf surface. Nevertheless, the different analyses performed did not provide contradictory results, thus an association among soil physical properties and the potential for biomass production can be established, according to the model proposed by Morlat *et al.*, (1999); Bodin and Morlat, (2006) and Morlat and Bodin, (2006).

Silty clay and silty clay loam soils, deeper and lighter textured, determined higher values for yield components. According to Wang *et al.*, (2001), the size of the root system has a direct effect on shoot growth and, consequently, higher yields per vine, greater berry and bunch dry weights.

Hierarchical clustering for yield components showed plots ordered by geological material, TCra and AWC almost perfectly, from plot 5 with a high AWC till plot 7 with the lowest AWC. In summary, yield components were greater on soils over QS, with lighter texture and higher AWC, as previously reported by Lanyon *et al.*, (2004) and Tardáguila *et al.*, (2011). In fact, yield from vineyards on clay loam soils was 35.4% and 40.1% that of vineyards from silty clay and silty clay loam soils, respectively.

Better results for berry quality traits were obtained under shallow soils with coarse texture. Bunch sanitary state, concentrations of total and extractable anthocyanins, tannins and soluble solids were higher in vineyards grown on these soils. According to the Morlat, (1999) approach, soil properties in plots 3, 6, 7, 8 and 9 would generate a moderate water stress during maturation, thus favoring berry quality (Matthews and Anderson, 1988; Van Leeuwen and Seguin, 1994; Choné *et al.*, 2001; Ojeda *et al.*, 2002; Roby *et al.*, 2004; Mirás-Avalos *et al.*, 2013). However, the weak correlation between the LWPPd at maturation and some berry traits such as SS and AT that is hinted by PCA, proving that vine water status at maturation is not enough for explaining the plant qualitative response to water availability. In fact, when LWPPd measurements were initiated, vines had already attained the maximum vegetative development for the season. Therefore, in case no cultural practices (defoliation, cluster thinning) are performed the source: sink ratio would be determined at veraison, as well as the yield potential and the synthesis of compounds in the berry. The modulation of this potential would be dependent on the severity of the water stress at maturation, determined by DI and other environmental conditions (such as solar irradiation) and management practices (e.g. plant architecture). This implies interactions within the production system and assigns a negative correlation between vigor and berry composition, as expressed by Zerihun *et al.*, (2015). Similarly to the results from the discriminant analysis, hierarchical clustering gathered plots in two groups as a function of berry composition attributes, depending on TCra and parent material. As in the former cases, plot 3 (clay loam and MRad) was included into the group of deep soils with light textures developed on QS. The hypotheses for explaining this behavior would be: i) the higher AWC in relation to plots 6, 7 and 8 (also classified as clay loam) causes less water stress, thus affecting berry composition; ii) since this soil presented a complex structure, and due to plant age, a second level of roots within the sub-soil may exist and vines have capacity to take water from this sub-soil when fine roots from upper layers would have limited ability to do so. The latter hypothesis represents an additional buffer capacity, as mentioned by Hunter *et al.*, (2010).

Another possible factor is the percentage of soil organic matter (data not shown) because of its negative correlation with the synthesis of ApH1 ($r = -0.34$; $p = 0.08$) and ApH3.2 ($r = -0.37$; $p = 0.06$). Soil organic matter (SOM) depends on soil type and also on its management. In the rootzone, the lowest values of SOM were detected in plots 6, 7, 8 and 9 (Clay loam), then plots 1 and 2 (silty clay loam) and plots 4 and 5 (silty clay), as expected. However, plot 3 (clay loam) on MR showed soils with the highest SOM, even higher than that of soils formed on QS. This fact is justified by the conversion of natural prairies for grazing to vineyards. The high levels of SOM explain the high AWC of plot 3 (the proportion of SOM is used on its estimation), the high level of vigor (SFEp, vine and shoot length) and, as a consequence, a reduction in berry quality. With a normal precipitation regime during springtime, the plot 3 would not present water deficits during this stage, which in combination with N abundance, would favor a vigorous canopy and root development.

As suggested by Cheng *et al.*, (2014), plots 6, 7 y 8, with less water and organic matter, were related to the highest anthocyanins concentrations in grape skins. Soil conditions in these plots would create a balance in the vines biased to sinks (low Ravaz index) causing shoots with greater diameter and longer internodes, thus reducing yield and increasing the concentration of quality traits in the berries.

Sanitary problems observed in vineyards grown on silty clay soils would be associated to the greater vigor of the vines, which is related to vine microclimate and increasing humidity within the canopy (Ferrer *et al.*, 2011).

Soil depth is the main factor determining AWC ($r = 0.93$) along with texture and soil organic carbon. The measurements of soil electrical conductivity (ECa) were strongly correlated with AWC, as pointed out by Sudduth *et al.*, (2005) and Goulet and Barbeau, (2006), and proved to be a reliable predictor of within-field spatial variability of AWC that significantly affected plant growth and yield (Bramley *et al.*, 2011; Rossi *et al.*, 2013).

From a perspective of a given yield level that allows the expression of the terroir and the economic sustainability of the wineries, optimal thresholds for the

ratio source-sink for each soil should be defined in order to maximize yields without compromising berry quality.

3.2.6. Conclusions

The current study proved that soil water availability is variable and depends on depth and texture, which are correlated with soil geological origin.

Soils with lighter textures, deeper and developed on quaternary sediments induced a greater vegetative growth, higher yields and more sanitary problems. In contrast, coarse-textured soils, formed over metamorphic rocks favored the production of musts of better quality.

Moreover, this study proved the need for further investigation on soil fertility since this is linked to physical conditions and soil use history. According to edaphic conditions, it was possible to define the viticultural interest of different areas within the sub-regions of Río de la Plata coast. From the center of the region to the west, in a 40-km strip of coastline it is possible to achieve high yields, whereas to the east, lower yields but with better quality are expected.

3.2.7. References

- Bodin F. & Morlat R. (2006): Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth I. validation of the water supply regime, phenology and vine vigour, in the Anjou vineyard (France). *Plant and Soil*, 281(1-2), 37-54. doi:10.1007/s11104-005-3768-0
- Bouyoucos G. J. (1962): Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy journal*, 54(5), 464-465.
- Bramley R. G. V. (2010): Precision viticulture: Managing vineyard variability for improved quality outcomes. *Managing wine quality: Viticulture and wine quality* (pp. 445-480) doi:10.1533/9781845699284.3.445
- Bramley R. G. V., Ouzman, J. & Boss P. K. (2011): Variation in vine vigour, grape yield and vineyard soils and topography as indicators of variation in the chemical composition of grapes, wine and wine sensory attributes. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 17(2), 217-229. doi:10.1111/j.1755-0238.2011.00136.x
- Carbonneau A. (1995): La surface foliaire exposée; guide pour sa mesure. *Le Progrès Agricole et Viticole*. 112(2), 204-212.

- Celio A. (2016): Geología y vino: caracterización mediante elementos traza e isotopos estables de posibles Terroirs ubicados sobre diferentes unidades geológicas de Uruguay. Tesis de Maestría. Montevideo- Uruguay, Facultad de Ciencias, Universidad de la República. 160 p.
- Cheng G., He Y. N., Yue T. X., Wang, J. & Zhang Z. W. (2014): Effects of climatic conditions and soil properties on Cabernet sauvignon berry growth and anthocyanin profiles. *Molecules*, 19(9), 13683-13703.
- Choné X., Van Leeuwen C., Chery P. & Ribereau-Gayon P. (2001): Terroir influence on water status and nitrogen status of non-irrigated Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera*) Vegetative development, must and wine composition (example of a Medoc top estate vineyard, Saint Julien area, Bordeaux, 1997). *South African Journal of Enology and Viticulture* 22–1, 8–15.
- Coomb, B. G. (1995): Growth stages of the grapevine: Adoption of a system for identifying grapevine growth stages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1(2), 104-110. doi:10.1111/j.1755-0238.1995.tb00086.x
- Deloire A., Vaudour E., Carey V., Bonnardot V., & Van Leeuwen C. (2005): Grapevine responses to terroir: a global approach. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 39, 149–162
- FAO (2006): Guidelines for Soil Description. 4th ed. Rome.
- Fernández C.J. (1979): Estimaciones de la densidad aparente, retención de agua disponible en el suelo a partir de la composición granulométrica y porcentaje de materia orgánica. In: Reunión técnica de la Facultad de Agronomía, 2, Anais Universidad de la República, Montevideo, 53 pp.
- Ferrer M., Pedocchi R., Michelazzo M., González Neves G. & Carbonneau A. (2007): Delimitación y descripción de regiones vitícolas del Uruguay en base al método de clasificación climática multicriterio utilizando índices bioclimáticos adaptados a las condiciones del cultivo. *Agrociencia*, 11(1), 47-56.
- Ferrer M., González-Neves G., Camussi G., Echeverria G., & Carbonneau A. (2011): Variety, plant architecture and pruning methods: influence on grey mould of grapevine. *Le Progrès agricole et viticole*, 18, 367-371.
- Glories Y. & Augustin M. (1993): Maturité phénolique du raisin, conséquences technologiques: application aux millésimes 1991 et 1992. In CR Colloque Journée Techn. CIVB, Bordeaux 56-61.
- González-Neves G., Charamelo D., Balado J., Barreiro L., Bochicchio R., Gatto G., Gil G., Tessore A., Carbonneau A. & Moutounet M. (2004): Phenolic potential of Tannat, Cabernet-

- Sauvignon and Merlot grapes and their correspondence with wine composition. *Analytica chimica acta* 513 (1): 191-196.
- Goulet E. & Barbeau G. (2006): Contribution of soil electric resistivity measurements to the studies on soil/grapevine water relations. [Apports des mesures de résistivité électrique du sol dans les études sur le fonctionnement hydrique du système sol/vigne] *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 40(2), 57-69
- Hunter J.J., Archer E. & Volschenk C.G. (2010): Vineyard management for environment valorisation. In: VIIIth International Terroir Congress, June 2010, Soave, Italy, 7-15.
- Hunter J. J., Archer E., Van Schalkwyk D., Strever A. E. & Volschenk C. G. (2016): Grapevine roots: Interaction with natural factors and agronomic practices doi:10.17660 / *Acta Horticulturae*, 2016.1136.10
- Koundouras S., Van Leeuwen C., Seguin G. & Glories Y. (1999): Influence of water status on vine vegetative growth, berry ripening and wine characteristics in mediterranean zone (example of Nemea, Greece, variety saint-george, 1997). [Influence de l'alimentation en eau sur la croissance de la vigne, la maturation des raisins et les caractéristiques des vins en zone méditerranéenne (exemple de némée, Grèce, cépage Saint-Georges, 1997)] *Journal International Des Sciences De La Vigne Et Du Vin*, 33(4), 149-160.
- Lanyon D. M., Hansen D. & Cass A. (2004): The effect of soil properties on vine performance. CSIRO Land and Water. Technical Report 34/04 *Glen Osmond*, Australia.
- Matthews M. A. & Anderson M. M. (1988): Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: responses to seasonal water deficits. *American Journal of enology and Viticulture*, 39(4), 313-320.
- Mirás-Avalos J.M., Trigo Córdoba E., Bouzas Cid Y., Díaz Losada E. & Orriols Fernández I. (2013): Relación entre humedad del suelo y estado hídrico de albariño bajo condiciones de riego y secano. *Estudios en la Zona No Saturada del Suelo* vol. XI, 85-90.
- Molfino J. H. & Califra A. (2004): Evaluación del drenaje natural de las tierras del Uruguay (Primera aproximación) Departamento Estudios Básicos de Suelos y Evaluación de Tierras DSA/RENARE/MGAP.
- Morlat R. & Bodin F. (2006): Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth - II. Validation of the grape yield and berry quality in the Anjou vineyard (France). *Plant and Soil*, 281(1-2), 55-69. doi:10.1007/s11104-005-3769-z
- Morlat R., Penavayre M., Jacquet A., Asselin C. & Lemaitre C. (1992) : Influence des terroirs sur le fonctionnement hydrique et la photosynthèse de la vigne en millésime exceptionnellement sec (1990). Conséquence sur la maturation du raisin. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 26(4), 197-220.

- Morlat R., Guilbault P. & Rioux D.(1999) : Une Méthode Opérationnelle d'Étude des Terroirs Viticoles et de Leurs Effets Sur la Vigne et Le Vin: Optimisation et Valorisation Par la Viticulture. Application Au Vignoble de l'Anjou (Val de Loire, France), pp. 198.Rapport méthodologique de fin de contrat du programme Terroirs d'Anjou (1994-1999)
- OIV (2009): International Oenological Codex. Organización Internationale de la Vigne et du Vin. Paris: OIV. 368p.
- Ojeda H., Andary C., Kraeva E., Carbonneau A. & Deloire A. (2002): Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of vitis vinifera cv. shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4), 261-267
- Oliver D. P., Bramley R. G. V., Riches D., Porter I. & Edwards J. (2013): Review: Soil physical and chemical properties as indicators of soil quality in australian viticulture. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19(2), 129-139. doi:10.1111/ajgw.12016
- Renouf V., Tregoeat O., Roby J. & Van Leeuwen C. (2010): Soils, rootstocks and grapevine varieties in prestigious bordeaux vineyards and their impact on yield and quality. *Journal International Des Sciences De La Vigne Et Du Vin*, 44(3), 127-134.
- Riou Ch. & Lebon E. (2000) : Application d'un modèle de bilan hydrique et de la mesure de la température de couvert au diagnostic du stress hydrique de la vigne à la parcelle. *Bulletin de l'OIV*, (837-461 838) 755 - 764.
- Roby G., Harbertson J. F., Adams D. A. & Matthews M. A. (2004): Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(2), 100-107.
- Rodríguez-Pérez J. R., Plant R. E., Lambert J. J. & Smart D. R. (2011): Using apparent soil electrical conductivity (ECa) to characterize vineyard soils of high clay content. *Precision agriculture*, 12(6), 775-794.
- Rossi R., Pollice A., Diago M. P., Oliveira M., Millan B., Bitella G., Amato M. & Tardaguila J. (2013): Using an automatic resistivity profiler soil sensor on-the-go in precision viticulture. *Sensors*, 13(1), 1121-1136.
- Seguin G. (1983) : Influence des terroirs viticoles sur la constitution et la qualité des vendanges. *Bulletin de l'OIV*, 56, (623), 3-18.
- Seguin G. (1986): Terroirs and pedology of wine growing. *Experientia* 42, 861–873

- Soil Survey Staff. (1999): Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.
- Strever A. E. (2007): Remote sensing as a tool for viticulture research in south-africa with specific reference to terroir studies. Proc. Int. Workshop on Advances in Grapevine and Wine Research, Venosa, Italy, 15-17 September 2005, *Acta Horticulturae*, 754, 393-399.
- Sudduth K. A., Kitchen N. R., Wiebold W. J., Batchelor W. D., Bollero G. A., Bullock D. G., Clay D.E., Palm H.L., Pierce F.J., Schuler R.T. & Thelen K. D. (2005): Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1-3 SPEC. ISS.), 263-283. doi:10.1016/j.compag.2004.11.010
- Tardáguila J., Baluja J., Arpon L., Balda P. & Oliveira M. (2011): Variations of soil properties affect the vegetative growth and yield components of “Tempranillo” grapevines. *Precision Agriculture*, 12(5), 762-773.
- Tisseyre B., Ojeda H. & Taylor J. (2007): New technologies and methodologies for site-specific viticulture. *Journal International Des Sciences De La Vigne Et Du Vin*, 41, 63–76.
- Trought M., Dixon R., Mills M., Greven M., Agnew R., Maku J. & Praat J.P. (2006): The impact of differences in soil texture within a vineyard on vine development and wine quality. Proc.VIth Int. Terroir Congress, van Leeuwen et al. Eds., ENITA de Bordeaux – Syndicat Viticole des Coteaux du Languedoc, France, 2-7 July 2006 133-138.
- Trought M.C.T., Dixon R., Mills T., Greven M., Agnew R., Mauk J.L. & Praat, J.P. (2008): The impact of differences in soil texture within a vineyard on vine vigour, vine earliness and juice composition. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 42(2), 62-72.
- Van Leeuwen C. (2010): Terroir: The effect of the physical environment on vine growth, grape ripening and wine sensory attributes. *Managing wine quality*: (pp. 273-315)
- Van Leeuwen C., & Seguin G. (1994): Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* variété Cabernet franc, Saint-Emilion, 1990). *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 28(2), 81-110.
- Van Leeuwen C., Renouf V., Tregoat O., Marguerit E. & Roby J.P. (2008): Soils and plant material in prestigious Bordeaux vineyards. Impacts on yield and quality. In Prosiding VIIth International Terroir Congress, 20- 23 May 2008, Changins, Switzerland.
- Van Leeuwen C., Tregoat O., Choné X., Bois B., Pernet D. & Gaudillère J. P. (2009): Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red bordeaux wine. how can it

be assessed for vineyard management purposes? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 43(3), 121-134.

Walkley A. & Black I.A. (1934): An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38.

Wang S., Okamoto G., Hirano K., Lu J. & Zhang, C. (2001): Effects of restricted rooting volume on vine growth and berry development of kyoho grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52(3), 248-253.

Zerihun A., McClymont L., Lanyon D., Goodwin I. & Gibberd M. (2015): Deconvoluting effects of vine and soil properties on grape berry composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), 193-203.

4. QUANTIFYING THE RELATIVE IMPACT OF PHYSICAL AND HUMAN FACTORS ON THE VITICULTURAL EXPRESSION OF TERROIR⁴

4.1 ABSTRACT.

This work assesses the relative importance of the terroirs factors: climate, soil and the relation source-sink, on the vegetative development, yield, berry composition and plant sanitary status. The study was carried out between 2011 and 2014 in nine vineyards from six viticultural regions over the coast of Río de la Plata (Uruguay). The cultivar studied was Tannat, vertically trellised and north-south oriented. The year effect refers to climate, which was characterized using solar irradiation and three indices. The soil was characterized using pits and physico-chemical analyses, to determine three textural categories and to define soil depth and water availability. The source-sink relationship referred to four categories of relations between leaf surface and yield per vine. Statistical analyses included a Mixed Model with random effects to determine the relative importance of each factor to the total variability within the dataset. Total yield per vine was explained by the source-sink relationship, the year and their interaction, both linked to the rainfall amount occurred during the maturation period. The synthesis of primary compounds in the berries was more dependent on the year and the interaction of soil and year with the source-sink relationship. Secondary compound concentrations in the berry depended mainly on the source-sink relationship and climate. This study represents a significant advance to the knowledge of grapevine adaptation to the Río de la Plata terroirs, assigning a fundamental role to the vine grower actions. The growers can modulate grapevine balance as a function of the environment.

Keywords: berry composition, soil, Tannat, terroir, yield.

⁴ Artículo: Echeverría G., Ferrer M., Mirás-Ávalos J.M. (2017) Quantifying the relative impact of physical and human factors on the viticultural expression of terroir. International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR) ISSN: [2454-1850] [Vol-3, Issue-4, April- 2017]

4.2 INTRODUCTION

Terroir can be defined as the interaction amongst the elements that constitute a given ecosystem: climate, soil and grapevine within a given geographical location [1], and human factors, expressed as the viticultural practices [2]. Harvest yield and quality, as well as the typicality of its wines will depend on the interaction amongst these factors along with enological practices. Knowledge about the real functioning of the vineyard and designing technical schedules stand out among the advantages of the methodological approach that implies studying terroirs,.

Due to the complexity of systematic studies, research on viticulture tends to the use of reductionists approaches and to the analysis of cause-effect relationships. In contrast, the joint study of terroir key factors, such as climate, soil and cultivar, is more complex to deal with and, hence, the amount of these studies is lower.

As examples of climate influence, several authors worked on defining climatic indices to describe the suitability of a given region for producing wine [3][4][5][6][7][8][9]. In addition, other researchers got deep into climate effects on vine functioning [10], on wine and vintage quality [11], on yield [12][13], or on a group of variables showing vine performance [14]. Grapevine energy balance when combined with its water balance regulates the group of responses to the environment (in this case, climate variables) of a given plant population [15]. Nowadays, a great number of climate analysis related to viticulture are focused on a climate change perspective, reporting a trend to increasing temperatures in many of the most prestigious grapevine growing regions worldwide [16]. This problem led to the study of vine response to increasing temperature over the growing cycle in several climatic regions [17].

Soil factor and its influence on vine performance have been comprehensively studied [2][18][19][20][21][22][23][24]. Several authors proved the huge influence of water availability on vintage quality [25][26][27][28][29][30]. Source-sink modulation through cultural practices can be considered a key factor since it affects vine vigour, yield and berry quality. Those techniques that modify source-sink

relationships have been the subject of a great number of studies [31][32][33][34][35][36][37][38][39]. Pruning, shoot thinning, defoliation, shoot trimming and cluster thinning are relevant practices for regulating source-sink relationships and grapevine balance. In this sense, the operations performed by the vine grower represent an adaptation mechanism for rearranging vine components and directing the vineyard system in order to achieve a pre-defined goal.

Nevertheless, those studies including more than one determinant factor are scarce [40]. Recently, some authors [41] proved the significant effect of climate, soil and genetic (cultivar and rootstock) factors on a group of grapevine response variables. In particular, soil and climate had a greater incidence on the variability of the system than cultivar, likely due to their influence on grapevine water status.

From the results of partial studies it is possible to build models that allow for identifying the relative importance of each factor on the final response and, thus, generate tools that growers and technicians can use for a suitable management of the vineyard and improve its efficiency.

In order to answer these questions, the current study aimed to assess the relative importance of the climate, soil and source-sink relationship factors on grapevine vegetative growth, yield, berry composition and sanitary status. Secondly, the study aimed to establish the properties of each factor that exert more influence on vineyard performance.

4.3 MATERIAL AND METHOD

In the current analysis, data from four vintages on nine commercial vineyards (cv. ‘Tannat’) located on the Uruguayan coast of Río de la Plata have been used. This region contains most of the vineyard surface in the country.

4.3.1 Study sites description and locations

Nine plots located in the 300 km of the Uruguayan coast of Río de la Plata have been selected for this study. Plots were numbered from west to east, from Colonia del Sacramento (Colonia department) to Pueblo Edén (Maldonado department) (Supplementary Figure 1).

4.3.2 Climate indices (“year” factor)

Weather variables were recorded in two meteorological stations managed by the Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria: La Estanzuela (-34.3300 /- 57.6800) and Estación Las Brujas (-34.6700 /- 56.3300). Moreover, four “Vantage Pro2” (Davis Instruments, Hayward, CA, U.S.A) automated stations were installed in the plots or close to them: Mal Abrigo (-34.1167 / -56.9333), Sayago (-34.8333 / - 56.2167), Empalme Olmos (-34.6667 /-55.9000), Sierra Ballena (-34.7333/-55.3000). All the stations were installed and operated according to the World Meteorological Organization (WMO). The Multicriteria Climate Classification (MCC) [42][6] was applied using the adaptations for the Uruguayan conditions [8] The following indices were estimated: Heliothermal index (HI), Dryness index (DI) and Cool Night index (CI).

Daily solar irradiation was estimated using satellite images from GOES-East satellite using the BD-JPT model [43]. Cumulative solar irradiation (RS ac) from September 1st to harvest and daily mean solar irradiation for February of each year (RS Feb) were determined.

Table 1 Climatic indices for grapevine: HI, CI, DI and solar irradiation: RS AC, RS FEB. Each value is the average for the year $\pm$ standard deviation for each location

Year	HI (°C)	CI (°C)	DI (mm)	RS ac (MJ*m ⁻²)	RS Feb (MJ*m ⁻²)
2011	2331.7 $\pm$ 72.2	18.5 $\pm$ 1.2	-24.3 $\pm$ 0.2	4347.0 $\pm$ 3.2	23.8 $\pm$ 0.1
2012	2327.7 $\pm$ 39.4	18.5 $\pm$ 0.5	39.3 $\pm$ 24.5	4292.6 $\pm$ 44.6	21.2 $\pm$ 1.1
2013	2188.8 $\pm$ 63.9	17.3 $\pm$ 0.4	-3.2 $\pm$ 11.1	3778.4 $\pm$ 74.5	22.6 $\pm$ 0.7
2014	2289.3 $\pm$ 160.9	17.4 $\pm$ 0.8	61.2 $\pm$ 22.9	3851.3 $\pm$ 205.4	17.2 $\pm$ 0.4

4.3.3 Description of the study plots and plant material

The study was conducted from 2011 to 2014 in nine commercial non-irrigated vineyards. On each location, 30 vines (*Vitis vinifera* L.) cv. ‘Tannat’ were randomly chosen; they were distributed on three rows with 10 vines each. Grapevines were vertically trellised on a Guyot system. Rows were north-south oriented in all vineyards. Further information on the studied plots is shown in Table 2.

Table 2 Main characteristics of the studied vineyards

Plot	Coordinates	Location (name)	Rootstock	Plantation year	Spacing
1	34° 23' 47,40" S; 57° 52' 49,67" W	Real de Vera	3309C	2000	2.50m x 1.20m
2	34° 23' 17,40" S; 57° 51' 07,37" W	Piedra de los Indios	3309C	1999	2.50m x 1.15m
3	34° 07' 10,46" S; 56° 56' 50,98" W	Mal Abrigo	3309C	2000	2.00m x 0.90m
4	34° 36' 44,77" S; 56° 14' 42,02" W	Juanicó	SO4	1998	2.50m x 1.10m
5	34° 53' 04,55" S; 56° 19' 24,33" W	Punta de Yeguas	3309C	2005	2.50m x 1.00m
6	34° 39' 30,43" S; 55° 47' 56,11" W	Atlántida A	3309C	2006	2.50m x 0.90m
7	34° 39' 36,70" S; 55° 47' 55,22" W	Atlántida B	3309C	2006	2.50m x 1.00m
8	34° 42' 31,74" S; 55° 03' 31,56" W	Sierra Ballena	Gravesac	2004	2.50m x 1.00m
9	34° 44' 36,22" S; 55° 01' 16,42" W	Pueblo Edén	101-14Mg	2005	2.50m x 1.20m

4.3.4 Root system characterization

Roots were studied digging pits in the row in front of a selected vine. Amount, diameter and distribution of roots were determined at different distances from the

vine. Roots were stained, photographed, measured and mapped over a vertical grid with a cell size of 100 cm². Roots were classified according to their diameter: < 3 mm, 3 to 5 mm and > 5 mm. The depth to which 90% of active roots (<3 mm diameter) appeared was recorded. This depth was used as a reference for estimating Dryness Index (DI), available water capacity (AWC) and soil textural class (TCra).

4.3.5 Soil characterization (soil factor)

Soil from each plot was described according to FAO (2006) and classified using USDA Soil Taxonomy [44]. Two samples per horizon were collected from the pits, and they were used for determining soil physical and chemical properties. These observations were complemented with, at least, five samples per horizon, collected using a manual drill on different spots in each studied plots. These samples were used for assessing soil structure, texture, color, depth, presence of active roots, amongst others. Soil texture was determined using the method described by [45]. From clay, silt and sand fractions of each horizon, their proportion was estimated for the volume of soil explored by active roots. Textural classification from these proportions was defined as TCra. Dryness index [46] [8] and available water capacity (AWC) [47] was determined. This measurement was considered as the initial volume of water in the soil (W_o) for estimating soil water balance.

Table 3 Characteristics of the soils from the studied plots

Plot	USDA Soil classification	Bedrock type	Depth* (cm)	AWC* (mm)	Textural class *(TCra)
1	Typic Argiudoll	Quaternary sediments	50	96	Silty clay loam
2	Typic Argiudoll	Quaternary sediments	56	97	Silty clay loam
3	Typic Hapludoll	Metamorphic rock (low degree)	36	76	Clay loam
4	Vertic Argiudoll	Quaternary sediments	70	123	Silty clay
5	Typic Argiudoll	Quaternary sediments	60	110	Silty clay
6	Typic Hapludert	Metamorphic rock	43	67	Clay loam
7	Abruptic Argiudoll	Metamorphic rock	36	57	Clay loam
8	Lithic Hapludoll	Metamorphic rock	36	68	Clay loam
9	Abruptic Argiudoll	Metamorphic rock/ Quaternary sediments	54	85	Clay loam

*Soil depth with 90% of visible roots lesser than 3 mm in diameter.

4.3.6 Vegetative growth determination

Potential exposed leaf surface (SFep) was estimated at veraison [48]. At harvest, a shoot bearing a cluster was collected from the middle of the branch in ten vines. In each of these shoots, length (LP) was measured and fresh and dry weight for each organ was recorded. Samples were dried in an oven at 50 °C till constant weight. Dry weight was expressed by organ, total per shoot (PST) and per linear meter of the trellising system (PSesp). In order to estimate this last variable, PST was multiplied by the number of shoots per linear meter obtained from counting the shoots of all the studied plants. In addition, dry weight per cm of wood in the shoot (Psmad) was also estimated.

4.3.7 Yield components and rot incidence

At harvest, yield (Y) and cluster number per vine were recorded. From these data, cluster average weight was obtained. Dry weight per cluster (PSRac) was obtained from the process described in the former subsection. Those clusters that showed, at least, 5 % of the berries affected by diseases (mainly *Botrytis* sp) were counted and separately weighed (Yenf). Berry weight (Pb) was obtained from 3 samples of 250 berries each, randomly collected on the studied vines at harvest.

4.3.8 Determination of the leaf/fruit ratio (“source/sink” factor)

The leaf/fruit ratio (FF) was established as a factor in order to analyze its influence on vine performance. Four classes were defined within this factor that, eventually, could be determined by the vine grower by performing a series of cultural practices to reduce leaf surface and/or cluster number or some parts of the clusters.

This indicator was obtained by dividing the potential exposed leaf surface (SFEp) and the yielded per vine (Y). The categories were defined accounting for the frequency distribution for six classes. Due to the low frequency of the two highest categories, they were grouped with the former one for obtaining four categories with a balanced distribution. The defined categories were the following: $< 0,40$; $0,40-0,60$; $>0,60-0,80$; $>0,80$ ($\text{m}^2 \cdot \text{kg grape}^{-1}$)

4.3.9 Determination of berry composition

Harvest was carried out at “technological maturity” for each plot, considering pH values, the ratio between sugar content and titratable acidity of the grapes and berry weight. These parameters were determined periodically using the OIV (2007) procedures. For doing this, from veraison, weekly samples of 250 berries were collected in each plot. Berry composition was determined after manually separating the berries from the raquis and obtaining the juice by crushing the flesh with an electrical grinder (HR2290, Phillips, The Netherlands). Soluble solids contents (SS) were determined using a refractometer (Atago N1, Atago, Tokyo, Japan), pH was determined with a pH-meter (HI8521, Hanna Instruments, Italy) and titratable acidity (AT) was measured by titration and was expressed as g of sulfuric acid /L juice.

In the berry samples, we also determined total anthocyanins (ApH1), extractable anthocyanins (ApH 3.2), phenolic richness (A280) and the cell maturity index (EA) [49]. All these measurements were carried out in duplicate with a Shimadzu UV-1240 Mini (Shimadzu, Japan) spectrophotometer, using crystal (for anthocyanins) and quartz (for absorbance at 280 nm) cells with 1 cm path length. The indices were calculated considering the respective dilution of the grape extracts [50].

4.3.10 Statistical analysis

In order to analyze the relative importance of the different factors (and their interactions) on the total variability of vine performance, the following classes were defined:

Class	Levels	Values
Year (Year effect)	4	2011; 2012; 2013; 2014
Soil (Textural class or TCra)	3	Clay loam; Silty clay; Silty clay loam
Source-sink (SFEp*Y-1)	4	<0,40; 0.40-0.60; >0.60-0,80; >0,80

A Mixed Model with random effects was considered:

y = Soil, Source-sink, Year effect, interactions and residuals, except the intercept.

The model was run for each dependent variable and the variance was estimated by the Restricted Estimation by Maximum Likelihood (REML). The relative percentage of each one over the total sum was determined. In addition, ANOVA was used for assessing the effect of each individual factor (year, soil and source-sink) on vine performance (vigour, yield, berry composition and sanitary status). Fisher LSD test was used for mean separation ($p < 0.10$). Furthermore, Pearson's correlation coefficients were calculated for the selected variables in order to further interpret the effect of the source-sink factor. ANOVA was performed using the InfoStat software and the Mixed Models were estimated using R (R Development Core Team www.r-project.org).

4.4. RESULTS

Table 4 shows the relative importance of each factor (“year”, “soil and “source-sink”) and their interactions on the variance of the studied dataset. Source-sink ratio was used as a factor because the determination of its magnitude has not a lineal dependence relation with the two variables that it related (SFEp/Y), as explained later.

Most of the factors, either individually or their partial interactions, did not explain the variability in the obtained results. In many cases, the percentages were equal to 0 or their values were not significant. In general, the percentages

accumulated as “residual” surpassed to the studied factors and interactions. The greatest variability assigned to “residual” corresponded to the group of variables associated with vegetative vigour.

Source-sink relation explains 82% of the yield variability in the dataset; the interaction “year*soil” explained 14% of the rot incidence and 36% of the pH value in the juice. The interaction “year*FF” reflected significant effects on the variability of yield (13%), rot incidence (43%) and titratable acidity (27%).

Table 4 Percentage of the variability within the dataset explained by the year, soil and source-sink factors, as well as their interactions

Variable	Year		Soil		Source-sink		Year* Soil		Year* Source-sink		Soil* Source-sink		Residual
	%	p	%	p	%	p	%	p	%	p	%	p	
SFEp (m ² *vine ⁻¹)	14	ns	11	ns	0		0		0		0		75
LP (cm)	0		12	ns	0		0		0		0		88
PSmad (mg*cm ⁻¹)	0		29	ns	0		0		0		0		71
PST (g)	16	ns	0		6	ns	0		0		0		78
PSesp (kg*m ⁻¹)	16	ns	2	ns	0		0		0		0		83
Pb (g)	42	ns	0		0		0		0		0		58
Y (kg)	0		0		82	*	1	ns	13	**	0		5
Yenf (%)	11	ns	22	ns	0		14	*	43	**	8	ns	1
PSRac (g)	27	ns	0		21	ns	0		0		0		52
SS (g*L ⁻¹)	22	ns	0		8	ns	0		23	ns	0		47
AT (g*L ⁻¹)	44	ns	2	ns	0		8	ns	27	*	0		19
PH	6	ns	1	ns	0		36	*	19	ns	21	ns	18
ApH1	16	ns	0		42	ns	0		0		0		43
ApH3,2	0		0		34	ns	0		7	ns	0		59
EA%	47	ns	0		0		0		17	ns	0		36
A280	3	ns	23	ns	0		0		33	ns	0		42

*, ** indicates significant at p< 0.05 and 0.01 respectively; ns indicates not significant.

Variables associated to vegetative development tended to be influenced by soil and year factors, primarily, and for source-sink to a lesser extent. In contrast, yield variables were influenced mostly by year, source-sink and their interaction. Berry

composition variables were affected by year, source-sink, the interactions year*source-sink and year*soil.

The results from the ANOVA for studying the influence of the soil factor on the response variables showed significant differences in several vegetative development variables: SFep, LP and PSmad. The influence of soil on yield variables was relevant for Y and Yenf; finally, for berry composition, soil influenced ApH1, ApH3.2 and A280 (Table 5).

Table 5 Vine response as a function of soil textural classes (means $\pm$ standard deviation)

Type	Variable	Soil factor: TCra		
		Silty clay N=7	Clay loam N=14	Silty clay loam N=6
Vegetative development	SFep ($\text{m}^2\text{vine}^{-1}$)	1.81 ab $\pm$ 0.30	1.61 b $\pm$ 0.31	1.89 a $\pm$ 0.24
	Shoot length: LP (cm)	128.95 a $\pm$ 39.35	127.10 a $\pm$ 28.28	100.23 b $\pm$ 8.97
	Shoot dry weight: PST (g)	188.21 a $\pm$ 43.93	164.39 a $\pm$ 51.00	189.09 a $\pm$ 59.06
	Dry weight per linear meter: PSesp ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$)	2.29 a $\pm$ 0.48	1.99 a $\pm$ 0.67	2.22 a $\pm$ 0.54
	Dry weight per cm of wood: PSmad ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-1}$)	202.93 b $\pm$ 33.17	268.69 a $\pm$ 52.88	247.71ab $\pm$ 45.53
Yield components	Berry weight Pb (g)	1.68 a $\pm$ 0.12	1.66 a $\pm$ 0.16	1.70 a $\pm$ 0.17
	Yield: Y ($\text{g}\cdot\text{vine}^{-1}$)	5416.59 a $\pm$ 2096.38	1917.73 b $\pm$ 609.70	4774.59 a $\pm$ 2028.27
	Affected clusters: Yenf ($\%\cdot\text{vine}^{-1}$)	53.03.a $\pm$ 41.00	15.83b $\pm$ 19.88	7.22b $\pm$ 9.60
	Cluster dry weight: PSRac (g)	128.22 .a $\pm$ 38.24	102.54 a $\pm$ 38.72	138.40 a $\pm$ 60.95
Berry composition	SS ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	203.46 a $\pm$ 36.45	223.78 a $\pm$ 24.65	216.18 a $\pm$ 12.67
	TA ($\text{g H}_2\text{SO}_4\cdot\text{L}^{-1}$)	5.21 a $\pm$ 1.82	5.13 a $\pm$ 1.29	4.21 a $\pm$ 0.64
	pH	3.37 a $\pm$ 0.25	3.54 a $\pm$ 0.11	3.56 a $\pm$ 0.09
	ApH1 ($\text{mg EMG}\cdot\text{L}^{-1}$)	1582.71 b $\pm$ 822.30	2095.66 a $\pm$ 516.72	1708.20ab $\pm$ 230.28
	ApH3.2 ($\text{mg EMG}\cdot\text{L}^{-1}$)	776.76 b $\pm$ 385.82	981.65 a $\pm$ 213.06	859.67 ab $\pm$ 149.83
	EA (%)	49.20 a $\pm$ 10.52	51.39 a $\pm$ 10.53	49.52 a $\pm$ 7.22
	A280	57.52 b $\pm$ 17.02	73.64 a $\pm$ 13.64	53.88 b $\pm$ 11.92

EMG = equivalent to malvidin-3-glucoside. Different letters in the row indicate significant differences according to Fisher LSD test ($p \leq 0.10$).

Pearson's correlation coefficients found for the proportion of sand in the soil (coarse fraction) and other variables were negative for AWC ($r = -0.60$, $p < 0.001$), SFEp ($r = -0.56$, $p < 0.001$), Y ($r = -0.67$, $p < 0.001$) and positive with SS ($r = 0.36$, $p < 0.05$), ApH1 ($r = 0.50$, $p < 0.01$) and A280 ($r = 0.52$, $p < 0.01$)

ANOVA using year as factor showed a relevant importance on vine response, influencing in 60% of vegetative development variables, in 75% of yield variables and 86% of berry composition variables. Year 2011 was the warmest, driest and with more solar irradiation over the growing cycle and during maturation. Year 2013 had the lowest register for thermal accumulation and solar irradiation, with a water balance in the soil close to 0 and high values of solar irradiation during maturation. The years 2012 and 2014 were more humid. Particularly, year 2014 had the highest rainfall values over maturation and very low solar irradiation over this period.

The year factor affected vegetative development variables (SFEp, PSesp and Psmad). Weather conditions in 2012 caused a greater development of leaf surface and a higher wood dry weight; whereas in 2014 a reduction of total dry mass per linear meter of the trellis system was observed. In the case of yield components, significant differences were detected for Pb, Tenf and PSRac. In addition, the year factor affected all the berry composition variables except for ApH3.2 (Table 6).

Table 6 Vine performance as a function of the year (means $\pm$ standard deviation)

Type	Variable	“Year” factor			
		2011 N=3	2012 N=8	2013 N=9	2014 N=7
Vegetative development	SFEp ($\text{m}^2 \cdot \text{vine}^{-1}$)	1.46b $\pm$ 0,16	1.91a $\pm$ 0.34	1.64b $\pm$ 0.29	1.73ab $\pm$ 0.25
	Shoot length: LP (cm)	107.23a $\pm$ 23.31	128.67a $\pm$ 37.20	117.13a $\pm$ 33.61	125.45a $\pm$ 20.49
	Shoot dry weight: PST (g)	247.76a $\pm$ 63.63	233.68a $\pm$ 63,43	261.47a $\pm$ 48.76	243.22a $\pm$ 49.70
	Dry weight per linear meter: PSesp ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$)	208.10a $\pm$ 65.45	178.36ab $\pm$ 40.47	191.32a $\pm$ 60,84	140.06b $\pm$ 21.84
	Dry weight per cm of wood: PSmad ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-1}$)	2.26ab $\pm$ 0.87	2.36a $\pm$ 0.56	2.21ab $\pm$ 0.56	1.67b $\pm$ 0.40
Yield components	Berry weight Pb (g)	1.45b $\pm$ 0.13	1.75a $\pm$ 0.13	1.65a $\pm$ 0.12	1.71a $\pm$ 0.14
	Yield: Y ($\text{g} \cdot \text{vine}^{-1}$)	2989.48a $\pm$ 1680,03	3993.62a $\pm$ 1890.82	3263.12a $\pm$ 2829.39	3303.76a $\pm$ 2002.54
	Affected clusters: Yenf ($\% \cdot \text{vine}^{-1}$)	3.87b $\pm$ 3.95	24.94ab $\pm$ 32.33	10.88b $\pm$ 20.60	46.71a $\pm$ 34.37
	Cluster dry weight: PSRac (g)	151.97a $\pm$ 48.18	118.36a $\pm$ 27.34	132.73a $\pm$ 56.94	80.87b $\pm$ 20.53
Berry composition	SS ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	225.17a $\pm$ 12.85	213.73ab $\pm$ 8.80	232.92a $\pm$ 22.71	196.09b $\pm$ 36.46
	TA ($\text{g H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{L}^{-1}$)	4.56bc $\pm$ 0.43	3.81c $\pm$ 0.59	5.07b $\pm$ 0.74	6.27a $\pm$ 1.70
	pH	3.36b $\pm$ 0.07	3.55a $\pm$ 0.12	3.59a $\pm$ 0.15	3.40b $\pm$ 0.18
	ApH1 ($\text{mg EMG} \cdot \text{L}^{-1}$)	1666.07ab $\pm$ 102.11	2147.84a $\pm$ 402.86	2005.34a $\pm$ 679.61	1491.19b $\pm$ 642.58
	ApH3.2 ($\text{mg EMG} \cdot \text{L}^{-1}$)	782.54a $\pm$ 43.20	980.47a $\pm$ 174.98	898.56a $\pm$ 327.59	865.73a $\pm$ 323.24
	EA (%)	52.68a $\pm$ 5.01	53.85a $\pm$ 6.37	55.35a $\pm$ 5.83	39.15b $\pm$ 9.78
	A280	67.32ab $\pm$ 8.39	55.08b $\pm$ 14.44	70.65a $\pm$ 17.50	68.35ab $\pm$ 17.46

*EMG = equivalent to malvidin-3-glucoside. Different letters in the row indicate significant differences according to Fisher LSD test ($p \leq 0.10$).

The analysis of variance accounting for the source-sink factor (Table 7) determined significant differences for Pesp in the group of vegetative development variables; for Pb, Y and PSRac among yield components.

Yield was positively correlated with berry weight (Pb) and cluster dry weight (PSRac), which is the determinant of the differences in Pesp or total dry weight produced per linear meter of the trellis system.

Moreover, the source-sink factor influenced all berry composition variables, except for EA. The class “>0.80” had the highest SS values, whereas the lowest ones

were observed for the “<0.40” class. The AT, pH and A280 were also higher for the “>0.80” class. Anthocyanins were greater in the intermediate categories: ApH1 was higher in the “0.61-0.80” class and ApH3.2 in “0.40-0.60” and “>0.60-0.80”. Overall, the “>0.60-0.8” was associated to a response of higher quality, whereas that of “<0.40” to higher yields.

Table 7 Vine response according to the source-sink factor (means $\pm$ standard deviation)

Type	Variable	“Source-sink” factor: SFEp/kg grape ($\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$)			
		<0.40 N=6	0.40-0.60 N=8	>0.60-0.80 N=5	>0.80 N= 8
Vegetative development	SFEp ($\text{m}^2 \cdot \text{vine}^{-1}$)	1.86a $\pm$ 0.31	1.79a $\pm$ 0.26	1.63a $\pm$ 0.27	1.61a $\pm$ 0.37
	Shoot length: LP (cm)	109.95a $\pm$ 16.95	121.04a $\pm$ 38.84	130.34a $\pm$ 17.41	125.47a $\pm$ 36.06
	Shoot dry weight: PST (g)	229.43a $\pm$ 47.09	231.43a $\pm$ 55.02	255.24a $\pm$ 66.46	270.54a $\pm$ 46.29
	Dry weight per linear meter: PSesp ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$)	204.86a $\pm$ 63.44	182.08ab $\pm$ 35.89	160.06ab $\pm$ 37.03	158.42b $\pm$ 57.49
	Dry weight per cm of wood: PSmad ($\text{mg} \cdot \text{cm}^{-1}$)	2.36a $\pm$ 0.35	2.24a $\pm$ 0.58	1.87a $\pm$ 0.63	1.97a $\pm$ 0.73
Yield components	Berry weight Pb (g)	1.66ab $\pm$ 0.14	1.69ab $\pm$ 0.14	1.77a $\pm$ 0.06	1.60b $\pm$ 0.18
	Yield: Y ($\text{g} \cdot \text{vine}^{-1}$)	6857.74a $\pm$ 1380.00	3528.48b $\pm$ 902.32	2317.40c $\pm$ 327.92	1556.32d $\pm$ 501.64
	Affected clusters: Yenf ($\% \cdot \text{vine}^{-1}$)	20.80a $\pm$ 33.25	37.26a $\pm$ 40.33	21.27a $\pm$ 24.84	13.35a $\pm$ 18.59
	Cluster dry weight: PSRac (g)	153.66a $\pm$ 58.80	120.91ab $\pm$ 32.66	100.79b $\pm$ 21.84	96.28b $\pm$ 44.40
Berry composition	SS ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	198.38b $\pm$ 35.39	218.57ab $\pm$ 15.57	220.40ab $\pm$ 10.09	226.68a $\pm$ 32.35
	TA ($\text{g H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{L}^{-1}$)	4.93ab $\pm$ 2.09	4.63b $\pm$ 0.67	4.17b $\pm$ 0.97	5.76a $\pm$ 1.19
	pH	3.35b $\pm$ 0.14	3.53a $\pm$ 0.21	3.60a $\pm$ 0.10	3.53a $\pm$ 0.10
	ApH1 (mg $\text{EMG} \cdot \text{L}^{-1}$)	1276.71c $\pm$ 480.83	1912.88b $\pm$ 511.23	2407.25a $\pm$ 224.11	1958.48ab $\pm$ 588.22
	ApH3.2 (mg $\text{EMG} \cdot \text{L}^{-1}$)	641.32b $\pm$ 245.82	939.08a $\pm$ 246.05	1116.33a $\pm$ 87.61	924.53a $\pm$ 237.79
	EA (%)	48.56a $\pm$ 11.03	50.42a $\pm$ 6.74	53.18a $\pm$ 6.35	50.05a $\pm$ 13.35
	A280	51.88c $\pm$ 12.61	60.30bc 15.04	71.75ab $\pm$ 14.24	75.57a $\pm$ 14.76

EMG = equivalent to malvidin-3-glucoside. Different letters in the row indicate significant differences according to Fisher LSD test ($p \leq 0.10$).

In order to better understand the causes that explain the source-sink factor, a series of partial correlations were analyzed (Figure 1). Soil water availability (AWC)

was positively correlated with yield ($r= 0.53$; $p= 0.004$) and with SFEp ($r= 0.54$; $p= 0.003$), yield being the main explaining factor of the ratio source-sink ($r= -0.57$; $p=0.002$). In contrast, leaf surface (SFEp) did not present a correlation with this ratio ($r=0.21$; $p> 0.1$), although it was significantly correlated with yield ($r= 0.36$; $p= 0.06$). Therefore, an increasing in vegetative development explains a greater yield, although it has not a significant effect on the leaf/grape ratio. Complementarily, we observed that shoot number per linear meter of the trellis system had an incidence on vegetative development ($r= 0.40$; $p= 0.04$) and that the increase in yield was negatively correlated with the exposure of the clusters to solar radiation.

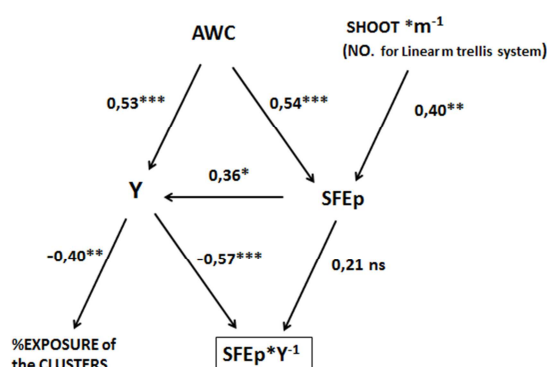


Figure 1 Schematic representation of the Pearson's correlation coefficients amongst the different variables considered in the current study. the symbols: *, **, *** and ns, indicate significances at $p < 0.1$; 0.05; 0.001; and not significant, respectively.

4.5. DISCUSSION

The analysis of the relative importance of factors (and their interactions) to the variance allows interpreting a complex effect on determining plant performance, and that cannot be attributed only to the selected elements or to their partial interactions. The high percentages accumulated in “residual” might reveal the effect of other factors and interactions that have not been considered; for instance, soil fertility, in-row weed management, vine reserve accumulation or the occurrence of extreme climate events. In addition, the use of simple indices, such as DI or HI, for

characterizing a productive cycle might not be sufficient for explaining the physiological dynamics of the plants, at least to a refined level, and the adaption processes to different constraints. In order to obtain a zonification with a more homogeneous response, it will be necessary to carry out studies that integrate climate variability at different scales, including extreme values, with key physiological processes and wine quality [10].

Apart from these limitation, the significant effects of the studied factors on the variance of our dataset, and even those that can only be taken as showing trends in the mixed model, are in accordance with the ANOVA results when the effect of each factor is analyzed independently. This accordance justifies the pertinence of the applied analysis, since it allows for a global vision of viticulture production at the territory level by jerarquizing the weight of the factors.

4.5.1 Effect of the studied factors on the vegetative development

Vegetative development variables were not influenced by the studied factors and their interactions. However, the “year” and “soil” factors exerted a significant influence on some vegetative development variables [41].

Water availability is the soil component with the greatest influence on grapevine physiology, and it is dependent on soil texture, depth [19] and soil organic matter content. Silty clay and Silty clay loam soils showed a greater volume explored by roots and a greater proportion of silt and clay; whereas Clay loam soils were associated to greater water availability for the vines. A strong correlation between soil available water capacity and canopy development, yield, berry size and must quality has been detected, as observed by other authors [27] [28][29][21][22][30][23]. Weather conditions in 2012 and, especially, in 2014, with high rainfall amounts in summer, promoted a greater biomass development; this situation was more marked in those vineyards located on soils with high AWC. The different measures of plant water status (leaf water potential, carbon isotope discrimination, water balance models) were strongly correlated with soil water availability [51]. Therefore, it is possible to infer plant water status from indices such as DI and RSFeb [52].

4.5.2 Effect of the studied factors on yield components

The influence of the three studied factors and their interaction on the determination of yield components was evident. Yield per plant was correlated positively with rainfall amount over the maturation period. According to our results, the greatest weight in the determination of yield components corresponded to the “Source-sink” and “Year” factors, but also to their interaction. Our results proved that the driver of the “Source-sink” factor was yield and not leaf surface, since differences on SFEp have not been detected.

In this case, the different categories of the “Source-sink” ratio were the result of the influence of weather conditions in a given year and soil type; although, usually, vine balance is also managed by the vine grower. Even though AWC affects to the vegetative and reproductive development, it induces a differential variability between both dimensions that is more beneficial to yield. Increasing crop load in the vines reduces vegetative growth and reserve accumulation in the shoots due to the competition established among the different organs, particularly in the period from fruit-set to pea-size stage, when photo-assimilate translocation is multidirectional [53]. The opposite effect was observed, for instance, in plants with severe pruning or excessive cluster thinning that promote a greater vegetative development. Clusters have greater sink strength for photo-assimilates than other organs, but also a scarce capacity for acting as a source [54]. Soil showed a lower influence on vine yield than the other factors considered in this study. Nevertheless, the analysis without accounting for the other factors reflected soil effects on this variable. Soil affected yield mainly by differences in water availability, due to soil water retention and volume explored by roots. Fine-textured soils (Clay loam and Silty clay loam), developed over quaternary sediments and with greater depths, had highest AWC values. Partial correlation analysis allowed to prove the effect of AWC on vegetative growth and, mostly, on yield.

The analysis of the relative weight of the studied factors on yield components showed that vine sanitary status was the parameter most affected by soil. In the current study, soils with favourable conditions for higher vegetative development and

yield were associated with a greater incidence of diseases. Nevertheless, this response is not linear. It is important to bear in mind that, when analyzing disease incidence due to soil type, a given site is considered. Soils classified as Silty clay loam, corresponding to plots 1 and 2, located in the western part of the region, showed a lower proportion of yield losses caused by rot incidence (data not shown), than those located in the other studied areas independently of the year (this fact is known by vine growers in the area). Even though bunch rot is usually associated to *Botrytis cinerea*, it is possible that in the Colonia del Sacramento region, other low-damaging species are present. In this sense, several authors worked on the morphological characterization and on the molecular identification of *Botrytis* sp.; they found three different species that affect to a higher or lesser extent to the different grapevine organs [55] [56] [57].

Sanitary status was also affected by the “Year” factor and the interactions “Year*Source-sink” and “Source-sink*Soil”. Under the conditions of the current study, the greater categories of source-sink ratio (potentially regulated by the grower) could be associated to a lower cluster volume and to a canopy microclimate with less risk of disease incidence. However, this ratio itself is not enough for reducing yield losses in years characterized by high rainfall amounts, high DI values and low solar irradiation during maturation (RS Feb). Under these conditions, high bunch disease incidence is the main cause of yield reduction.

4.5.3 Effect of the studied factors on berry composition

Berry composition variables were affected to different extents by the three studied factors: “Year”, “Soil” and “Source-sink”.

The seasonal variation in berry primary components depended less on the source-sink ratio than on vine water status [58], which is mainly associated with the “Year” factor and its interaction with “Soil”, but also with “Source-sink”. In the conditions of the current study, the best global quality was obtained in 2013.

The influence of the “source-sink” factor on the synthesis of primary components in the berries showed a relative linearity, when studied separately from

other factors. The synthesis of SS increases with higher “source-sink” values, while AT decreases. However, when source-sink ratio is “>0.80”, the trend was inverted and the AT concentration reached its maximum. This fact could be explained by the combined effect of shading inside the canopy and less exposure of clusters to solar radiation that would promote a reduction in the respiration rate of malic acid and the dilution of organic acids due to a lower dehydration of the berries [59].

The main factor determining pH values was the interaction “Year*Soil”. The year acted through its influence on organic acid synthesis (malic and tartaric acids) at pre-veraison and on their degradation rate during maturation. This process is highly dependent on solar radiation, temperature and vine water status. Soil had an indirect influence through modulating water availability, thus conditioning the energy balance and vine response [15]. Water stress limits the concentration of cations in the berries, particularly K^+ , affecting AT and pH [58]

Regarding the synthesis of secondary components, such as anthocyanins and tannins, the separate ANOVA for the “Soil” factor allowed to observe the different responses according to TCra. Clay Loam soils, with lower water storage ability than Silty clay and Silty clay loam soils, generated moderate water stress conditions during maturation, favoring phenolic compounds synthesis. In addition, water availability differences for a given soil class, caused by the particular physical conditions and organic matter of each specific site, were evident on the level of vine water stress. For instance, plots 6 and 7, with water availabilities of 67 and 57 mm, respectively, during 2011, caused differences of 15% in the measures of pre-dawn leaf water potential over the entire growing season (data not shown), even though both plots corresponded to the same soil textural class (Clay Loam). On the other hand, the effect of soil water availability was greater than that of cultivar when accounting for the determination of yield potential in a vineyard [60], influencing in hormonal signaling from roots to shoots and on stomata control.

“Source-sink” factor was determinant for phenolic concentrations, especially those of anthocyanins, but it did not show a linear relationship with the synthesis of these compounds, which increased till the “>0.60-0.80” class and then decreased.

The reduction in concentration for “Source-sink” “>0.80” could be explained by an excessive increase on leaf surface in relation to fruit load, determining a low percentage of clusters exposed to solar irradiation, limiting anthocyanins synthesis and other secondary metabolites [31]. Apart from the environment, the relative availability of carbon established by the leaf/fruit ratio affects the synthesis of both primary and secondary metabolites. In carbon-limited situations, the grape can manage the metabolic pathway of carbon and, thus, sugar accumulation remains while secondary metabolites synthesis is reduced [35]. Our results showed that, taking leaf/fruit ratio of “0.60-0.80” as a reference for the maximum accumulation of SS and ApH1, leaf/fruit ratio of “0.40-0.60” reduced SS synthesis in 0.8% and ApH1 in 20.5%. When carbon availability is lower, as in the case of leaf/fruit ratio “<0.40”, SS concentration was reduced by 10%, whereas ApH1 was reduced in 47%. These results are in accordance with the report by other authors [38], who indicated that reducing canopy size would decrease the SS/AT ratio and retards maturation.

Leaf/fruit ratio values that promoted a better berry composition were associated to lower yields and similar SFEp. This result agrees with [61], who proved that berry composition was correlated to yield and berry size more strongly [30] than to canopy size.

When leaf/fruit ratio depends on viticultural practices, it is necessary to understand how this value is reached. According to [33], different pruning intensities may lead to similar leaf/fruit ratios but different preferences for the resultant wines. Similarly, leaf removal practices that lead to a given leaf/fruit ratio might cause different effects on the vines depending on the time of application and the position of the removed leaves. For instance, post-veraison removing the leaves located over the clusters might cause retarding of the maturation process [34]. When leaf removal is performed at pre-flowering, it can promote yield and cluster compactness reductions, as well as accelerating the maturation process [62]; in some cases, it can lead to an excessive decrease of berry acidity if clusters were over-exposed to solar radiation [36].

According to these considerations, canopy and leaf/fruit ratio management should be adapted to the particular environment and cultivar conditions, in order to solve site-specific productive problems. Under the current study conditions, the best SFEp/Y ratio was $>0.60\text{--}0.80\text{ m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$, with a SFEp of $1.63\text{ m}^2\cdot\text{vine}^{-1}$. This balanced ratio guaranteed berry maturation and also other processes such as assimilable nitrogen accumulation and recovery of N in the reserves [39].

4.6 CONCLUSION

The combined analysis of “year”, “soil”, “leaf/fruit ratio” and their partial interactions on vine performance proved to be useful for understanding viticulture terroir functioning.

In the studied terroirs, vegetative development variables were dependent on climate and soil, but also on other factors and interactions not included in the current study, leading to the need for research including new explaining factors and their interactions.

Yield per vine was explained mainly by the “source-sink” ratio, the “year” effect and their interaction; both were linked to rainfall amount during maturation. Crop load carried by vines was determinant of this “source-sink” ratio, surpassing the leaf surface influence. In this sense, higher water availability would displace vine balance to fruit (sink).

Berry primary components synthesis depended on year and the interactions of year with soil and source-sink ratio. Concentrations of secondary metabolites in the berry were dependent on “source-sink” ratio and weather. Different features linked to “source-sink” ratio, such as vine balance, amount of available carbon during maturation and canopy microclimate, with weather conditions that influence grapevine water status, are key processes in the synthesis of phenolic substances.

4.7. ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Dr. Jorge Franco for his advice on statistical methods and Dr. Gustavo González-Neves for his advice in the interpretation of results.

4.8. REFERENCES

- [1] Seguin G (1988) Ecosystems of the great red wines produced in the maritime climate of Bordeaux. Paper presented at the Symposium on Maritime Climate Winegrowing, L. Fuller-Perrine (ed.), Department of Horticultural Sciences, Cornell University, Geneva, NY, 36–53.
- [2] Seguin, G. (1986) Terroirs and pedology of wine growing. *Experientia* 42, 861–873
- [3] Winkler A.J., (1962). General viticulture, 633 p., University of California Press, Berkeley e Los Angeles.
- [4] Huglin P., (1978). Nouveau mode de devaluation des possibilités héliothermiques dun milieu viticole. In: C. R. Acad. Agr. France, 64 (13): 1117-1126.
- [5] Riou C. et Carbonneau A. 1994. Le déterminisme climatique de la maturation du raisin : application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté Européenne. Commission des communautés européennes (Ed.), Luxembourg, 322p.
- [6] Tonietto J.; Carbonneau A (2004) “Multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide”, *Agricultural and Forest Meteorology* 124 (2004) 81-93
- [7] Jones G.V. (2006) Climate and Terroir: Impacts of Climate Variability and Change on Wine. In: MacQueen R.W. and Meinert L.D. (eds.). *Fine Wine and Terroir: The Geoscience Perspective*. St. John's (Newfoundland): Geological Association of Canada, Geoscience Canada Reprint Series Number 9, 2006, 247 p.)
- [8] Ferrer, M., Pedocchi, R., Michelazzo, M., González Neves, G., & Carbonneau, A. (2007). Delimitación y descripción de regiones vitícolas del Uruguay en base al método de clasificación climática multicriterio utilizando índices bioclimáticos adaptados a las condiciones del cultivo. *Agrociencia*, 11(1), 47-56.

[9]Tonietto, J., Sotés Ruiz, V., Gómez-Miguel, V (Eds) (2013), *Clima, zonificación y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas Iberoamericanas* CYTED, Madrid. ISBN 978-84-15413-10-3

[10] Hunter, J. J., & Bonnardot, V. (2011). Suitability of some climatic parameters for grapevine cultivation in South Africa, with focus on key physiological processes. *S. Afr. J. Enol. Vitic*, 32(1), 137-154.

[11] Soar, C.J., V.O. Sadras, and Petrie P.R..(2008). Climate drivers of red wine quality in four contrasting Australian wine regions. *Aust. J. Grape Wine Res.* 14:78-90.

[12] Lobell D.B., Cahill K.N., and Field C.B. (2007). Historical effects of temperature and precipitation on California crop yields. *Climatic Change* 81(2):187-203

[13] Steel, C.C., and D.H. Greer. (2008). Effect of climate on vine and bunch characteristics: Bunch rot disease susceptibility. In *Proceedings of the International Symposium on Grape Production and Processing*. Book series: *Acta Hortic.* 785:253-262.

[14] Ferrer M., Echeverría G. & González-Neves G. (2014) (Conferencista, 11/11/2014). Efecto año: influencia sobre el rendimiento y la composición de la uva. 37º Congreso Mundial de la viña y el vino Mendoza, Argentina OIV Proceedings 2014 Argentina Proceedings - Oral & Short 369 – 9 pag.

[15] Carbonneau, A., Deloire, A., & Jaillard, B. (2007). *La vigne: physiologie, terroir, culture* (p. 441). Paris: Dunod.

[16] Jones, G.V., White M.A., Cooper Ó.R., and Storchmann. K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic Change* 73(3):319-343

[17] Ferrer, M., Gonzalez-Neves, G., Echeverría, G., & Camussi, G. (2012). Plant Response and Grape Composition of *Vitis vinifera* L. cv Tannat in Different Climatic Regions. *Journal of Agricultural Science and Technology. B*, 2 (12B), 1252.

[18] Lanyon, D. M., Hansen, D., & Cass, A. (2004). The effect of soil properties on vine performance. CSIRO Land and Water.

[19] Bodin, F., & Morlat, R. (2006). Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth I. validation of the water supply regime, phenology and vine vigour, in the Anjou vineyard (France). *Plant and Soil*, 281(1-2), 37-54. doi:10.1007/s11104-005-3768-0

[20] Tisseyre B., Ojeda H. and Taylor J. (2007) New technologies and methodologies for site-specific viticulture. *Journal International Des Sciences De La Vigne Et Du Vin* 41, 63–76.

[21] Trought, M.C.T., Dixon, R., Mills, T., Greven, M., Agnew, R., Mauk, J.L. and Praat, J.-P. (2008) The impact of differences in soil texture within a vineyard on vine vigour, vine earliness and juice composition. *Journal International Des Sciences De La Vigne Et Du Vin*, 42(2), 62-72.

[22] Van Leeuwen C. (2010). Terroir: The effect of the physical environment on vine growth, grape ripening and wine sensory attributes. *Managing wine quality: Viticulture and wine quality* (pp. 273-315)

[23] Tardáguila J, Baluja J, Arpon L, Balda P, Oliveira M. (2011) Variations of soil properties affect the vegetative growth and yield componts of “tempranillo” grapevines. *Precis. Agric.* 2011; 12(5); 762-773

[24] Oliver, D. P., Bramley, R. G. V., Riches, D., Porter, I., & Edwards, J. (2013). Review: Soil physical and chemical properties as indicators of soil quality in australian viticulture. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 19(2), 129-139. doi:10.1111/ajgw.12016

[25] Matthews, M.A., Anderson, M.M. (1988). Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to seasonal water deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* 39, 313-320.

[26] Van Leeuwen, C., & Seguin, G. (1994). Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera*

variété Cabernet franc, Saint-Emilion, 1990). J. Int. Sci. Vigne Vin, 28(2), 81-110.

[27] Choné, X., Van Leeuwen, C., Dubourdieu, D., & Gaudillère, J. P. (2001). Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Annals of botany*, 87(4), 477-483.

[28] Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A., and Deloire, A. (2002). Influence of pre- and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *vitis vinifera* cv. shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(4), 261-267

[29] Roby, G., Harbertson, J. F., Adams, D. A., and Matthews, M. A. (2004). Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: Anthocyanins and tannins. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 10(2), 100-107.

[30] Ferrer M., Echeverría G., Carbonneau A. (2014) Effect of Berry Weight and its Components on the Contents of Sugars and Anthocyanins of Three Varieties of *Vitis vinifera* L. under Different Water Supply Conditions. *South African Journal of Enology and Viticulture*, v.: 35 1 2014, p.: 103 - 113

[31] Smart, R.E., Sharp, K. Hand book for Canopy Management workshop (1989) Ruakura Agric. Centre Bull., 54, pp. 3-14.

[32] Jackson, D. I., & Lombard, P. B. (1993). Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44(4), 409-430.

[33] Zamboni, M., Bavaresco, L., & Komjanc, R. (1996). Influence of bud number on growth, yield, grape and wine quality of 'pinot gris', 'pinot noir' and 'sauvignon' (*vitis vinifera* L.) Retrieved

[34] Poni, S., Gatti, M., Bernizzoni, F., Civardi, S., Bobeica, N., Magnanini, E., & Palliotti, A. (2013). Late leaf removal aimed at delaying ripening in cv. sangiovese: Physiological asses3ent and vine performance.

Australian Journal of Grape and Wine Research, 19(3), 378-387.
doi:10.1111/ajgw.12040

[35] Bobeica, N., Poni, S., Hilbert, G., Renaud, C., Gomès, E., Delrot, S., & Dai, Z. (2015). Differential responses of sugar, organic acids and anthocyanins to source-sink modulation in cabernet sauvignon and sangiovese grapevines. *Frontiers in Plant Science*, 6(May), 14.

[36] Basile, B., Caccavello, G., Giaccone, M., & Forlani, M. (2015). Effects of early shading and defoliation on bunch compactness, yield components, and berry composition of aglianico grapevines under warm climate conditions. *American Journal of Enology and Viticulture*, 66(2), 234-243.
doi:10.5344/ajev.2014.14066

[37] Leão, P. C. S., Nunes, B. T. G., & de Lima, M. A. C. (2016). Canopy management effects on 'Syrah' grapevines under tropical semi-arid conditions. *Scientia Agricola*, 73(3), 209-216. doi:10.1590/0103-9016-2014-0408

[38] Parker, A. K., Raw, V., Martin, D., Haycock, S., Sherman, E., & Trought, M. C. T. (2016). Reduced grapevine canopy size post-flowering via mechanical trimming alters ripening and yield of 'pinot noir'. *Vitis - Journal of Grapevine Research*, 55(1), 1-9. doi:10.5073/vitis.2016.55.1-9

[39] Verdenal, T., Spangenberg, J. E., Zufferey, V., Lorenzini, F., Dienes-Nagy, A., Gindro, K., . . . Viret, O. (2016). Leaf-to-fruit ratio affects the impact of foliar-applied nitrogen on N accumulation in the grape must. *Journal International Des Sciences De La Vigne Et Du Vin*, 50(1), 23-33.
doi:10.20870/oenone.2016.50.1.55

[40] Rankine, B., J. Fornachon, E. Boehm, and K. Cellier.(1971). Influence of grape variety, climate and soil on grape composition and on the composition and quality of table wines. *Vitis* 10:33-50.

[41] Van Leeuwen, C., Friant, P., Chone, X., Tregoat, O., Koundouras, S., & Dubourdieu, D. (2004). Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(3), 207-217.

[42] Tonietto, J. (1999). Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mesoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat d'Hamburg dans le sud de la France. Thèse de Doctorat ENSA Montpellier 233 pp.

[43] Alonso-Suárez R, G. Abal, R. Siri, P. Musé. (2012). Brightness-dependent Tarpley model for global solar radiation estimation using GOES satellite images: Application to Uruguay, Solar Energy, Volume 86, Issue 11, November 2012, Pages 3205-3215, ISSN 0038-0092X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.08.012>

[44] Soil Survey Staff. (1999). Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.

[45] Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy journal, 54(5), 464-465.

[46] Riou Ch and Lebon E. (2000). Application d'un modèle de bilan hydrique et de la mesure de la température de couvert au diagnostic du stress hydrique de la vigne à la parcelle. Bulletin O.I.V. (837-461 838) 755 - 764.

[47] Fernández, C.J. (1979). Estimaciones de la densidad aparente, retención de agua disponible en el suelo a partir de la composición granulométrica y porcentaje de materia orgánica. In: Reunión técnica de la Facultad de Agronomía, 2, Anais Universidad de la República, Montevideo, 53 pp.

[48] Carbonneau, A. (1995). La surface foliaire exposée; guide pour sa mesure. Le Progrès Agricole et Viticole. 112(2), 204-212.

[49] Glories, Y., Augustin, M. (1993), January. Maturité phénologique du raisin, conséquences technologiques: application aux millésimes 1991 et 1992. In CR Colloque Journée Techn. CIVB, Bordeaux 56-61.

[50] González-Neves, G., Charamelo, D., Balado, J., Barreiro, L., Bochicchio, R., Gatto, G., ... & Moutounet, M. (2004). Phenolic potential of

Tannat, Cabernet-Sauvignon and Merlot grapes and their correspondence with wine composition. *Analytica Chimica Acta*, 513(1), 191-196.

[51] Zufferey, V., & Murisier, F. (2007). Assessment of plant hydraulics in grapevine on various "terroirs" in the Canton of Vaud (Switzerland). *OENO One*, 41(2), 95-102.

[52] Echeverría G, Ferrer M, Alonso-Suárez R, Mirás-Avalos JM. (2016) Spatial and Temporal Distribution of Solar Irradiation in Río de la Plata Coast and Its Relationship with Climate Variables of Interest for Viticultural Production, *International Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*; 3(4): 22-33 <http://www.aascit.org/journal/ijasnr> ISSN: 2375-3773

[53] Hunter, J. J., & Visser, J. H. (1990). The effect of partial defoliation on growth characteristics of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon II. Reproductive growth. *S. Afr. J. Enol. Vitic*, 11(1), 26-32.

[54] Di Lorenzo, R., Ferrante, S., & Barbagallo, M. G. (2001). Modification of source/sink ratios in nero d'avola (*vitis vinifera* L.) grapevines in a warm-dry environment. *Advances in Horticultural Science*, 15(1-4), 31-38.

[55] Fournier E., Giraud T., Albertini C., Brygoo Y. (2005) Partition of the *Botrytis cinerea* complex in France using multiple gene genealogies. *Mycologia*. 97: 1251-1267.

[56] Walker, A.-S. Gautier, A., Confais, J., Martinho D. Viaud M., Le Pêcheur, P., Dupont J. and Fournier E. (2011). *Botrytis pseudocinerea*, a New Cryptic Species Causing Gray Mold in French Vineyards in Sympatry with *Botrytis cinerea* *Phytopathology* 101: 1433-1445.

[57] Zhou, Y. J., Zhang, J., Wang, X. D., Yang, L., Jiang, D. H., Li, G. Q., ... & Zhuang, W. Y. (2014). Morphological and phylogenetic identification of *Botrytis sinoviticola*, a novel cryptic species causing gray mold disease of table grapes (*Vitis vinifera*) in China. *Mycologia*, 106(1), 43-56.

[58] Etchebarne, F., Ojeda, H., & Hunter, J. J. (2010). Leaf: fruit ratio and vine water status effects on Grenache Noir (*Vitis vinifera* L.) berry composition:

water, sugar, organic acids and cations. South African Journal for Enology & Viticulture, 31(2), 106.

[59] Bledsoe, A. M., Kliewer, W. M., & Marois, J. J. (1988). Effects of timing and severity of leaf removal on yield and fruit composition of Sauvignon blanc grapevines. American journal of enology and viticulture, 39(1), 49-54.

[60] Tramontini, S., van Leeuwen, C., Domec, J., Destrac-Irvine, A., Basteau, C., Vitali, M., Mosbach-Schulz O., Lovisolo, C. (2013). Impact of soil texture and water availability on the hydraulic control of plant and grape-berry development. Plant and Soil, 368(1-2), 215-230. doi:10.1007/s11104-012-1507-x

[61] Zerihun, A., McClymont, L., Lanyon, D., Goodwin, I., and Gibberd, M. (2015). Deconvoluting effects of vine and soil properties on grape berry composition. Journal of the Science of Food and Agriculture, 95(1), 193-203.

[62] Tardáguila J., Diago M., Martínez de Toda F., Poni S and Vilanova M. (2008) Effects of timing of leaf removal on yield, berry maturity, wine composition and sensory properties of cv. Grenache grown under non irrigated conditions J. Int. Sci. Vigne Vin, 42, no 4, 221-229

5 CONCLUSIONES GENERALES Y PERSPECTIVAS

A inicios del año 2003, el grupo número 851 de investigación en vitivinicultura de la Comisión Nacional de Investigación Científica, UDELAR, liderado por la Facultad de Agronomía, propuso el estudio de terroirs como una nueva línea de trabajo, con el objetivo de aportar a la competitividad sectorial, reforzando el concepto de calidad de Tannat. Esta decisión resultó en la identificación de unidades básicas de terroirs en distintas regiones del país, la profundización en el conocimiento de aspectos del manejo del cultivo en relación al ambiente, la adopción de una metodología de estudio novedosa para el país y la conformación de redes de trabajo integradas por diversos actores (investigadores, productores, técnicos extensionistas y autoridades locales) motivados por la revalorización de sus productos y en definitiva del territorio.

El 93% del viñedo uruguayo se ubica dentro de una franja de aproximadamente 50 km de ancho, junto a la costa del Río de la Plata. Esta posición geográfica particular justificó la aplicación de un enfoque de investigación para profundizar en las peculiaridades que esta localización podría imprimir a la producción vitícola.

En ese marco esta Tesis tuvo como objetivo, caracterizar el ambiente físico de diferentes unidades de terroirs vitícolas de la costa uruguaya del Río de la Plata y analizar su influencia sobre las variables de respuesta de la planta y la uva, de la variedad Tannat. Para esto se describió el clima, se analizó la influencia de las brisas de mar y tierra sobre las variables meteorológicas y el microclima de la canopia, se analizó la distribución de la irradiación solar y su relación con variables climáticas, se caracterizaron los suelos con énfasis en las propiedades físicas y en la capacidad de suministro de agua. Se investigó la influencia que los factores ejercen sobre las variables de crecimiento, rendimiento, composición y sanidad de la baya. El estudio del efecto conjunto (simultáneo) del clima, suelo y relación fuente-fosa, permitió discriminar la influencia de cada uno de ellos y de sus interacciones, sobre el funcionamiento del terroir. En este caso la inclusión del factor “Fuente-fosa”,

regulable por el viticultor, puede considerarse un indicador de la acción humana en el terroir.

El análisis factorial aporta a la identificación de las claves de funcionamiento del terroir y abre la posibilidad de ajustar los itinerarios técnicos de acuerdo al potencial del territorio y al objetivo productivo.

Los estudios implicaron cuatro zafras (2011 a 2014) en seis regiones de la costa que incluyeron nueve parcelas de la variedad Tannat.

5.1 APORTES DE LA TESIS AL SECTOR PRODUCTIVO Y AL DESARROLLO DE LA CIENCIA

La caracterización de índices climáticos, aporta información relevante sobre las condiciones para la producción vitícola en la costa del Río de la Plata, que se suma a los antecedentes generados en anteriores investigaciones. Se confirmó la presencia de las brisas de mar y tierra y se identificaron distintos patrones de dirección según la hora del día y la posición geográfica de la región. La influencia de las brisas se manifiesta en las temperaturas de la canopia. Los viñedos más próximos al mar tienen menor amplitud térmica diaria, mayor temperatura media, mayor temperatura nocturna y mayor proporción de horas del día con temperaturas óptimas para la fotosíntesis. Esta influencia se extiende hasta una distancia máxima de 29,2 km de la costa para las temperaturas medias y nocturnas y hasta los 27,3 km para la cantidad de horas dentro del rango óptimo para la fotosíntesis.

La proximidad del mar no incidió de manera evidente sobre porcentaje de humedad relativa. En cambio la velocidad del viento, sobre todo vinculado a las topografías más altas, redujo el porcentaje de humedad relativa.

En virtud de la influencia de la temperatura y humedad sobre la fisiología de la vid, es posible “jugar” con la distancia de acuerdo al tipo de producto que se pretenda obtener y/o para minimizar riesgos, como pueden ser las heladas de primavera.

Otro aspecto analizado fue la dirección principal de los vientos más intensos de primavera capaz de causar daños importantes en la vegetación. Se determinó una

procedencia general del 2do y 3er cuadrante (90 ° a 270 °), con diferencias según el sitio. Esta información puede orientar las zonas del viñedo a proteger con barreras físicas.

En este trabajo se introdujo otro aspecto novedoso en el estudio de terroirs, como es la irradiación solar durante el ciclo del cultivo. La estimación realizada utilizando imágenes satelitales, es fiable, rápida y de bajo costo. Se demostró la existencia de variación espacial de la radiación, aún dentro de latitudes muy similares, con una tendencia de disminución de W a E de la costa, que se acentúa durante el verano. Superior a la variabilidad espacial resultó la variabilidad interanual o efecto año. El análisis de los perfiles de irradiación durante cada ciclo de cultivo y región, permiten comprender de manera más evidente, la evolución fenológica de la vid, el desarrollo vegetativo y las condiciones para la maduración de la baya.

La irradiación solar explica, en gran proporción, la magnitud de variables térmicas, del porcentaje de humedad relativa y de la evapotranspiración potencial. También se relaciona con los índices incluidos en el Sistema Climático Multicriterio, en particular de la irradiación acumulada con el Índice de Heliotérmico (Huglin, 1978) y la irradiación media del mes de febrero con el balance hídrico o Índice de Sequía (Riou y Lebon, 2000)

A partir de la información satelital, también fue posible estimar el aporte de energía fotosintéticamente activa. En un estudio de casos se determinó el PAR en base a la información satelital y se relacionó con las temperaturas de canopia, asociando de manera sencilla dos variables fundamentales en la fisiología de la planta. Mediante utilización de imágenes de un banco de datos del satélite Aster, fue posible analizar la variación espacial del vigor de una pastura previo a la implantación de un viñedo y relacionarla con la topografía y las características del suelo. Las diferencias de vigor de la pastura fueron consistentes con la profundidad del suelo, con su capacidad de almacenamiento de agua, con el vigor del viñedo, el tamaño de bayas y la concentración de ácidos orgánicos en el mosto. Estos resultados demuestran el valor predictivo del uso de la teledetección satelital.

Para las condiciones de Uruguay, este método puede ser utilizado como una herramienta de muy bajo costo para la asignación inicial del potencial del suelo para el suministro de agua. Utilizando información de bancos de imágenes satelitales, es posible reconstruir la historia de uso del suelo o la evolución del vigor de una parcela del viñedo.

La metodología utilizada para el estudio de suelos, permitió agruparlos en tres categorías “texturales” y dos tipos de roca madre. Los viñedos instalados en suelos sobre rocas metamórficas, de textura gruesa, con menor profundidad y disponibilidad hídrica, tuvieron menor rendimiento, menor desarrollo vegetativo y una mayor concentración de compuestos asociados con la calidad de las bayas. Por el contrario, los viñedos implantados en suelos desarrollados sobre sedimentos cuaternarios o sobre roca metamórfica pero de mayor profundidad, mostraron una respuesta opuesta.

El aporte metodológico en esta área fue la estimación del contenido hídrico de los suelos, mediante el uso de un electroconductímetro (EM38). Se confirmó el potencial de esta herramienta para inferir la capacidad de suministro de agua. En función de la practicidad y bajo costo de las medidas, la cartografía de la electroconductividad/resistividad del suelo, previo a la implantación de un viñedo, parece una opción indiscutible

De acuerdo a las condiciones edafológicas, es posible optimizar la producción vitícola en las distintas regiones, especialmente si se adecúa el equilibrio de la planta según el tipo de suelo y la oferta hídrica.

En función de los resultados obtenidos, el aumento de la implantación de viñedos en la región E del Río de la Plata, sobre suelos de menor profundidad, permite augurar buenos resultados cualitativos, aun cuando la sustentabilidad económica se presente como una gran incógnita, debido a los altos costos de implantación y de mantenimiento anual y a las dificultades de colocación en mercados externos a precios competitivos.

Un gran desafío de este trabajo fue determinar cuánto de la variabilidad de la respuesta era atribuible a cada factor del terroir o a sus interacciones. Los resultados de la investigación explicarían de manera global como responde Tannat a los diferentes factores y generando información relevante para ajustar los itinerarios técnicos. En tal sentido, la regulación de la relación superficie foliar y rendimiento, de acuerdo al suelo y clima, se presenta como un factor clave del funcionamiento del terroir.

Este enfoque se considera valioso por los resultados alcanzados, pero también por su aporte metodológico, que posibilitan comprender de mejor manera la complejidad de un sistema de producción agrario. Generalmente, los viticultores y los técnicos se basan en su experiencia para realizar la síntesis que posibilite un funcionamiento del sistema acorde con sus expectativas. En tal sentido, la academia puede aportar metodología e información relevante para una toma de decisiones más efectiva.

El conjunto de los estudios realizados, permitieron profundizar en las características del ambiente físico y en el comportamiento de la planta, de seis regiones vitícolas en la costa del Río de la Plata. Los resultados obligan a reflexionar sobre la necesidad de generar nueva información científica, que permita adaptar los itinerarios técnicos de cada sitio de acuerdo al objetivo de producción.

Los resultados obtenidos representan una respuesta a meso-escala aun cuando una serie de estudios se aplicaron en el viñedo a escala micro. Por lo tanto no es lógico asignar un valor absoluto a los resultados y esperar una respuesta homogénea a escala fina. En ese caso, solo la investigación detallada en cada viñedo o parcela, dará la información necesaria para una gestión exitosa. El valor fundamental de esta tesis está en la comparación simultánea de distintas regiones en un mismo ensayo, en la interpretación del efecto de los factores clave y en la generación de líneas directrices que permitirán orientar futuras investigaciones.

5.2 NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La contribución más importante que puede realizar la academia es metodológica. Es necesario generar herramientas sencillas que permitan comprender el funcionamiento de los sistemas agrarios. El análisis de relaciones de causa-efecto es más útil cuando se aplica a alimentar modelos que representen la realidad. En tal sentido, algunos factores clave del terroir identificados en este estudio, como la capacidad potencial de suministro de agua del suelo y su contenido real, la profundidad de enraizamiento, el tipo de sustrato geológico, la irradiación solar acumulada y su distribución temporal, la continentalidad del viñedo, la altura sobre el nivel del mar, el equilibrio fuente-fosa de la planta, entre otros, deberían ser estudiados con mayor profundidad para ajustar su estimación y alimentar modelos.

La irradiación solar aparece como uno de los aspectos más novedosos sobre los cuales trabajar. La información generada permitirá cuantificar la cantidad de PAR recibida en el viñedo, estimar la temperatura máxima y media diaria, la evapotranspiración diaria y el porcentaje de humedad del aire. Por otra parte también puede ser utilizada para determinar de forma indirecta el balance hídrico del suelo. La cartografía de la radiación durante el ciclo del cultivo, establecida en función de su asociación con índices climáticos, permitiría ajustar la zonificación vitícola

A partir de los montos de irradiación solar es factible estimar la producción de biomasa, en tanto que la dinámica de la acumulación diaria de energía solar daría posibilidades de modelar la evolución fenológica del cultivo.

En relación a la composición: la irradiación solar, el estado hídrico de la planta, la relación “Fuente-fosa”, y el porcentaje de exposición a la luz de los racimos, podrían integrarse en un modelo capaz de predecir, en primer término, la concentración de ácidos orgánicos en la baya, luego la concentración de sólidos solubles y por último la síntesis de antocianos. A escala más fina es necesario estudiar si la energía solar modifica los perfiles de composición de los antocianos. Este hecho que ya sido relacionado con factores climáticos, posiblemente también dependa de la irradiancia.

El efecto de la radiación UV sobre la planta, es otro aspecto que puede estudiarse con la misma metodología. Es posible que algunos efectos conocidos como “quemado de sol” de la baya, sean provocados no solo por las temperaturas, sino por la cantidad de radiación UV. De constatarse tal influencia deberían adoptarse estrategias para proteger el cultivo en momentos clave.

En relación a los suelos, debería estudiarse con mayor profundidad la influencia de la materia orgánica y el aporte de N. Si bien es un tema que ocupa la agenda técnica, no ha tenido la atención necesaria de la academia, para comprender sus efectos sobre el desarrollo de la planta, la composición de la baya y el perfil aromático. La prioridad en el estudio de este factor deberían ser los suelos más pobres en regiones de sierras, hacia los cuales parece migrar la nueva viticultura uruguaya. El comportamiento térmico del suelo es sumamente variable de acuerdo a su composición física, a la disponibilidad hídrica, pero también al manejo del empastado e incluso del sistema de conducción y de la canopia. Por su influencia sobre el crecimiento de raíces, el desarrollo vegetativo, la evolución fenológica y el balance hormonal de la planta, es necesario evaluar la dinámica térmica del suelo de acuerdo a su textura y estructura. Como parte de los estudios de suelos de esta tesis, se obtuvo información (no presentada) que revela un comportamiento diferente de la temperatura del suelo, aún dentro de un mismo viñedo. El conocimiento de este factor y la definición de prácticas para ejercer mayor control serían un aporte técnico muy importante.

La información generada en esta tesis, y otros estudios de terroir en Uruguay, permitiría ajustar un método para construir mapas de aptitud de suelos para la producción vitícola de calidad, dando elementos para orientar la elección de sitios de implantación y la selección de portainjertos.

A pesar de los avances de los últimos años, la influencia de las brisas de mar y tierra sobre el clima de los viñedos de la costa, debería ser profundizada. Es necesario generar modelos que permitan reinterpretar la dinámica del viento y sus efectos sobre las variables meteorológicas. La principal limitante a nivel nacional parece estar dada por la baja densidad de estaciones climáticas con equipos

calibrados para generar información confiable de manera continua. El aumento de la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos, sobre todo vientos de alta intensidad en la región de la costa, merece una atención especial debido al fuerte impacto sobre la sustentabilidad de las empresas. La posición topográfica y el tipo de paisaje donde se instala el viñedo genera un compromiso entre las ventajas de una mayor exposición al mar y las desventajas vinculadas a los fenómenos extremos que, aunque con baja frecuencia, están presentes en la costa del Río de la Plata.

En la presente investigación, se realizaron vinificaciones de uvas procedentes de cuatro regiones del ensayo (datos no presentados), que permitieron verificar un alto grado de coherencia entre la composición, la materia prima y las condiciones del ambiente de procedencia. En tanto que el producto final del terroir es el vino, es necesario continuar con la elaboración de uvas de distintas regiones de la costa y someterlos a evaluaciones cuantitativas y cualitativas. Esta información debería alimentar bases de datos para cotejar su calidad con las condiciones del año, las prácticas vitícolas, y los suelos.

Entre las herramientas más idóneas para resolver problemas complejos de manera sencilla se contó con las imágenes multiespectrales. Si bien en este caso se aplicaron a la estimación de radiación solar y de NDVI, es posible aplicarlos a otros estudios como clasificación supervisada de suelos, la identificación de variedades o la detección de salinidad en las plantas.

También es necesario continuar con el uso de sensores de electroconductividad, e incorporar otras tecnologías de proxi-detección para realizar medidas continuas, rápidas y no destructivas del material vegetal, aplicadas por ejemplo al estudio de raíces, determinación del área foliar o la composición de la uva.

Para abordar la investigación en los temas que se proponen es necesario aplicar una estrategia participativa, conformar equipos de investigación multidisciplinarios que incluyan asesores de otras regiones del mundo. En tal sentido, el aporte de calificados científicos extranjeros ha posibilitado adoptar nuevas metodologías de investigación y consolidar avances en el desarrollo de la viticultura uruguaya.

Además de agrónomos, en varias actividades realizadas en esta tesis el aporte de Ingenieros especializados en física fue fundamental para medir o comprender algunos fenómenos como la radiación solar, el viento o el uso de imágenes satelitales. Los asesores externos aportaron metodología para acercarnos a la comprensión del funcionamiento del terroir. Seguramente el aporte de matemáticos y especialistas en fisiología vegetal facilitaría la construcción de los modelos que se proponen.

Dado que el objetivo final de los sistemas productivos es la rentabilidad, es necesario realizar estudios económicos para medir la evolución de la competitividad sectorial, en función de las distintas trayectorias tecnológicas y del ambiente económico general. Nuevamente, el enfoque sistémico parece el más adecuado para aplicar al estudio de la competitividad.

6 BIBLIOGRAFIA

- Abal G, D'Angelo M, Cataldo J, Gutiérrez A. 2011. Mapa solar del Uruguay : versión 1.0 : Memoria Técnica. Montevideo : Departamento de Publicaciones, Unidad de Comunicación de la Universidad de la República (UCUR). 57 p.
- Abbs D, Physick WL. 1992. Sea-breeze observations and modeling. Australian Meteorological Magazine, 41: 7 – 19.
- Acevedo C, Ortega-Farias S, Moreno Y. 2004. Effect of three levels of water application during postsetting and post-veraison over vegetative development, productivity and grape quality on cv.Cabernet Sauvignon. Acta Horticulturae, 646: 143 - 146.
- Alonso-Suárez R, Abal G, Siri R, Musé P. 2012. Brightness-dependent Tarpley model for global solar radiation estimation using GOES satellite images : application to Uruguay. [En línea]. Solar Energy, 86(11): 3205 – 3215. Consultado 3 mayo 2017. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2012.08.012>
- Amerine MA, Winkler AJ. 1944. Composition and quality of musts and wines of California grapes. Hilgardia, 15(6): 493 – 675.
- Arritt RW. 1993. Effects of the Large-Scale Flow on Characteristic Features of the Sea Breeze. Journal of Applied Meteorology, 32: 116 – 125.
- Aruani C. 2011. Cambio climático y vitivinicultura en Argentina : Evaluación de la situación actual y proyecciones futuras, en base a datos empíricos y opiniones de los distintos sectores de la industria. Informe de investigación : Becas de investigación OIV 2009 [En línea]. Consultado 4 mayo 2017. Disponible en: <http://www.observatoriova.com/wp-content/uploads/2012/10/Cambio-clim%C3%A1tico-y-vitivinicultura-en-Argentina.pdf>

- Banta RM, Olivier LD, Levinson DH. 1993. Evolution of the Monterey Bay sea-breeze layer as observed by pulsed doppler lidar. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 50(24): 3959 – 3982.
- Barbeau G. 2007. Climat et vigne en moyenne vallée de la Loire, France. En: *Congrès sur le climat et la viticulture*. Saragosse, Espagne ; 10–14 avril ; 2007. [s.l.] : [s.n.]. Seconde session “climat et terroir”. pp. 96 – 101.
- Barros V, Grimm A, Robertson A, Núñez M. 2006. Caracterización del clima de la cuenca del Plata. *REGA*, 3(2): 13 - 28.
- Berberly EH, Moira D, Barros V. Tendencias regionales en la precipitación. 2006. En: Barros V, Clarke R, Silva Díaz P. [Eds.]. *El cambio climático en la Cuenca del Plata*. Buenos Aires : CONICET. pp. 67 – 79.
- Beretta Curi A. 2012. Los caminos de innovación en el agro : inmigración, redes de agricultores, elites y viticultura en el Uruguay de la modernización (1870-1900). *Tempos Históricos*, 16: 41 – 69.
- Bidegain M, Severova V, De Los Santos B. 2009. Climatología regional de base. En: *Escenarios climáticos futuros y del nivel del mar, basado en los modelos climáticos globales y efecto de los vientos y caudal sobre las fluctuaciones del nivel del mar*. Informe N° II: Montevideo : Universidad de la República, Facultad de Ciencias. Proyecto URU/07/G32.
- Bidegain M, Camillioni I. 2006. Performance of GCMs and Climate Change Future Scenarios for Southeastern South America. In: 8th International Conference of Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography; 24 - 28 april; 2006; Foz de Iguaçu, Brasil. [S.l.] : [s.n.]. [s.p.].
- Bidegain M, Caffera RM, Blixen F, Pshennikov VP, Lagomarsino LL, Forbes EA, Nagy G J. 2005. Tendencias climáticas, hidrológicas y oceanográficas en el Río de la Plata y costa Uruguay. En: BarrosV, Menéndez A, Nagy G. [Eds.]. *El cambio climático en el Río de la Plata*. Buenos Aires : CIMA. pp.137 - 143.

- Bois B, Wald L, Pieri P, Van Leeuwen C, Commagnac L, Chery P, Christen M, Gaudillère J, Saur É. 2008. Estimating spatial and temporal variations in solar radiation within bordeaux winegrowing region using remotely sensed data. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 42(1):15 - 25.
- Bonnardot V, Planchon O, Cautenet S. 2005. Sea breeze development under an offshore synoptic wind in the South-Western Cape and implications for the Stellenbosch wine-producing area. *Theoretical and Applied Climatology*, 81(3-4): 203 – 218.
- Bonnardot V, Planchon O, Carey V, Cautenet S. 2002. Diurnal wind, relative humidity and temperature variation in the Stellenbosch-Groot Drakenstein wine-growing area. *South African Journal for Enology and Viticulture*, 23(2): 62 - 71.
- Branas J. 1974. *Viticulture*. Montpellier : [s.n.]. 990 p.
- Brockington NR. 1988. *Actualización en Sistemas de Producción*. Montevideo : SUL. 27 p.
- Buttrose MS. 1969. Vegetative growth of grapevine varieties under controlled temperature and light intensity. *Vitis*, 8: 280 - 285
- Camilloni I, Cavalcanti I, Ambrizzi T. 2006. Escenarios climáticos. En: Barros V, Clarke R, Silva Díaz P. [Eds.]. *El cambio climático en la Cuenca del Plata*. Buenos Aires : CONICET. pp.159 - 174.
- Carbonneau A, Deloire A, Jaillard B. 2007. *La Vigne : physiologie, terroir, culture*. [S.l.] : Dunod. 464 p.
- Carey VA, Archer E, Barbeau G, Saayman D. 2008. Viticultural terroirs in Stellenbosch, South Africa. II. The interaction of Cabernet-Sauvignon and Sauvignon blanc with environment. *Journal International des Sciences de la vigne et du vin*, 42(4):185 -201.
- Celio A. 2016. *Geología y vino : caracterización mediante elementos traza e isotopos estables de posibles Terroirs ubicados sobre diferentes unidades geológicas*

- de Uruguay. Tesis de Maestría. Montevideo, Uruguay : Facultad de Ciencias. 160 p.
- Cellier P, Jacquet A, Bautrais P, Morlat R, Delanchy P. 1996. Modélisation du régime thermique des sols de vignoble du Val de Loire : relations avec des variables utilisables pour la caractérisation des terroirs. Actes du 1er Colloque international sur les terroirs viticoles, Angers, France. pp. 26–32.
- Centre canadien de cartographie et d'observation de la Terre. 2016. Tutoriel : Notions fondamentales de télédétection [En línea]. Consultado 5 mayo 2017. Disponible en : <http://www.rncan.gc.ca/sciences-terre/geomatique/imagerie-satellitaire-photos-aeriennes/imagerie-satellitaire-produits/ressources-educatives/9310>.
- Chiba O, Kobayashi F, Naito G, Sassa K. 1999. Helicopter observations of the sea breeze over a coastal area. *Journal of Applied Meteorology*, 38(4): 481 – 492.
- Choné X, Van Leeuwen C, Chery P, Ribereau-Gayon P. 2001. Terroir influence on water status and nitrogen status of non-irrigated Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera*). Vegetative development, must and wine composition (example of a Medoc top estate vineyard, Saint Julien area, Bordeaux, (1997). *South African journal enology viticulture*, 22(1): 8 – 15.
- Colby FP. 2004. Simulation of the New England sea breeze : the effect of grid spacing. *American Meteorological Society*, 19(2): 277 - 285.
- Coulon C. 2012. Méthode de caractérisation systémique du fonctionnement de la vigne à partir de l'évaluation des effets combinés du milieu et des pratiques culturales pour prévoir les types de vins. Thèse doctorat. Angers, France : Agronomie. Université d'Angers. 242 p.
- Deloire A, Prévost P, Kelly M. 2008. Unravelling the Terroir Mystique—an agro-socioeconomic perspective. *Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources*, 3(32): 1 - 9.

- Deloire A, Ferrer M, Carbonneau A. 2003. Respuesta de la viña al terroir : elementos para un métodos de estudio. *Agrociencia*, 7(1): 105 - 113.
- Dent JB, Anderson JR. 1971. *Systems analysis in agricultural management*. Sydney : John Wiley. 394 p.
- Díaz P, Toscanini A. 2001. Efecto de la regulación de la producción por planta mediante diferentes intensidades de poda invernal, raleo químico y raleo manual de racimos, sobre 15 parámetros productivos y enológicos del cv. Tannat temporada 1997/1998. [Tesis de Grado]. Montevideo : Facultad de Agronomía. Universidad de la República. 88 p.
- DNETN (Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear, Ministerio de Industria Energía y Minería, Uruguay). 2009. Mapa eólico de Uruguay [En línea]. Consultado 4 mayo 2017.
- Disponible en: <http://www.energiaeolica.gub.uy/index.php?page=mapa-eolico-de-uruguay>
- Dry P. 2009. *Bunch exposure management*. Adelaide, Australia : Grape and Wine Research and Development Corporation. [s.p.].
- Echeverría G, Ducati J, Ferrer M. 2013. Implementation of techniques for remote sensing as a method to determine the productive potential of a viticultural terroir. In: 18th International Symposium GiESCO. 7 – 11 july; 2013; Do Porto, Portugal : Faculdade de Ciências. Do Porto : Proceedings: Actas, 28: 719 – 723.
- Echeverría G, Ferrer M, González-Neves G, Salvarrey J, Avondet R, Silva A, Mirás-Avalos J. 2012. Delimitation of terroirs in the Salto region, Uruguay. Influence of soil on the plant response. In: IXe Congress International des Terroirs vitinicoles; 2012; Dijon, Reims : Techniques de zonage du Terroir. [S.l] : [s.n]. pp. 8 - 28.
- Echeverría G, Bossi J, Borca A, Ferrer M. 2009. Estudio geológico en las regiones de Salto y El Carmen (Uruguay) como base para la delimitación de terroirs

- vitícolas. En: XII Congreso latinoamericano de viticultura y enología; 2009; Montevideo: Facultad de Agronomía. [S.l.] : [s.n]. [s.p.].
- Echeverría G, Ferrer M, González-Neves G, Camussi G, Hernández J, Pedocchi R, Vitale A. 2007. Demarcación y gestión del terroir vitícola de la Colonia de Sacramento (Uruguay). En: XXXth World Congress of Vine and Win; 10-16 june; 2007; Budapest, Hungary. [S.l.] : [s.n]. [s.p.].
- Echeverría G. 2007. Gestión y economía vitivinícola. Montevideo : Facultad de Agronomía. Universidad de la República. [Datos sin publicar].
- Echeverría G. 2003. Luces y sombras en el desarrollo de la competitividad vitícola de Uruguay: un enfoque evolucionista. Tesis de Maestría. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 105 p.
- Enrich N, Ferrer M. 1992. Regionalización del cultivo de la vid en Uruguay [Mimiografiado]. [S.l.] : [s.n.]. 93 p.
- Fernandes De Carvalho PA. 2009. Comportamento agronómico e enológico das castas Touriga Nacional e Syrah em seis regiões portuguesas. Tesis de Maestrado. Do Porto : Faculdade de Ciencias da Universidade Do Porto. [s.p.].
- Ferrer M, Echeverría G, Gonzalez-Neves G. 2014. Efecto año : influencia sobre el rendimiento y la composición de la uva. En: 37º Congreso Mundial de la viña y el vino; 9-14 noviembre; 2014; Mendoza, Argentina : OIV. [S. l.] : [s.n.]. [s.p.].
- Ferrer M, González-Neves G, Echeverría G, Camussi G, Avondet R, Salvarrey J, Fourment M. 2011. Comportamiento agronómico y potencial enológico de la uva Tannat en tres regiones climáticas uruguayas. Agrociencia, 15(1): 37 - 49.
- Ferrer M, Camussi G, Gonzalez – Neves G, Echeverría G, Montaña A. 2009. Condiciones predisponentes para las podredumbres de racimo : clima, variedad y técnicas de cultivo. Revista Enología, 4(2): 1 – 10.

- Ferrer M, Pedocchi R, Michelazzo M, González Neves G, Carbonneau A. 2007. Delimitación y descripción de regiones vitícolas del Uruguay en base al método de clasificación climática multicriterio utilizando índices bioclimáticos adaptados a las condiciones del cultivo. *Agrociencia*, 11(1): 47 - 56.
- Ferrer M, González Neves G, Camussi G. 2003a. Ensayos comparativos del efecto del raleo de racimos en envero y cuajado sobre los parámetros productivos, vegetativos y enológicos en la variedad Tannat. En: Ferrer M, Disegna E, Calero G, Pattarino E, Borsani J, Fernández J, Mirazo E, Castillo A, De Lucas R, Silva A, Pua L, Villarino D, Tonietto J. Libro de Actas. Montevideo : Universidad de la República : INIA. pp 133 – 136.
- Ferrer M, González Neves G, Camussi G, Sibille I, Abella J. 2003b. Optimización del manejo del viñedo para disminuir la incidencia de *Botrytis* sp. En: XIX Taller Seminario. Zonificación del cultivo de la vid, terroir - terroño y potencial de cosecha; 1-6 setiembre; 2003. Montevideo : CITED. Madrid : CYTED. pp 89 – 95.
- Ferrer M, Gonzáles-Neves G. 2002. Resultados enológicos y productivos de la aplicación de diversas alternativas de raleo de racimos y distintas intensidades de poda invernal en *Vitis vinifera* L. Cv. Tannat. *Agrociencia*, 6(1): 53 – 62.
- Ferrer M, González Neves G, Camussi G. 2001. Influencia del sistema de conducción, el raleo de racimos y el sistema de poda sobre el daño de podredumbre de racimos. Actas C.D. En: VIII Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología; 2001: [S.l.] : [s.n.]. [s.p.].
- Ferrer M, González G, Burgueño J, Gil G, Gabard G, Barreiro L, Bochicchio Visintin R. 1998. Efecto de la regulación de la producción por planta mediante diferentes intensidades de poda invernal, raleo químico y raleo manual de racimos sobre los parámetros productivos y enológicos del cv.

- Tannat. En: Actas del XXIII Congrès mondial de la vigne et du vin; 1998; Lisboa. [S.l.] : [s.n.]. pp.1 – 50.
- Fregoni C, Pezzutto S. 2000. Principes et premières approches de l'Índice bioclimatique de qualité de Fregoni. Progrès Agricole et Viticole, 117(18): 390 – 396.
- Fourment M, Ferrer M, González-Neves G, Barbeau G, Bonnardot V, Quénel H. 2013. Spatial variability of temperature and grape berry composition at terroir scale in Uruguay. Ciência y Técnica Vitícola, 28(1): 329 - 334.
- García Skabar Y. 2007. Análisis enriquecidos, evaluación de su impacto en el pronóstico y su aplicación para describir circulaciones de mesoescala en el centro y norte de Argentina. [En línea]. Tesis Doctoral. Buenos Aires, Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. 177 p. Consultado 3 mayo 2017. Disponible en: http://digital.bl.fcen.uba.ar/gsd-282/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=tesis&d=Tesis_4212_GarciaSkabar
- Gladstones J. 1992. Viticulture and Environment. Underdale, Australia : Winetitles. 310 p.
- González de Chaves Fernández A. 1981. El uso de la simulación para el estudio de un sistema extensivo de producción animal. Madrid : Ministerio de Agricultura. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. 109 p.
- González-Neves G, Gil G, Favre G, Ferrer M, Charamelo D. 2014. Effect of cold pre-fermentative maceration on the color and composition of young red wines cv. Tannat. Journal of Food Science and Technology, 52(6): 3449 – 3457.
- González-Neves G, Ferrer M, Gil G, Charamelo D, Balado J, Barreiro L, Tessore A. 2010. Estudio plurianual del potencial polifenólico de uvas Tannat en el sur de Uruguay. Agrociencia, 14(2): 10 - 21.
- González-Neves G, Favre G, Charamelo D, Balado J, Barreiro L, Boichichio R, Gatto G, Gil G. Tessore A. 2008. Estudio comparativo de la extracción de polifenoles en la elaboración de vinos Tannat por técnicas alternativas. Revista Enología, 1(5): 1 – 5.

- González-Neves G, Gil G, Barreiro L, Ferrer M, Franco J. 2006. Composición fenólica de las uvas de las principales variedades tintas de *Vitisvinifera* cultivadas en Uruguay *Agrociencia*, 10(2): 1 – 14.
- González-Neves G, Balado J, Barreiro L, Bochicchio R, Gatto G, Gil G, Tessore A, Ferrer M. 2005. Efecto de algunas prácticas de manejo del viñedo y de la vinificación en la composición fenólica y el color de los vinos tintos. En: X Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia. [S.l.] : [s.n.]. pp. 43 - 54.
- González-Neves G, Ferrer M, Carbonneau A, Moutounet M. 2003. Adaptación de la vinificación en tinto en función del potencial polifenólico de las uvas. Experiencias realizadas en la vendimia 2001. *Agrociencia*, 7(1): 59 – 67.
- González-Neves G, Gil G, Ferrer M. 2002. Effect of different vineyard treatments on the phenolic contents in Tannat (*Vitis vinífera* L.) Grapes and their respective wines. *Food. Science and Technology International*, 8(5): 315 – 321.
- Goodwin IP. 1995. Irrigation of vineyard : a winegrape grower's guide to irrigation scheduling and regulated deficit irrigation. Tatura : Institute of Sustainable Irrigated Agriculture. 56 p.
- Grifoni D, Mancini M, Maracchi G, Orlandini S, Zipoli G. 2006. Analysis of Italian wine quality using freely available meteorological information. *American Journal Enology and Viticulture*, 57: 339 - 346.
- Hidalgo L. 1992. Informe : Regionalización vitícola de Uruguay. Las Piedras : INAVI. 159 p. [Datos sin publicar].
- Hsu S. 1970. Coastal air-circulation system: observations and empirical model. *Monthly Weather Review*, 98(7): 487 – 509.
- Huglin P. 1978. Nouveau mode de d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 64: 1117 - 1126.

- Hunter JJ, Bonnardot V. 2011. Suitability of some climatic parameters for grapevine cultivation in South Africa, with focus on key physiological processes. *Journal Enology and Viticulture*, 32(1): 137 - 154.
- INAVI (Instituto Nacional de Estadística). Estadísticas de viñedos 2016 : datos nacionales [En línea]. Consultado 4 mayo 2017. Disponible en línea: http://www.inavi.com.uy/uploads/archivos/estadisticas_de_vinedos_nacionales_ano_2016.pdf
- Jackson RS. 2008. *Wine science : principles and applications*. 3a. Ed.. [S.l.] : Academic press. 776 p.
- Jackson DI, Lombard PB. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44(4): 409 - 430.
- Johansen Bertoglio O. 1982. *Introducción a la teoría general de sistemas*. México : Limusa. 167 p.
- Jones GV. 2006. Climate and Terroir : Impacts of Climate Variability and Change on Wine. In: Mac Queen RW, Meinert LD. [Eds.]. *Fine Wine and Terroir : The Geoscience Perspective*. Newfoundland : Geological Association of Canada, Geoscience . 247 p. (Canada Reprint Series; 9).
- Jones G, White M, Cooper O, Storchmann K. 2005. Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73(3): 319 – 343.
- Jones GV, Davis RE. 2000. Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *American Journal of Enology and Viticulture*, 51: 249 - 261.
- Justus C, Paris M, Tarpley J. 1986. Satellite-measured insolation in the United States, México, and South America. *Remote Sensing of Environment*, 20(1): 57 – 83.

- Laget F, Tondut JL, Deloire A, Kelly MT. 2008. Climate trends in a specific Mediterranean viticultural area between 1950 and 2006. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 42(3):113 - 123.
- Lobell DB, Cahill KN, Field CB. 2007. Historical effects of temperature and precipitation on California crop yields. *Climatic Change*. 81(2):187 – 203.
- López Laborde J, Perdomo A, Gómez Erache M. [Eds]. 2000. Diagnóstico Ambiental y Socio Demográfico de la Zona Costera Uruguaya del Río de la Plata : compendio de los principales resultados. Montevideo: EcoPlata. 180p.
- Makra L, Vitányi B, Gál A, Mika J, Matyasovszky I, Hirsch T. 2009. Wine quantity and quality variations in relation to climatic factors in the Tokaj (Hungary) winegrowing region. *American Journal of Enology and Viticulture*, 60(3): 312 - 321.
- Malheiro AC, Santos JA, Fraga H, Pinto JG. 2010. Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. *Climate Research*, 43(3): 163 - 177.
- Masselink G, Pattiaratchi CB. 1998. The effect of sea breeze on beach morphology, surf zone hydrodynamics and sediment resuspension. *Marine Geology*, 146(1-4): 115 –135.
- Mihailescu IF. 1986. Particularités de la répartition des précipitations atmosphériques dans la Dobroudja du sud (Roumanie). *Freiburg Geographische. Hefte*, 26: 342 – 351.
- Miller STK, Keim BD, Talbot RW, Mao H. 2003. Sea breeze : Structure, forecasting, and impacts. *Reviews of geophysics*, 41(3): 1 – 31.
- Molfino JH, Califra A. 2004. Evaluación del drenaje natural de las tierras del Uruguay (Primera aproximación). [En línea]. Consultado 5 mayo 2017. Disponible en:
[://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/evaluacion_del_drenaje_natural_de_las_tierras_del_uruguay_primera_aproximacion.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/evaluacion_del_drenaje_natural_de_las_tierras_del_uruguay_primera_aproximacion.pdf)

- Morlat R. 1996. Éléments importants d'une méthodologie de caractérisation des facteurs naturels du terroir, en relation avec la réponse de la vigne à travers le vin. In : 1st International Colloquium Les terroirs viticoles : Concept, produit, valorisation ; 1996; Angers : INRA. [S.l.] : [s.n.]. pp. 17 - 31.
- Morlat R, Penavayre, M, Jacquet A, Asselin C, Lemaitre C. 1992. Influence des terroirs sur le fonctionnement hydrique et la photosynthèse de la vigne en millésime exceptionnellement sec (1990). Conséquence sur la maturation du raisin. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 26(4) : 197 - 220.
- Murphy G M, Hurtado RH. 2011. Agrometeorología. Buenos Aires : Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Buenos. 440 p.
- Myburgh PA, Van Zyl JL, Conradie WJ. 1996. Effect of soil depth on growth and water consumption of young vitis vinifera L. cv. Pinot Noir [1996]. South African Journal for Enology and Viticulture, 17(2): 53 – 62.
- Neumann J. 1977. On the rotation rate of the direction of sea and land breezes. Journal of the Atmospheric Sciences, 34: 1913 – 1917.
- Ohashi Y, Kida H. 2002. Observational results of the sea breeze with a weak wind region over the northern Osaka urban area. Journal of the Meteorological Society of Japan, 79(4): 949 – 955.
- Ojeda H, Carrillo N, Deis L, Tisseyre B, Heywang M, Carbonneau A. 2005. Precision viticulture and water status II : quantitative and qualitative performance of different within field zones, defined from water potential mapping. In: XIV International GESCO Viticulture Congress; 23-27 august; 2005; Greisenheim, Allemagne. Vol. 2. Germany : GESCO. pp. 741 – 748.
- Pédelaborde P. 1987. Sur les brises. Met-mar, (136): 11 - 15.
- Petrie PR, Cooley NM, Clingeleffer PR. 2004. The effect of post-veraison water deficit on yield components and maturation of irrigated Shiraz (Vitis vinifera L.) in the current and following season. Australian Journal Grape and Wine Research, 10(3): 203 – 215.

- Pienika R, Cataldo J. 2012. Análisis estadístico de datos climáticos aplicado a la clasificación de zonas vitícolas en Uruguay. 2º Congreso Latinoamericano de Ingeniería del Viento; 3-7 diciembre; 2012; La Plata , Argentina. [S.l.] : [s.n.]. [s.p.].
- Pinker RT, Laszlo I. 1992. Modeling surface solar irradiance for satellite applications on global scale. *Journal Applied Meteorology*, 31(2): 194 – 211.
- Planchon O, Cautenet S. 1997. Rainfall and sea-breeze circulation over southwestern France. *International Journal of Climatology*, 17(5): 535–549.
- Ponzoni FJ, Shimabukuro YE. 2009. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. Sao José dos Campos, Brasil : Parentese. [s.p].
- Rabbinge R. 1993. The ecological background in food production. En: Rabbinge R. Crop protection and sustainable agriculture. Chichester : John Wiley & Sons. pp. 2 – 29. (Ciba Foundation Symposium, 177).
- Rankine BC, Fornachon JCM, Boehm EW, Cellier KM. 1971. The influence of grape variety, climate and soil on grape composition and quality of table wines. *Vitis*. 10: 33 – 50.
- Reyes S, Pares A. 1983. Análisis de componentes principales de los vientos superficiales sobre la bahía de todos santos. *Geofísica Internacional*, 22(2) : 179-203.
- Riou C, Lebon E. 2000. Application d'un modèle de bilan hydrique et de la mesure de la température de couvert au diagnostic du stress hydrique de la vigne à la parcelle. *Bulletin de l'OIV*, 73(837-38): 755 – 764.
- Riou C, Carbonneau A. 1994. Le déterminisme climatique de la maturation du raisin : application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté Européenne. Luxembourg : Centre Commun e Recherche. 322 p.
- Sakazaki T, Fujiwara M. (2008). Diurnal variations in summertime surface wind upon Japanese plains : Hodograph rotation and its dynamics. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 86(5): 787 – 803.

- Salvador R, Millán M. 2003. Análisis histórico de las brisas en Castellón. *Tethys, revista de meteorología*, (2): 37 - 51.
- Schumann EH, Illenberger WK, Goschen WS. (1991). Surface winds over Algoa Bay, South Africa. *South African Journal of Science*, 87: 202 – 207.
- Seguin G. 1986. Terroirs and pedology of wine growing. *Experientia*, 42(8): 861 – 873.
- Silva Dias MA, Jaschke Machado A. 1997. The role of local circulations in summertime convective development and nocturnal fog in São Paulo, Brazil. *Boundary-Layer Meteorology*, 82(1), 135-157.
- Simpson JE. 1996. Diurnal changes in sea-breeze direction. *Journal of Applied Meteorology*, 35: 1166 – 1169.
- Simpson JE, 1994. *Sea Breeze and Local Wind*. New York : Cambridge Univ. Press. 234 p.
- Smart RE. 1989. Solar radiation interception as a guide to the design of horticultural plantings. II twenty years experience with grapevines. *Acta Horticulturae*, 240. [s.p.].
- Smith K. 1976. The climates of coasts and inland water bodies. In: Chandler IJ, Gregory S. [Eds.]. *The Climate of the British Isles*. London : Longman. pp. 248 – 263.
- Soar CJ, Sadras VO, Petrie PR. 2008. Climate drivers of red wine quality in four contrasting Australian wine regions. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 14(2): 78 -90.
- Steel CC, Greer DH. 2008. Effect of climate on vine and bunch characteristics: Bunch rot disease susceptibility. *Acta Horticulturae*, 785: 253 - 262.
- Tittonell P. 2010. The use of models in agroecosystem design in the context of smallholder agriculture. In: *Congreso de Co-Innovación de Sistemas Sostenibles de Sustento Rural*. 2010. [S.l] : [s.n.]. [s.p.].

- Tonietto J, Sotés-Ruiz V, Gómez-Miguel V. [Eds.]. 2013. Clima, zonificación y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas Iberoamericanas. Madrid : CYTED. [s.p.].
- Tonietto J, Carbonneau A. 2004. Multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(1-2): 81 – 97.
- Tonietto J. 1999. Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mesoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat d'Hamburg dans le sud de la France. Thèse de Doctorat. Montpellier, Francia : ENSA. 233 p.
- UNE 500540. 2004. Redes de Estaciones Meteorológicas Automáticas : directrices para la validación de registros meteorológicos procedentes de redes de estaciones automáticas : validación en tiempo real. [S.l.] : AENOR. 7 p.
- Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ciencias. Departamento de Ciencias de la Atmósfera. [s.d.]. Curso de Meteorología. Componente geográfica del clima. [En línea]. Consultado 15 julio 2003.
- Disponible en:
http://www.meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/teorico_climatologia/TEMA%2012.do
- Urrutia, A. (1993). Análisis del comportamiento de la pluma del río Biobío en base a un estudio de sus campos de temperatura, salinidad, densidad y de movimiento. Tesis de Doctorado en Ciencias Ambientales. EULA : Universidad de Concepción 195 p.
- Van Leeuwen C, Bois B, Pieri P, Gaudillere JP. 2007. Clima como un componente del terroir. *Revista Enología*, 2 (4): 1 – 14.
- Van Leeuwen C, Friant P, Chone X, Tregoat O, Koundouras S, Dubourdieu D. 2004. Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55(3): 207 - 217.

- Van Leeuwen C, Friant Ph, Soyer JP, Molot C, Chone X, Dubourdieu D. 2000. L'intérêt du dosage de l'azote total et l'azote assimilable dans le moût comme indicateur de la nutrition azotée de la vigne. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 34(2) : 75 – 82.
- Vaudour E. 2002. The quality of grapes and wine in relation to geography: Notions of terroir at various scales. *Journal of Wine Research*, 13(2): 117 - 141.
- Winkler AJ. 1962. General viticulture. Los Angeles : University of California Press. 633 p.
- Yan H, Anthes RA. 1988. The effect of variations in surface moisture on mesoscale circulation. *Monthly Weather Review*, 116(1): 192 - 208.
- Zhang Y, Chen Y-L, Schroeder TA, Kodama K. 2005. Numerical Simulations of Sea-Breeze Circulations over Northwest Hawaii. *Weather and Forecasting*, 20(6): 827 – 846.
- Zufferey V, Murisier F. 2004. Etude des terroirs viticoles vaudois. 4. Comportement physiologique et agronomique de la vigne. *Revue suisse de Viticulture arboriculture horticulture*, 36(4): 14-20.

7 ANEXOS

7.1 VALORIZACIÓN DE LA TESIS

Echeverría G, Ferrer M, Abal G, Alonso-Suárez R (2015) Solar radiation in the uruguayan coast of the Río de la Plata and its relation to viticulture climate Índices 19th International Symposium GiESCO 2015 (Group of International Experts of vitivinicultural Systems for CoOperation) , Gruissan y Montpellier , Editorial: Publications & Actualités Vitivinicoles , Montpellier. Proceedings: Actas, 1, 247 , 250