

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA VITIVINÍCOLA DE DIFERENTES REGIONES CORDOBESAS

JUAN BERTELLO
GUSTAVO OVANDO
JORGE A. PRIETO
GUSTAVO ALIQUÓ



CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA VITIVINÍCOLA DE DIFERENTES REGIONES CORDOBESAS

Mag. JUAN BERTELLO

(IAP DE CS BYA - UNVM)

Dr. GUSTAVO OVANDO

(FCA - UNC)

Dr. JORGE A. PRIETO

(INTA MENDOZA)

Ing. GUSTAVO ALIQUÓ

(INTA MENDOZA)

Caracterización climática vitivinícola de diferentes regiones cordobesas / Gustavo Alberto Aliquó
... [et al.]. - 1a ed. - Villa María : Eduvim, 2026.
Libro digital, EPUB

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-699-961-8

1. Vino. 2. Zonas Climáticas. 3. Economía Regional. I. Aliquó, Gustavo Alberto
CDD 663.22



Libro
Universitario
Argentino

Edición
Corrección
Maquetación
Diseño de Portada
Acceso Abierto Eduvim
Edición Digital:

Carlos Gazzera
Guadalupe Garione
Gabriela Callado
Gabriela Callado
Lucas Aimar
Ingrid Salinas Rovasio

<https://doi.org/10.52550/xz26ks55>



Obra bajo Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional
CC BY-NC-ND

Esta licencia permite a Ud. sólo descargar la obra y compartirlas con otros usuarios siempre y cuando se indique el crédito de autor y editorial. No puede ser cambiada de forma alguna ni utilizarse con fines comerciales.

La responsabilidad por las opiniones expresadas en los libros, artículos, estudios y otras colaboraciones publicadas por EDUVIM incumbe exclusivamente a los autores firmantes y su publicación no necesariamente refleja los puntos de vista ni del Director Editorial, ni del Consejo Editor u otra autoridad de la UNVM.

ÍNDICE GENERAL

I. Introducción	11
I.1. Regiones cordobesas con actividad vitivinícola	11
I.2. Importancia de la zonificación climática vitivinícola	14
I.3. Objetivos	15
II. Materiales y métodos	17
II.1. Índices bioclimáticos utilizados	17
II.1.1. Índices térmicos	17
II.1.1.1. Índice Heliotérmico de Huglin (IH)	18
II.1.1.2. Índice de Frescor nocturno (IF)	20
II.1.2. Índice de Sequía (IS)	20
II.1.2.1. Precipitaciones	20
II.1.2.2. Evapotranspiración	21
II.1.3. Clasificación e interpretación de los climas vitivinícolas	22
II.1.3.1. Índice Heliotérmico de Huglin (IH)	22
II.1.3.2. Índice de Frescor nocturno (IF)	23
II.1.3.3. - Índice de Sequía	23
II.1.4. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio (SCCVM)	24
II.2. Factores climáticos que limitan el cultivo de la vid	26
II.2.1. Heladas tardías	26
II.2.2. Temperatura máxima en el mes previo a la cosecha	27
II.2.3. Riesgo de enfermedades criptogámicas	28
II.3. Validación de resultados	28
III. Resultados y discusión	29
III.1. Región de Calamuchita-Paravachasca	29
III.1.1. Índice Heliotérmico de Huglin	29

III.1.2. Índice de Frescor nocturno	31
III.1.3. Índice de Sequía	31
III.1.4. Heladas tardías	33
III.1.5. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha	34
III.1.6. Precipitaciones	35
III.1.7. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio	36
III.2. Región de Traslasierra	38
III.2.1. Índice Heliotérmico de Huglin	38
III.2.2. Índice de Frescor nocturno	39
III.2.3. Índice de Sequía	40
III.2.4. Heladas tardías	41
III.2.5. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha	42
III.2.6. Precipitaciones	43
III.2.7. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio	44
III.3. Región de Caroya	46
III.3.1. Índice Heliotérmico de Huglin	46
III.3.2. Índice de Frescor nocturno	47
III.3.3. Índice de Sequía	47
III.3.4. Heladas tardías	48
III.3.5. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha	48
III.3.6. Precipitaciones	49
III.3.7. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio	50
III.4. Región de Punilla	51
III.4.1. Índice Heliotérmico de Huglin	51
III.4.2. Índice de Frescor nocturno	52
III.4.3. Índice de Sequía	53
III.4.4. Heladas tardías	54
III.4.5. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha	55
III.4.6. Precipitaciones	56
III.4.7. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio	58
III.5. Región del Norte de Córdoba	59
III.5.1. Índice Heliotérmico de Huglin	59
III.5.2. Índice de Frescor nocturno	60
III.5.3. Índice de Sequía	61
III.5.4. Heladas tardías	62
III.5.5. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha	63

III.5.6. Precipitaciones	64
III.5.7. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio	65
III.6. Región de Cruz del Eje	67
III.6.1. Índice Heliotérmico de Huglin	67
III.6.2. Índice de Frescor nocturno	67
III.6.3. Índice de Sequía	68
III.6.4. Heladas tardías	68
III.6.5. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha	69
III.6.6. Precipitaciones	69
III.6.7. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio	70
III.7. Validación de resultados	71
IV. Conclusión	73
V. Bibliografía	75
Sobre los autores	79

Índice de tablas

Tabla n° 1. Distribución de variedades tintas implantadas. Hectáreas por departamento (INV, 2025)	13
Tabla n° 2. Distribución de variedades blancas implantadas. Hectáreas por departamento (INV, 2025)	13
Tabla n° 3. Distribución de variedades rosadas implantadas. Hectáreas por departamento (INV, 2025)	13
Tabla n° 4. Superficie implantada, cantidad y tamaño del viñedo por departamento	14
Tabla n° 5. Necesidades heliotérmicas mínimas de variedades blancas y tintas expresadas por el Índice Heliotérmico de Huglin. Modificada de Huglin (1986)	18
Tabla n° 6. Clases de climas vitícolas de acuerdo al IH	19
Tabla n° 7. Clases de climas vitícolas de acuerdo al IF	20
Tabla n° 8. Clasificación según el Índice de Sequía (IS)	22
Tabla n° 9. Sistema de clasificación climática vitivinícola multicriterio aplicado en diferentes regiones vitivinícolas del mundo	24
Tabla n° 10. Regiones vitivinícolas clasificadas	25
Tabla n° 11. Geolocalización de las estaciones del SMN	28
Tabla n° 12. r y p-valor para la comparación de IH, IF, IS y T _{máx} calculada para dos estaciones meteorológicas del SMN con respecto a los datos satelitales	71

Índice de figuras

Figura n° 1. Regiones vitivinícolas cordobesas	12
Figura n° 2. Calamuchita y Paravachasca. Distribución del IH	30
Figura n° 3. Calamuchita y Paravachasca. Variación del Índice de Frescor nocturno	31
Figura n° 4A. Calamuchita y Paravachasca. Variación del Índice de Sequía	32
Figura n° 4B. Calamuchita y Paravachasca. Proporción del territorio con los dos tipos de Índices de Sequía que se presentan en la región	32
Figura n° 5. Calamuchita y Paravachasca. Heladas tardías	33
Figura n° 6. Calamuchita y Paravachasca. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha	34
Figura n° 7. Calamuchita y Paravachasca. Precipitaciones entre el 15/09 y 15/03	35
Figura n° 8. Calamuchita y Paravachasca. Precipitaciones entre el 01/02 y 15/03	36
Figura n° 9. Calamuchita y Paravachasca. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio	37
Figura n° 10. Traslasierra. Índice Heliotérmico de Huglin	38
Figura n° 11. Traslasierra. Distribución geográfica del Índice de Frescor nocturno	39
Figura n° 12. Traslasierra. Distribución geográfica del Índice de Sequía	40
Figura n° 13. Traslasierra. Fechas de las Heladas tardías	41
Figura n° 14. Traslasierra. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha	42
Figura n° 15. Traslasierra. Precipitaciones entre el 15/09 y 15/03	43
Figura n° 16. Traslasierra. Precipitaciones entre el 01/02 y 15/03	44
Figura n° 17. Traslasierra. Sistema de Clasificación Climática Vitícola Multicriterio	45
Figura n° 18. Caroya. Índice Heliotérmico de Huglin	46
Figura n° 19. Caroya. Índice de Frescor nocturno	47
Figura n° 20. Caroya. Índice de Sequía	47
Figura n° 21. Caroya. Heladas tardías	48
Figura n° 22. Caroya. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha	48
Figura n° 23. Caroya. Precipitaciones en el período 15/09 y 15/03	49
Figura n° 24. Caroya. Precipitaciones entre el 01/02 y 15/03	49
Figura n° 25. Caroya. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio	50
Figura n° 26. Punilla. Índice Heliotérmico de Huglin	51
Figura n° 27. Punilla. Índice de Frescor nocturno	52
Figura n° 28. Punilla. Índice de Sequía	53
Figura n° 29. Punilla. Heladas tardías	54
Figura n° 30. Punilla. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha	55
Figura n° 31. Punilla. Precipitaciones entre el 15/09 y 15/03	56
Figura n° 32. Punilla. Precipitaciones entre el 01/02 y 15/03	57

Figura n° 33. Punilla. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio	58
Figura n° 34. Norte de Córdoba. Índice Heliotérmico de Huglin	59
Figura n° 35. Norte de Córdoba. Índice de Frescor nocturno	60
Figura n° 36. Norte de Córdoba. Índice de Sequía	61
Figura n° 37. Norte de Córdoba. Heladas tardías	62
Figura n° 38. Norte de Córdoba. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha	63
Figura n° 39. Norte de Córdoba. Precipitaciones entre el 15/09 y 15/03	64
Figura n° 40. Norte de Córdoba. Precipitaciones entre el 01/02 y 15/03	65
Figura n° 41. Norte de Córdoba. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio	66
Figura n° 42. Cruz del Eje. Índice Heliotérmico de Huglin	67
Figura n° 43. Cruz del Eje. Índice de Frescor nocturno	67
Figura n° 44. Cruz del Eje. Índice de Sequía	68
Figura n° 45. Cruz del Eje. Heladas tardías	68
Figura n° 46. Cruz del Eje. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha	69
Figura n° 47. Cruz del Eje. Precipitaciones entre el 15/09 y 15/03	69
Figura n° 48. Cruz del Eje. Precipitaciones entre el 01/02 y 15/03	70
Figura n° 49. Cruz del Eje. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio	70

I. INTRODUCCIÓN

La vid (*Vitis vinifera* L.) presenta una amplia distribución geográfica y actualmente se cultiva en más de setenta países. Gracias a la elevada diversidad genética de sus variedades, puede adaptarse a una amplia gama de condiciones climáticas que incluyen ambientes muy diversos, desde climas mediterráneos, continentales, oceánicos, subtropicales, subtropicales húmedos hasta tropicales (Neethling, Barbeau, Coulon-Leroy & Quénot, 2019).

La vitivinicultura argentina tiene sus orígenes en el período colonial, dado que el cultivo de la vid formaba parte de las prácticas agrícolas introducidas por los colonizadores españoles. A mediados del siglo XVI, los conquistadores llevaron las primeras plantas de *Vitis vinifera* al Cuzco. Desde allí, el cultivo se trasladó a Chile en 1551 y, seis años más tarde, fue introducido en Argentina por pobladores de Santiago del Estero.

Durante la segunda mitad del siglo XX, la provincia de Córdoba logró consolidar una industria vitivinícola de relevancia nacional. De las aproximadamente mil empresas vitivinícolas existentes en Argentina en ese período, Córdoba albergaba la séptima en mayor capacidad de producción: la Cooperativa Vitivinícola La Caroyense. En la década de 1980, aunque no alcanzaba la proyección internacional de Mendoza, Córdoba contaba con una tradición vitivinícola centenaria y una industria consolidada y desarrollada.

I.1. Regiones cordobesas con actividad vitivinícola

Las áreas con actividad vitivinícola se localizan principalmente en las sierras pampeanas cordobesas, en sus piedemontes y valles intermontanos. Estos territorios presentan características ambientales contrastantes, con sectores de clima seco, semidesértico y húmedo, y se distinguen además por la presencia de numerosos cuerpos de agua, tanto naturales como artificiales. En la figura n° 1 se observan sus ubicaciones y diferentes relieves con indicación de las alturas de los cordones montañosos presentes en el territorio, así como también la geolocalización de los viñedos implantados en ellas (INV, 2026).

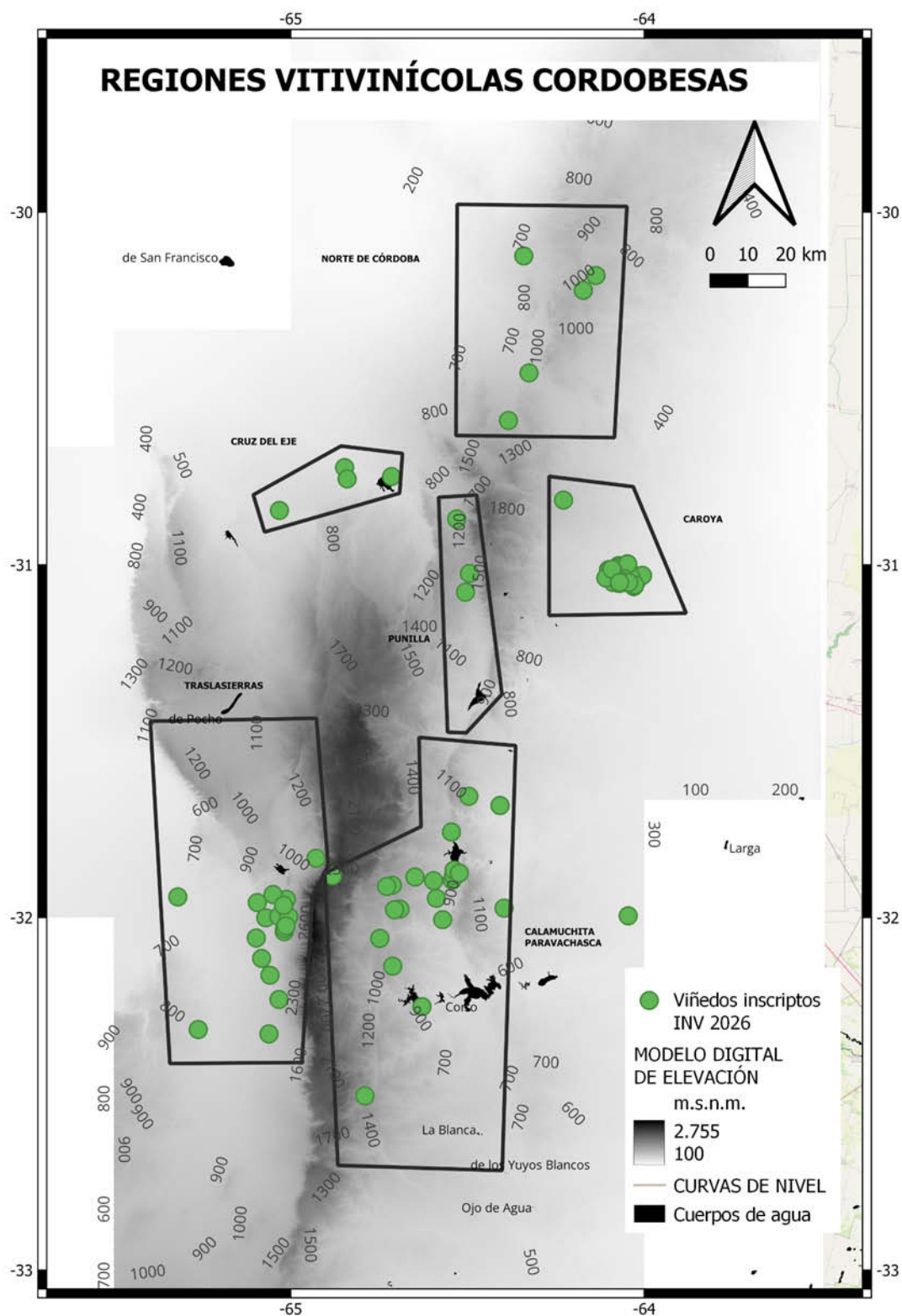


Figura n° 1. Regiones vitivinícolas cordobesas

La provincia de Córdoba cuenta con una superficie implantada con vid de 267,8 ha, de las cuales el 93,6 % se destina a la elaboración de vino. En la tabla n° 1 se observa la distribución por departamento de las variedades tintas donde predomina Malbec, Pinot Negro e Isabella, mientras que, entre las blancas (tabla n° 2), se destacan Sauvignon Blanc y Chardonnay. En variedades rosadas, hay una incipiente producción en Calamuchita y Punilla (tabla n° 3). La mayoría de los viñedos tienen menos de veinte años desde su implantación y presentan un

tamaño medio de 2,2 ha. El sistema de conducción predominante es el espaldero, utilizado en el 86 % de los casos (INV, 2025).

Tabla n°1. Distribución de variedades tintas implantadas.
Hectáreas por departamento (INV, 2025)

Variedad	Colón	Calamuchita	Santa María	San Javier	Ischilín	Cruz del Eje	Tulumba	San Alberto	Punilla	Río Cuarto	Total	Total Córdoba
Malbec	12.38	25.96	8.56	8.32	2.1	7	2.04	2.19	0.85	1.09	0.08	70.55
Isabella	25.62				1.1							27.02
Pinot Negro	20.3	1.62	1.48	0.01	0.35	0.15	1.78	0.04		0.19	0.1	26.01
Cabernet Sauvignon	7.46	5.81	1.92	1.49	4.75	1.17	1.1		0.46			24.09
Merlot	16.71	1.57	0.52	0.51	2.95		0.1		0.36		0.15	22.87
Ancellotta	10.07	0.18	1.6	0.71	1.54					0.14		13.74
Cabernet Franc	0.87	5.52	2.65	2.27	1.73			0.07	0.55	0.26	0.72	14.84
Syrah	1.13	1.07	0.8	2.29		4.28	0.77	1.29	0.08			11.71
Tannat	2.6	1.57		1.24	0.16							5.57
Bonarda	0.16	0.23	0.8	1.48		0.25			0.03			2.93
Petit Verdot	0.34	0.9		0.09		0.1						1.43
Raboso	0.86											0.86
Alicante Bouschet			0.7									0.7
Granacha		0.43		0.12								0.55
Criolla Chica				0.3								0.3
Negrada	0.06			0.06								0.13
Moscato				0.12								0.12
Marselan				0.09								0.09
Aspiran Bouschet	0.05						0.02					0.07
Tempranillo		0.07										0.07
Barbera	0.06			0.01								0.07
Sangiovese	0.06											0.06
Freisa	0.03											0.03
TOTAL TINTAS ELABORACION	98.74	44.91	19.08	17.07	14.98	12.94	5.82	3.58	2.27	1.69	1.05	222.11

Tabla n° 2. Distribución de variedades blancas implantadas.
Hectáreas por departamento (INV, 2025)

Variedad	Calamuchita	Colón	Santa María	Ischilín	San Javier	Tulumba	San Alberto	Punilla	Río Cuarto	Total Córdoba
Sauvignon Blanc	5.35	2.02	2.81	0.8	0.2	1.15	0.77	0.32		13.42
Chardonnay	1.71	1.74	0.5	1.2	0.55	0.005	0.23	0.03	0.19	6.15
Viognier	0.08		0.13	1.37	1.28					2.73
Semillón	0.65		0.5		0.8					1.95
Torrontés Riojano	0.65	0.19	0.7	0.13	0.02			0.03		1.72
Glera/Prosecco	1									1
Roussanne	0.79									0.79
Verduzzo		0.63								0.63
Albariño			0.55							0.55
Malvasía		0.51								0.51
Marsanne	0.26									0.26
Ugni Blanc		0.26								0.26
Gruner Veltliner			0.13							0.13
Otras Var. Blancas p/Vinificar		0.06								0.06
Moscato de Alejandría		0.03		0.02						0.03
TOTAL BLANCAS ELABORACIÓN	10.5	5.43	4.68	4.01	2.05	1.96	0.99	0.38	0.19	30.19

Tabla n° 3. Distribución de variedades rosadas implantadas.
Hectáreas por departamento (INV, 2025)

Variedad	Calamuchita	Punilla	Total Córdoba
Traminer	0.44	0.14	0.58
Pinot Gris	0.43		0.43
TOTAL ROSADAS ELAB.	0.87	0.14	1.01

En relación con la distribución territorial, en la tabla n° 4 podemos observar que el departamento Colón concentra una parte significativa de la producción, aunque con viñedos de menor superficie que el promedio provincial. En contraste, Ischilín se caracteriza por poseer explotaciones

de mayor tamaño. En los últimos años, la geografía vitivinícola provincial ha experimentado transformaciones, con una disminución relativa de las zonas tradicionales y un marcado crecimiento de regiones como Calamuchita y Traslasierra –especialmente el departamento San Javier– que se han consolidado como polos dinámicos de la actividad. Estas regiones en la actualidad concentran el 33,6 % del total de superficie implantada. Asimismo, Tulumba, San Alberto y Punilla se han incorporado recientemente al desarrollo vitivinícola.

Tabla n° 4. Superficie implantada, cantidad y tamaño del viñedo por departamento

Departamentos	Hectáreas	% sobre total (Sup.)	Cantidad Viñedos	% sobre total (Viñedos)	Tamaño medio (ha)
Colón	104.2	38.9	56	51.9	1.9
Calamuchita	56.8	21.2	15	13.9	3.8
San Javier	33.1	12.4	16	14.8	2.1
Santa María	23.8	8.9	5	4.6	4.8
Ischilín	19	7.1	2	1.9	9.5
Cruz del Eje	12.9	4.8	4	3.7	3.2
Tulumba	7.8	2.9	3	2.8	2.6
San Alberto	4.6	1.7	1	0.9	4.6
Punilla	2.8	1	4	3.7	0.7
Río Cuarto	1.9	0.7	1	0.9	1.9
Total	1	0.4	1	0.9	1
TOTAL CÓRDOBA	267.8	100	108	100	2.5

Por otra parte, se identifican importantes potencialidades para el desarrollo del enoturismo. La elevada afluencia de turistas a las zonas serranas, donde existen viñedos implantados o con aptitud para su establecimiento, junto con una infraestructura turística consolidada, constituye un canal estratégico de comercialización. Sin sustituir los circuitos tradicionales de venta, el enoturismo se presenta como una alternativa complementaria que, en un mercado cada vez más competitivo, puede favorecer la venta directa en bodega (CFI, 2015).

1.2. Importancia de la zonificación climática vitivinícola

El clima condiciona el comportamiento fisiológico, el rendimiento y la composición química de la uva y el vino, por lo que resulta fundamental comprender su estructura multinivel y la organización jerárquica de dichos niveles. En este contexto, la zonificación climática adquiere especial relevancia, ya que el clima constituye uno de los factores determinantes de la diversidad productiva en las regiones vitivinícolas, así como de la calidad y tipicidad de los vinos obtenidos (Tonietto, 1999).

Sobre un área geográfica determinada, las estructuras climáticas a largo plazo influyen en el potencial vitivinícola de la región (Tonietto & Carbonneau, 2004), mientras que año a año las variaciones en las condiciones meteorológicas afectan la productividad y la composición de la uva y, por extensión, la calidad del vino (Fourment, Ferrer, González-Neves, Barbeau, Bonnardot & Quéno, 2017).

Para modelizar el clima de una región de tamaño variable, numerosos estudios han llevado a la concepción de índices bioclimáticos específicos de la viticultura. Estos, al integrar de una forma u otra el factor temperatura y la disponibilidad de agua, permiten predecir el potencial de una región para producir vino de una variedad determinada, identificar los riesgos ambientales asociados a la fenología de la vid y, en cierta medida, el potencial estilo de vino. La aplicación de estos índices permitió comprender la variación espacial de las potencialidades y limitaciones vitivinícolas en, por ejemplo, Uruguay (Ferrer, Pedocchi, Michelazzo, González-Neves &

Carbonneau, 2007), Australia (Hall & Jones, 2010), Estados Unidos (Jones, Duff, Hall & Myers, 2010), Nueva Zelanda (Anderson, Jones, Tait, Hall & Trought, 2012) y Francia (Morin, Le Roux, Lemasle, & Quéno, 2020), entre otros.

Los niveles climáticos de menores resoluciones están anidados dentro de los de resoluciones espaciales mayores. Si bien una misma masa de aire genera patrones climáticos comunes para un territorio extenso, los efectos locales del terreno, como por ejemplo su topografía o relieve, conducirán a grandes variaciones a escalas más pequeñas. Como consecuencia de ello, estos niveles de menor resolución espacial imponen al clima retroalimentaciones que modifican patrones a gran escala. De esta manera, se producen interacciones hacia arriba o hacia abajo entre los diferentes niveles de la estructura climática. Por ejemplo, el clima local podría tener una distancia horizontal de 10 km en un área plana, mientras que la distancia característica sería de 1 km en una zona montañosa (Neethling, 2019).

Asimismo, la zonificación climática puede emplearse como una herramienta de investigación estratégica para la identificación de nuevas áreas con potencial vitícola. A través del análisis de condiciones ambientales limitantes o favorables para el cultivo es posible evaluar la aptitud regional para el desarrollo de la actividad, las posibles limitantes ambientales o las variedades más adaptadas (Tonietto, 2005).

I.3. Objetivos

Objetivo principal

Zonificar a las regiones vitivinícolas de Córdoba en áreas con climas vitícolas semejantes.

Objetivos específicos

- Identificar y determinar los climas vitícolas en las áreas en estudio utilizando información obtenida mediante datos satelitales en el período 2002-2025.
- Geolocalizar las áreas con climas vitícolas semejantes.
- Interpretar los datos climáticos obtenidos y relacionarlos con el impacto en la fisiología de la vid y la composición de la baya.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

II.1. Índices bioclimáticos utilizados

Para identificar el clima vitícola en cada región se calcularon los siguientes índices bioclimáticos: Índice Heliotérmico de Huglin (IH), Índice de Frescor nocturno (IF) e Índice de Sequía (IS). Los datos climáticos utilizados para su cálculo fueron obtenidos por teledetección entre los períodos 2002-2003 y 2024-2025. El IH y IS se calcularon para el período comprendido entre el 15/09 y el 15/03 del año siguiente considerándolas como un *proxy* de las fechas de brotación y cosecha respectivamente en el área de estudio, mientras que el IF se calculó entre el 15/02 y el 15/03 considerando el mes previo a la cosecha. Esta información fue procesada en un entorno GIS a los efectos de geolocalizar los resultados.

Además, se analizaron para cada región las variables climáticas que pueden limitar la actividad vitivinícola como son las fechas de ocurrencia de las heladas tardías, las temperaturas que pueden ocasionar estrés por calor y las precipitaciones por el riesgo de enfermedades criptogámicas.

II.1.1. Índices térmicos

Los índices bioclimáticos se modelan y mapean utilizando métodos estadísticos a partir de datos que se recopilan como muestras de puntos cuya distribución rara vez está diseñada para capturar el rango de variabilidad climática dentro de una región. La información espacial disponible, por ejemplo, de la temperatura del aire es a menudo limitada, especialmente en regiones con poca población o subdesarrolladas (Vancutsem, Ceccato, Dinku & Connor, 2010). La predicción de los valores de temperatura del aire en puntos no medidos puede obtenerse por varios métodos de interpolación basados en mediciones realizadas en las estaciones, pero su exactitud se ve afectada por la ubicación arbitraria de estas estaciones meteorológicas. Estos métodos han probado ser exitosos en estimación de temperaturas del aire en lugares cercanos a las estaciones meteorológicas (Lennon & Turner, 1995). La necesidad de esta información espacial ha motivado a algunos investigadores a buscar metodologías basados en información satelital como solución a este problema (Vancutsem *et al.*, 2010). Los datos de teledetección térmica, como la Temperatura de la Superficie Terrestre –*Land Surface temperatura* (LST)– con alta resolución temporal, son una alternativa interesante debido a que su valor se puede recuperar directamente de los datos de radiancia detectados de forma remota (Chuvieco, 1995).

El IH y el IF se calcularon reemplazando, según correspondía, las Temperaturas máximas (TMáx), medias (TMed) y mínimas (TMín) del aire por las temperaturas de la superficie terrestre (LST) máximas (LSTMáx), medias (LSTMedia) y mínimas (LSTMín). Estos datos de LST se obtuvieron

de los productos MODIS-Terra y MODIS-Aqua que han sido utilizados para la estimación de la temperatura del aire en muchas regiones, como África (Vancutsem *et al.*, 2010), Sudeste de Asia (Noi, Degener & Kappas, 2017), Córdoba (Argentina) (Ovando, Sayago & Bocco, 2022), Nueva Zelanda (Morin *et al.*, 2020).

Los datos de LST a partir de *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) se consideran la fuente más adecuada porque están disponibles gratuitamente y tienen una resolución espacial moderada de 1 km y una resolución temporal muy alta, hasta cuatro observaciones por día durante el día y la noche (Phan, Kappas, Nguyen, Tran, Tran & Emam, 2019).

Se emplearon los productos Versión 6.1 de los valores de LST diarios (MOD11A1 y MYD11A1, para Terra y Aqua, respectivamente) y los valores promedios de ocho días (MOD11A2 y MYD11A2, para Terra y Aqua, respectivamente).

Para cada día dentro del período en estudio se obtuvieron cuatro datos de LST que son Terra día (MODD), Terra noche (MODN), Aqua día (MYDD) y Aqua noche (MYDN). Los datos faltantes por ausencia de imágenes debido a la presencia de nubes o por baja calidad de imagen se reemplazaron por los valores de los productos MYD11A2 y/o MOD11A2 para crear la serie temporal LST diaria.

La hora en que los satélites Terra y Aqua sobrevuelan la región de estudio (hora local) es, aproximadamente:

Terra a las 10:08 h (día) y a las 22:50 h (noche)

Aqua a las 1:15 h (noche) y a las 14:00 h (día)

II.1.1.1. Índice Heliotérmico de Huglin (IH)

Permite estimar el potencial de una región para asegurar la maduración de las bayas de una determinada variedad (Huglin, 1978). Este índice contempla dos de los principales componentes del clima que impactan sobre la fisiología de la planta y el proceso de maduración de la uva: temperatura del aire y radiación (Ferrer, 2007). El componente “helio” está reflejado en el coeficiente “d” que expresa la duración media del día en relación con la latitud, mientras que el componente térmico se estima sobre un período de seis meses correspondiente al ciclo vegetativo de la vid (Tonietto & Carboneau, 2004). Para que una variedad madure en una zona determinada, es decir que alcance una concentración de azúcar mínima de 180-200 g/L, se necesita una cierta acumulación de temperatura y radiación, la cual puede ser calculada a través del IH (Huglin, 1978). La tabla n° 5 presenta las necesidades heliotérmicas de distintas variedades europeas (Huglin 1986), modificada para incluir variedades locales (Aliquó, comunicación personal).

Tabla n° 5. Necesidades heliotérmicas mínimas de variedades blancas y tintas expresadas por el Índice Heliotérmico de Huglin. Modificada de Huglin (1986)

Índice heliotérmico de Huglin (°C)	Variedades blancas	Variedades tintas
1600	Pinot blanc, Chardonnay, Riesling, Sauvignon blanc, Sylvaner, Chasselas, Melon	Pinot gris, Gewurztraminer, Gamay
1700		Pinot noire, Mourvedre

1800		Cabernet franc, Sangiovesse
1900	Chenin blanc, Semillon, Muscat a petis grains blanc, Viognier	Merlot, Cabernet Sauvignon, Malbec, Nebbiolo, Zinfandel, Lambrusco Maestri, Freisa, Ancellotta
2000	Ugni blanc, Palomino fino, Torrontés Riojano, Moscatel de Alejandría, Torrontés Sanjuanino, Pedro Gimenez	Bonarda, Touriga nacional, Tempranillo, Barbera D'Asti, Listan prieto, Petit verdot
2100		Cinsaut, Garnacha, Syrah, Moscatel rosado, Marselan
2200		Carignan, Aramon, Cereza
2300	Variedades de mesa y pasas	Variedades de mesa y pasa

El límite inferior de posibilidades de cultivo de la vid es de 1500 °C y para valores iguales o superiores a 2400 °C todos los cepajes encuentran posibilidades heliotérmicas suficientes para garantizar la maduración de la baya (Huglin, 1978).

El IH se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$IH = \sum_{15/09}^{15/03} ((T_{med} - 10) + (T_{max} - 10)) * \frac{d}{2}$$

Tmed es la temperatura media diaria del aire (°C), Tmax la temperatura máxima diaria del aire (°C) y d es el coeficiente relacionado al largo del día, cuyo valor varía de acuerdo a la latitud a la cual se ubica el viñedo. Para la zona de estudio se utilizó el valor de 1 por encontrarse en latitudes menores a 40°.

De acuerdo a los valores de este índice, Tonietto & Carbonneau (2004) proponen distintas clases climáticas vitícolas las cuales representan las diferencias climáticas y las respuestas de la vid, las uvas o sus productos como se observa en la tabla n° 6.

Tabla n° 6. Clases de Climas Vitícolas de acuerdo al IH

Clima vitícola	Rango del IH (°C)	Clase
Muy cálido	>3000	IH +3
Cálido	2400 < IH ≤ 3000	IH +2
Templado cálido	2100 < IH ≤ 2400	IH +1
Templado	1800 < IH ≤ 2100	IH – 1
Frío	1500 < IH ≤ 1800	IH – 2
Muy frío	≤ 1500	IH – 3

II.1.1.2. Índice de Frescor nocturno (IF)

Indica la temperatura nocturna a la que está expuesta la uva en el mes previo a la cosecha, es decir en la última etapa del período de maduración (Tonietto & Carbonneau, 2004).

El IF se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$IF = \frac{\sum_{15/02}^{15/03} (Tmin)}{n}$$

Donde n es el número de días entre el 15/02 y 15/03.

La clasificación propuesta según los valores del IF se presentan en la tabla n° 7.

Tabla n° 7. Clases de climas vitícolas de acuerdo al IF

Clima vitícola	Rango del IF (°C)	Clase
Noches muy frías	≤ 12	IF +2
Noches frías	$12 < IF \leq 14$	IF +1
Noches templadas	$14 < IF \leq 18$	IF -1
Noches cálidas	> 18	IF -2

II.1.2. Índice de Sequía (IS)

Este índice se mide basándose en una adaptación del balance hídrico potencial del suelo (Riou *et al.*, 1994), desarrollado especialmente para uso en viñedos. Permite la caracterización del componente agua del clima en una región potencialmente vitivinícola considerando la demanda climática de un viñedo estándar, evaporación del suelo desnudo, lluvias y una deducción de los milímetros drenados.

II.1.2.1. Precipitaciones

Estas poseen alta variabilidad espacial y temporal, la cual frecuentemente no es registrada por las redes de estaciones meteorológicas existentes. Los pluviómetros presentan problemas de representatividad cuando se estiman precipitaciones en áreas extensas, particularmente en períodos de tiempo cortos o en regiones con redes meteorológicas poco densas, como es común encontrar en terrenos montañosos y/o países en vías de desarrollo. En este contexto, la información proveniente de la teledetección satelital se constituye en una alternativa para describir los eventos de precipitaciones en diferentes escalas espacio-temporales (Ovando, Sayago & Bellini, 2018).

Para la variable precipitación (P) se emplearon los productos satelitales *Integrated Multi-satellite Retrievals* para GPM (IMERG) de *Global Precipitation Measurement* (GPM) que proporcionan estimaciones de precipitación incluyendo la sólida y poco intensa a partir del uso combinado de satélites pasivos de microondas (PMW) e infrarrojos (IR) que forman parte de la constelación GPM. Los valores de P obtenidas a partir del producto IMERG-F (IMERG Final), los que son comparados con la información mensual de pluviómetros, son los más precisos y confiables y se emplean para investigación (Ovando *et al.*, 2018). Están disponibles en forma gratuita

en <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>, que informa con una resolución espacial de 0,1° (aproximadamente 11.1 km). Se utilizaron datos de IMERG-DF (resolución temporal diaria).

II.1.2.2. Evapotranspiración

Es el componente más significativo del balance hídrico después de la precipitación y cobra mayor importancia en zonas áridas y semiáridas. La evapotranspiración (ET) representa el agua removida desde el suelo y la vegetación hacia la atmósfera. La evapotranspiración de referencia (ET_o) es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de césped sin limitaciones de crecimiento. Se calcula utilizando la fórmula de Penman-Monteith (Allen, Pereira, Raes & Smith, 1998), el cual es un método indirecto que surge por la dificultad de obtener mediciones de campo precisas, por lo que se utilizan diversas ecuaciones empíricas o semi-empíricas para estimar la evapotranspiración utilizando datos meteorológicos. Por este motivo, son muy utilizados en los estudios geográficos y medioambientales (Marini, Santamaría, Oricchio, Di Bella & Basualdo, 2017). Para grandes áreas del mundo en general y para las Sierras Pampeanas en particular, en donde la densidad de estaciones meteorológicas es baja, una alternativa empírica basada únicamente en información de sensores remotos mejora significativamente la evaluación del balance hídrico (Di Bella, Rebella & Paruelo, 2000).

Los datos de ET_o se obtuvieron del producto MODIS Terra MOD16A2GF versión 6.1 disponible en <https://appeears.earthdatacloud.nasa.gov/>. El algoritmo utilizado para la obtención de estos datos de los productos de MOD16 se basa en la lógica de la ecuación de Penman-Monteith. Estos datos expresan la suma total potencial del agua perdida por evapotranspiración durante 8 días en kg/m² y con una resolución espacial de 500 m (Running, Mu & Zhao, 2021).

Como los datos de precipitación y de evapotranspiración son parte de una misma fórmula del balance hídrico mensual, se hace necesario que ambos tengan la misma resolución espacial, por lo que se realizó un remuestreo presentando los datos de precipitación (P) en una imagen con la misma cantidad de píxeles que la de la evapotranspiración (ET_o).

El IS se calculó de la siguiente manera con base en un período de 6 meses; el mismo utilizado para el IH descrito anteriormente.

$$IS = W = W_o + P + Tv + Es$$

W: La estimación de la reserva de agua del suelo al final de un período dado (mm).

W_o: La reserva inicial de agua útil del suelo, a la que pueden acceder las raíces (mm).

P: La precipitación (mm).

Tv: La transpiración potencial (mm) de la vid que se calcula de la siguiente manera:

$$Tv = ET_o . k$$

ET_o: Evapotranspiración potencial total mensual (mm).

k: Coeficiente de absorción de radiación por la planta de vid que está en relación con la transpiración y depende de su arquitectura y grado de desarrollo de la planta de vid.

Es: Evaporación directa del suelo (mm) que se calcula de la siguiente forma:

$$Es = ET_o . (1 - k) . JPm / N$$

N: Número de días del mes.

JPm: Número de días de evaporación efectiva del suelo por mes que se calcula con la P mensual en mm dividido por 5. Ese valor debería ser menor o igual al número de días por mes. En caso contrario se utiliza N para el cálculo de Es.

k debe ser adoptado teniendo en cuenta el mes en el que se está calculando el balance hídrico siendo $k = 0.1$ para septiembre, 0.2 para octubre, 0.4 para noviembre y 0.5 para los meses de diciembre a marzo.

W puede ser negativo, para expresar el potencial déficit de agua, pero no debe ser mayor que W_o .

El IS es calculado mes a mes, basado en valores mensuales de P, ETo, Tv y Es.

El valor de W obtenido al momento final y siguiendo lo dicho anteriormente, se denomina Índice de Sequía (IS) (Riou *et al.* 1994) pudiendo clasificarlo según lo muestra la tabla n° 8.

Tabla n° 8. Clasificación según el Índice de Sequía (IS)

Clima vitícola	Rango del IS (mm)	Clase
Muy seco	≤ -100	IS +2
Moderadamente seco	$-100 < IS \leq 0$	IS +1
Subhúmedo	$0 < IS \leq 150$	IS -1
Húmedo	> 150	IS -2

II.1.3. Clasificación e interpretación de los climas vitivinícolas

De acuerdo a lo expresado por Tonietto y Carboneau (2004), la adopción del concepto de clases climáticas para lograr una clasificación de regiones vitivinícolas está relacionado con el hecho de que cada clase efectivamente representa no solo diferencias climáticas, sino también diferencias en las respuestas de la vid o sus productos como el vino. Esto permite agrupar regiones vitivinícolas usando una clasificación multicriterio. Las clases propuestas por los diferentes índices climáticos y su interpretación basada en la experiencia en la vitivinicultura mundial son descritas a continuación.

II.1.3.1. Índice Heliotérmico de Huglin (IH)

- IH - 3 MUY FRÍO (≤ 1500 °C): Incluye las regiones que están en el límite térmico inferior de la vid. Bajo estas condiciones solo las variedades muy tempranas pueden alcanzar la madurez, especialmente las blancas.
- IH - 2 FRÍO ($>1500 \leq 1800$ °C): En donde el potencial heliotérmico permite una amplia gama de variedades blancas o tintas.
- IH - 1 TEMPLADO ($>1800 \leq 2100$ °C): Las variedades más tardías también pueden alcanzar su madurez.
- IH + 1 TEMPLADO CÁLIDO ($>2100 \leq 2400$): No hay limitación heliotérmica para que puedan madurar todas las variedades cultivadas.

- IH + 2 CÁLIDO ($>2400 \leq 3000$): El potencial heliotérmico supera las necesidades para madurar todas las variedades, incluso las tardías. Puede haber algunos riesgos asociados al estrés térmico.
- IH + 3 MUY CÁLIDO (>3000 °C): No hay limitación heliotérmica para la maduración de las bayas, pero sí se advierte un riesgo elevado de estrés térmico en las plantas.

II.1.3.2. Índice de Frescor nocturno (IF)

Este índice provee una idea del régimen térmico particular involucrado en el período de maduración de la uva. Las características teóricas genéricas de cada clase se muestran a continuación.

- IF - 2 NOCHES CÁLIDAS (>18 °C): El período de maduración de la baya se lleva a cabo con altas temperaturas nocturnas para todas las variedades afectando su color y potencial aromático.
- IF - 1 NOCHES TEMPLADAS: En esta clase propusimos dos subclases: $>14 \leq 16$ °C y $>16 \leq 18$ °C, lo cual favorece identificar áreas en donde se refuerza el concepto de que las variedades tardías madurarán en condiciones de más bajas temperaturas de la noche que para las variedades tempranas favoreciendo la síntesis de polifenoles y la preservación de aromas terpénicos.
- IF +1 NOCHES FRÍAS ($>12 \leq 14$ °C): La maduración se produce en condiciones que pueden ser más o menos frescas dependiendo del tiempo de maduración de las variedades. Sin embargo, por lo general, las condiciones son más frías que en clase IF-1, por lo que la temperatura nocturna es favorable para la maduración de cualquier variedad. Estas temperaturas nocturnas estivales son adecuadas para la síntesis de polifenoles y la preservación de aromas terpénicos.
- IF + 2 NOCHES MUY FRÍAS (≤ 12 °C): Con temperaturas nocturnas bajas que pueden ejercer un efecto positivo en la maduración de las uvas para ciertas variedades siempre y cuando el potencial heliotérmico garantice un buen nivel de maduración de las bayas.

II.1.3.3. - Índice de Sequía

Como hemos desarrollado en el punto II.1.2., este índice es un balance hídrico que no incluye la variable riego en su cálculo. Aparecen dos grandes grupos: regiones húmedas y regiones secas. Estos dos grupos se subdividen en clases cuyas características son:

- IS - 2 HÚMEDO: Presenta una elevada disponibilidad de agua para la vid. Se debe controlar el impacto de la elevada humedad ambiente especialmente durante la maduración de la baya.
- IS - 1 SUBHÚMEDO ($IS > 0$): Con buena disponibilidad de agua para la vid. Hay ausencia de sequía.
- IS + 1 MODERADAMENTE SECO ($IS > -100$ y ≤ 0). Esta clase de clima vitícola enfrentará un cierto nivel de sequedad, lo que puede ser favorable a la maduración dependiendo de la época en que se produzcan las precipitaciones.
- IS +2 MUY SECO: La sequedad potencial ya es marcada, lo que conduce a frecuentes efectos de estrés sobre la planta de vid

II.1.4. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio (SCCVM)

Es un método de clasificación climática para regiones vitivinícolas basado en la integración de las diferentes clases de los tres índices bioclimáticos: IS, IH e IF. Esto establece el clima vitivinícola de cada región y permite que estas sean clasificadas, agrupadas y relacionadas con la tipicidad reconocida de los vinos en cuanto a sus características organolépticas (Tonietto, 1999; Tonietto y Carbonneau, 2004).

Puede contribuir en términos generales a la identificación de nuevas regiones con potencial vitivinícola.

Para su aplicación se deben tener en cuenta criterios climáticos que limitan la viticultura como riesgos de heladas y humedad excesiva.

Cuando se han calculado, clasificado y geolocalizado los índices vitícolas bioclimáticos es posible relacionar esa combinación de índices con los encontrados en otras regiones vitivinícolas del mundo mediante la utilización de las tablas nº 9 y 10.

Tabla nº 9. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio aplicado en diferentes regiones vitivinícolas del mundo

	INDICE HELIOTÉRMICO (IH)											
ÍNDICE DE SEQUÍA (IS)	IH-3	IH-2		IH-1		IH+1				IH+2		IH+3
	ÍNDICE DE FRESCOR NOCTURNO (IF)											
	IF+2	IF+2	IF+1	IF+2	IF+1	IF+2	IF+1	IF-1	IF-2	IF+1	IF-1	IF-2
IS-1	CAva	USse		SKbr	FRcg	CNbe	CNto	UYcn		CNyc		COLa
	FRre	FRtr		ITpe	FRag		ESor	USne				GTes
		FRna	NZna		FRbo		ITmo					LNlu
		FRcl			FRte		ITte					
		Fran										
IS+1		USsl		ESva	FRca		ESlo	ITra	PTfu	ARlu	ESmu	BRpe
		CAsu		USpo			PTan	FRmp		ESci		
		AUmo		PTvi			FRmm	FRaj		PTpe		
								TRte				
								FRpe				
							ESta					
							FRha					

Tabla n° 10. Regiones vitivinícolas clasificadas

País	Región	Acrónimo	País	Región	Acrónimo
ARGENTINA	Luján de Cuyo	ARlu	COLOMBIA	La Unión	Cola
	General Roca	ARri	INGLATERRA	Maidstone	GBma
AUSTRALIA	Mildura	AUmi	FRANCIA	Agen	Frag
	Mount Gambier	AUmo		Ajaccio	FRaj
	Nuriootpa	AUnu		Angers	Fran
BRASIL	Bento Goncalves	BRbe		Bastia	FRba
	Petrolina	BRpe		Besancon	FRbe
CANADÁ	Québec	CAqu		Bordeaux	FRbo
	Summerland	CAsu		Carcassonne	FRca
	Vancouver	Cava		Cognac	FRcg
CHILE	Curico	CLcu		Colmar	FRcl
	Santiago	CLsa		Macon	FRma
CHINA	Bei Jing	CNbe		Montélimar	FRmm
	Tong Chuan	CNto		Montpellier	FRmp
	Urumqi	CNur		Nantes	FRna
	Yi Couniy	CNyc		Pau	FRpa
	Yi Li	CNyl		Perpignan	FRpe
ALEMANIA	Freiburg	DEfr		Reims	FRre
	Geiseinheim	DEge		Toulouse	FRte
	Neustadt	DEne		Toulon	FRtn
	Stuttgart	DEst		Tours	FRtr
	Trier	DEtr	JAPÓN	Kofu	JPko
	Würzburg	DEwü	NUEVA ZELANDA	Napier	NZna
GUATEMALA	Estanzuela	GTes	PERÚ	Ica	PEic
INDIA	Ludhiana	INlu	PORTUGAL	Anadia	PTan
	Pune	INpu		Évora	PTev
ISRAEL	Haifa	ILha		Funchal	PTfu
ITALIA	Lecce	ITle		Lisbon	PTli
	Modena	ITmo		Peso da Régua	PTpe
	Perugia	ITpe		Viseu	PTvi
	Ravenna	ITra	COREA	P'ohang	KRpo
	Trapani	ITta		Suwon	KRsu
	Treviso	ITte	ESLOVAQUIA	Bratislava	SKbr

ESPAÑA	Ciudad Real	ESci	ESLOVENIA	Beli Kriz	Slbe
	Cádiz	ESje		Bizeljsko	Slbi
	Rioja	ESlo		Murska Sobota	Slmu
	Málaga	ESml		Nove Mesto	Slnm
	Murcia	ESmu	SUDÁFRICA	Cape Town	ZAca
	Orense	ESor	SUIZA	Geneva	CHge
	Tenerife	ESsa	TAILANDIA	Bangkok	THba
	Tarragona	Esta		Chiangmai	THch
	Valladolid	ESva	TÚNEZ	Bizerta	TNbi
ESTADOS UNIDOS	Cleveland	UScl		Nabeul	TNna
	Fresno	USfr		Tunis-Cartagena	TNtu
	Medford	Usme	TURQUÍA	Izmir	TRiz
	Portland	USpo		Tekirdag	TRte
	Rochester	USrc	URUGUAY	Las Bruxas	UYcn
	Sacramento	USsc			

La combinación de estos índices bioclimáticos fue utilizada por diferentes autores para evaluar el potencial vitivinícola en distintas regiones del mundo como por ejemplo en Chile (Gutiérrez-Gamboa, Verdugo-Vásquez, Contreras Cortez & Jara, 2023), en la provincia de San Juan en Argentina (Vila, Cañadas & Lucero, 1999), en Argentina (Zanus & Tonietto, 2007), en Uruguay (Ferrer, 2007), en la región de Galicia en España (Blanco-Ward, 2008), en Colonia Caroya, Córdoba, Argentina (Lozano, 2017).

La validación de esta zonificación puede llevarse a cabo a partir de la observación fenológica de la vid como así también del análisis y comparación de vinos obtenidos en las regiones identificadas o recurriendo a nuevas tecnologías como la teledetección (OIV, 2012)

II.2. Factores climáticos que limitan el cultivo de la vid

II.2.1. Heladas tardías

En regiones en donde con frecuencia se producen heladas en la primavera, estas se convierten en un obstáculo para el cultivo de la vid debido a que afectan a los frutales en su proceso reproductivo. Los daños que provocan estas heladas pueden ser severos dependiendo del estado general de la planta, el estadio fenológico en el que se encuentra y la duración del evento. Los principales daños por heladas ocurren durante la brotación y, como se registran diferencias en las fechas de brotación entre las distintas variedades, al planificar la plantación de un viñedo se debiera considerar dejar las variedades más tempranas en aquellos sectores que presentan menos riesgo de heladas primaverales (Bravo, Muñoz & Quintana, 2020). En estas situaciones, se recomienda analizar factores como el sitio de implantación considerando pendientes, laderas, exposición, variedades adecuadas, sistemas de conducción, manejo del

suelo, presencia de cortinas forestales, posibilidad de evacuación del aire, entre otros (Jones, Wilson, Lee & Smith, 2010). Para viñedos ya implantados, se recomiendan técnicas de manejo como el retraso en la fecha de poda de manera que se postergue la brotación y así evitar la exposición de los brotes a temperaturas críticas o manejo del suelo manteniéndolo sin vegetación (Bustos Morgani, Fanzone, Perez Peña, Sari, Gallo, Gómez Tournier & Prieto, 2022).

En cuanto al nivel de pérdida en producción debido a una helada, también existe un componente varietal determinado por la fertilidad de las yemas secundarias. Cabernet Sauvignon y Pinot Negro reducen poco su producción debido a que sus yemas secundarias son fértiles, pero en el caso de Riesling o Chardonnay la reducción de la producción puede alcanzar al 32 % (Bravo *et al.*, 2020)

Para identificar el lugar y fecha de ocurrencia en donde se producen eventos de temperaturas iguales o menores a 0 °C en superficie, se procesaron imágenes de LST noche y sus coeficientes de calidad de imagen (Qc) de los productos MODIS MYDA11A1/A2 V.6.1 (Kotikot, Flores, Griffin, Nyaga, Case, Mugo, Sedah, Adams, Limaye & Irwin, 2020).

II.2.2. Temperatura máxima en el mes previo a la cosecha

La temperatura diurna óptima para el crecimiento de la vid, la fotosíntesis, la formación del rendimiento y la maduración del fruto es inferior a 30 °C, y el estrés por calor generalmente se define como temperaturas que superan en 5 °C a los valores asociados con condiciones óptimas de crecimiento. Las temperaturas por encima de los 40 °C provocan una fuerte disminución de la fotosíntesis (Keller, 2015). Al incrementarse la temperatura ambiente a la que está expuesta la vid se observa un aumento de la respiración (Zufferey, 2000; Palliotti, Cartechini, Silvestroni & Mattioli, 2005) y un cambio en la partición de carbono dando como resultado una pérdida neta de carbono asimilado. La fotorrespiración también es fuertemente dependiente de la temperatura. Es por ello que las temperaturas mínimas y máximas determinan la asimilación neta de carbono (Zufferey, 2000). Durante las noches cálidas se incrementa la tasa de respiración de toda la planta por lo que las cubiertas de nubes frecuentes son una de las razones de las marcadas fluctuaciones interanuales en el rendimiento y la calidad de los frutos en dichas áreas (Keller, 2015). El estrés por altas temperaturas posterior al envero puede retrasar o incluso inhibir la maduración del fruto al disminuir la cantidad de asimilados disponibles para exportar a los racimos y/o la capacidad de las bayas para importar esos asimilados. Esto puede provocar una maduración desigual o un retraso general de la maduración del fruto lo que tiene implicancias para la producción de uva. También olas de calor en primavera afectan el cuajado de frutos: interfieren con la maduración y viabilidad del polen, aceleran el envejecimiento y la senescencia de las hojas (Keller, 2015). Por otro lado, la temperatura de las bayas expuestas al sol puede presentar más de 10 °C de diferencia con la temperatura ambiente (Spayd, Tarara, Mee & Ferguson, 2002). En términos de composición de flavonoides presentes en la baya, las reacciones de biosíntesis de antocianinas son las más sensibles a las altas temperaturas a partir del envero. La disminución en la coloración de la piel de la baya puede deberse a mecanismos complejos que combinan cambios en la expresión genética, actividad enzimática y degradación de las antocianinas (Gouot, Smith, Holzapfel, Walker & Barril, 2018). De manera general, temperaturas más elevadas durante la etapa de madurez generan menores valores de acidez, mayor pH y menor coloración (Gutiérrez Gamboa *et al.*, 2023).

En cada región vitivinícola se geolocalizó el promedio de las estimaciones de temperaturas máximas del aire encontradas en los veintitrés periodos analizados entre el 15/02 al 15/03 promediando imágenes obtenidas de la reconstrucción de la serie diaria de los productos LST día MOD11A1/A2 y MYD11A1/A2.

II.2.3. Riesgo de enfermedades criptogámicas

Las enfermedades fúngicas tienen un impacto negativo en el rendimiento y en la calidad de la uva y del vino. Las condiciones meteorológicas durante la precosecha, como precipitaciones, elevada humedad y temperatura ambiente y vientos de baja intensidad, son claves para el desarrollo de esta enfermedad (Ferrer, Echeverría & Miras-Avalos, 2017). Las condiciones de elevada humedad entre envero y cosecha tienen una correlación positiva con el desarrollo de enfermedades fúngicas (Valdés-Gómez, Calonnec, Roudet & Gary, 2008). A partir de 200 mm de precipitaciones en el mes previo de la cosecha se registran más del 50 % de uvas afectadas por *Botrytis cinerea* (Ferrer, Echeverría, Pereyra, Salvarrey, Arrillaga & Fourment, 2018).

Se calculó y geolocalizó para los períodos 15/09 - 15/03 y 01/02 - 15/03 considerando los registros obtenidos desde el 2002 al 2025 de las precipitaciones obtenidas de IMERG-DF de cada región vitivinícola como se desarrolló en el punto II.1.2.

II.3. Validación de resultados

Como mecanismo de validación de los datos climáticos obtenidos con sensores remotos, se los comparó con los registros de dos estaciones del Servicio Meteorológico Nacional (SMN): Villa Dolores Aeropuerto y Córdoba Aeropuerto cuyos datos de geolocalización se muestran en la tabla n° 11. Esta comparación se la realizó calculando el Coeficiente de correlación de Pearson y el p-valor entre ambas series del mismo índice o de la misma variable meteorológica.

Tabla n° 11. Geolocalización de las estaciones del SMN

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Córdoba Aeropuerto	-31° 18'	-64° 12'	495 m
Villa Dolores Aeropuerto	-31° 57'	-65° 08'	566 m

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se utilizaron datos climáticos medidos a través de sensores remotos instalados en plataformas satelitales debido a la ausencia de estaciones meteorológicas distribuidas en todo el territorio en estudio que proporcionen datos en la cantidad y calidad requeridos. Se obtuvo información meteorológica a la resolución espacial del sensor: 1000 m para LST y 500 m para ETo y P (luego de su remuestreo). Esta información pudo ser geolocalizada en un entorno SIG. Los índices bioclimáticos se calcularon desde el 15/09 al 15/03 a diferencia de lo propuesto por Tonietto & Carbonneau (2004) que comprende desde el 1/10 al 31/03. Este ajuste de fechas es a los efectos de adecuarlos al período del ciclo vegetativo en la región en estudio.

A continuación, se presentan para cada región vitivinícola diferentes mapas donde se identifican y geolocalizan los índices bioclimáticos calculados y los factores climáticos que pueden limitar la actividad vitícola.

La interpretación de esta información se debe realizar relacionando las características climáticas vitivinícolas encontradas en cada región con lo desarrollado en el punto II, Materiales y métodos, del presente trabajo.

III.1. Región de Calamuchita-Paravachasca

III.1.1. Índice Heliotérmico de Huglin

En la figura n° 2, se puede observar que la zona N del dique Los Molinos se presenta como **TEMPLADO CÁLIDO (IH+1)** y hacia el E a lo largo de la región como **TEMPLADO CÁLIDO (IH +1)** y **CÁLIDO (IH +2)**. Estas áreas no presentan limitaciones heliotérmicas en cuanto a variedad a implantar. Sin embargo, al aumentar la altitud hacia el O, el IH refleja climas vitícolas clasificados como **TEMPLADO (IH -1)**, **FRÍO (IH -2)** y **MUY FRÍO (IH -3)**.

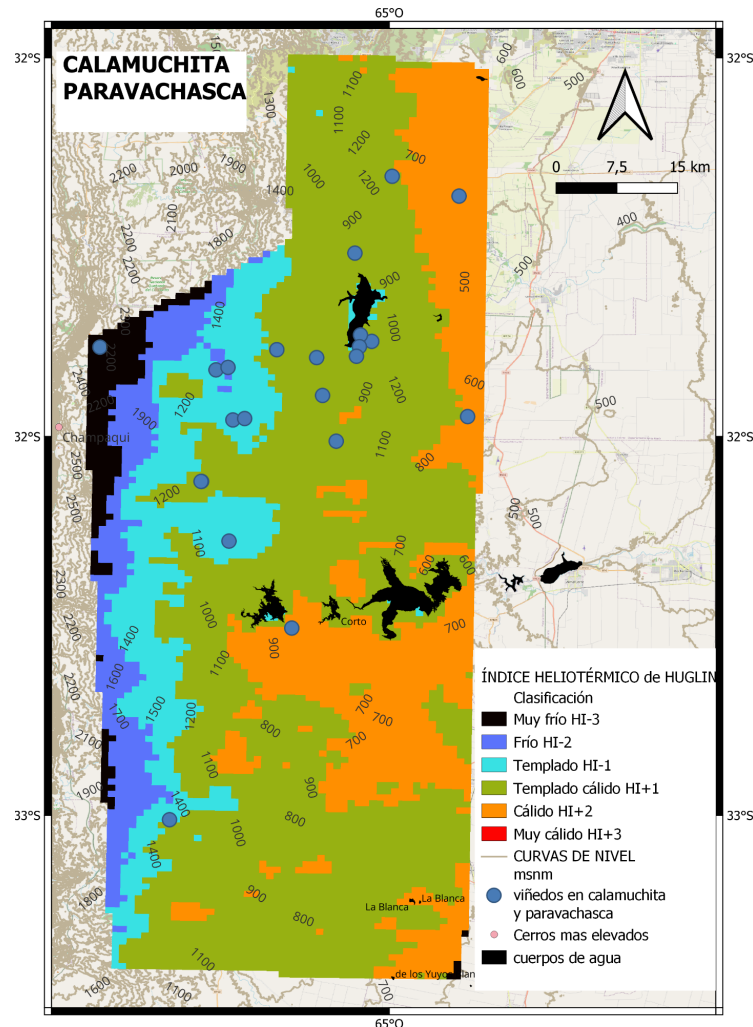


Figura n° 2. Calamuchita y Paravachasca. Distribución del IH

III.1.2. Índice de Frescor nocturno

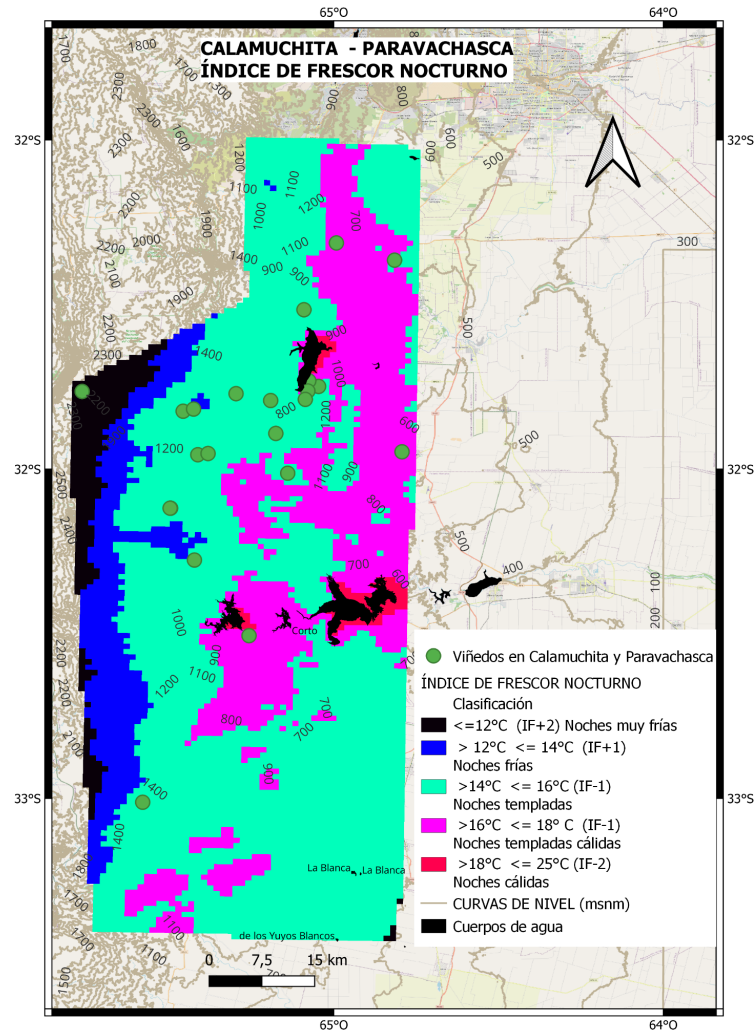


Figura n° 3. Calamuchita y Paravachasca. Variación del Índice de Frescor nocturno

En la figura n° 3 se observa que hacia el E de la región, el IF presenta temperaturas clasificadas como NOCHES TEMPLADAS CÁLDIDAS (IF -1) con temperaturas entre 16 y 18 °C mientras que hacia el O, conforme aumenta la altitud, disminuye a temperaturas entre 14 y 16 °C - NOCHES TEMPLADAS (IF -1) , 12 y 14 °C - NOCHES FRÍAS (IF +1) llegando en mayores altitudes a NOCHES MUY FRÍAS (IF +2) $\leq 12^{\circ}\text{C}$. Estas temperaturas nocturnas estivales son óptimas para la síntesis de antocianos y la preservación de aromas principalmente terpénicos.

III.1.3. Índice de Sequía

La región presenta prácticamente la mitad del territorio con un balance hídrico positivo pudiendo observarse su variación en la figura 4A. En la figura 4B, se visualiza la proporción de cada tipo de IS que se presenta.

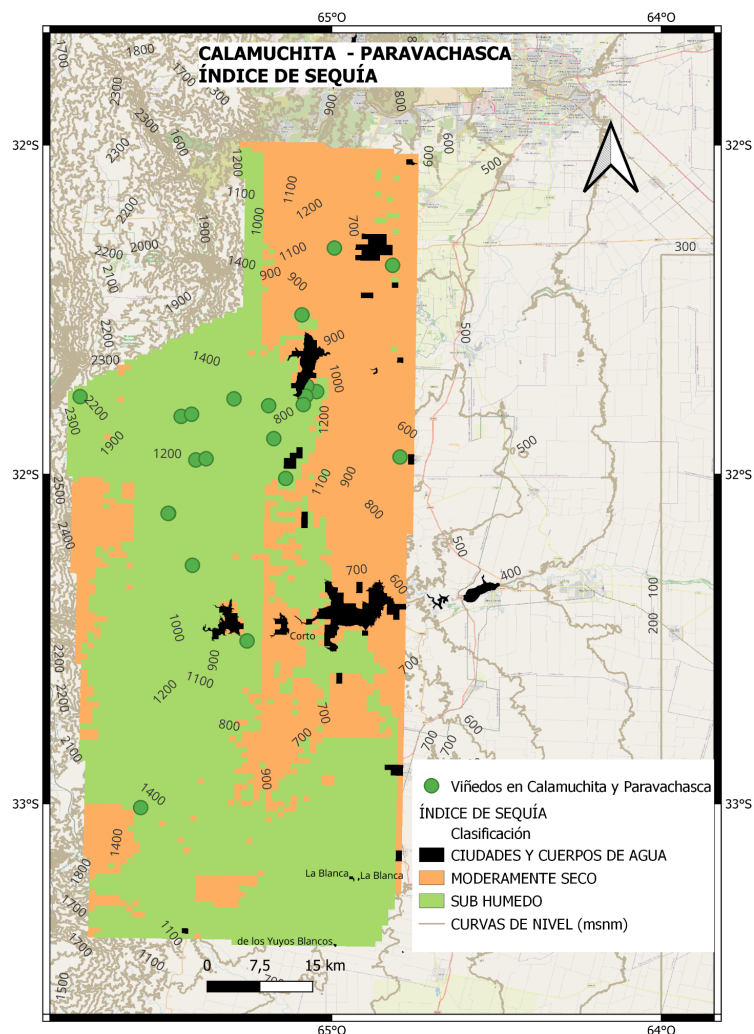


Figura n° 4A. Calamuchita y Paravachasca. Variación del Índice de Sequía

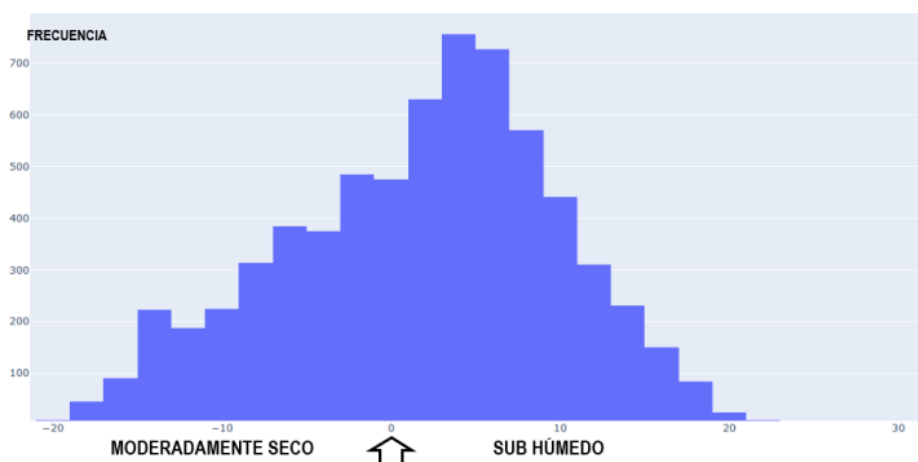


Figura n° 4B. Calamuchita y Paravachasca. Proporción del territorio con los dos tipos de Índices de Sequía que se presentan en la región

III.1.4. Heladas tardías

Como se observa en la figura n° 5, la mediana de las fechas de ocurrencia de las heladas tardías, para la zona donde están ubicados la mayor parte de los viñedos, es entre el 10 y el 27/09. En las zonas de mayor altitud, aproximadamente a partir de los 1200 m, se pueden presentar heladas entre el 28/09 y el 06/10. En todas las fechas mencionadas la vid se encuentra entre brotación y brotes de 10 cm, 4 y 12 según la escala de Eichhorn y Lorenz (Coombe, 1995).

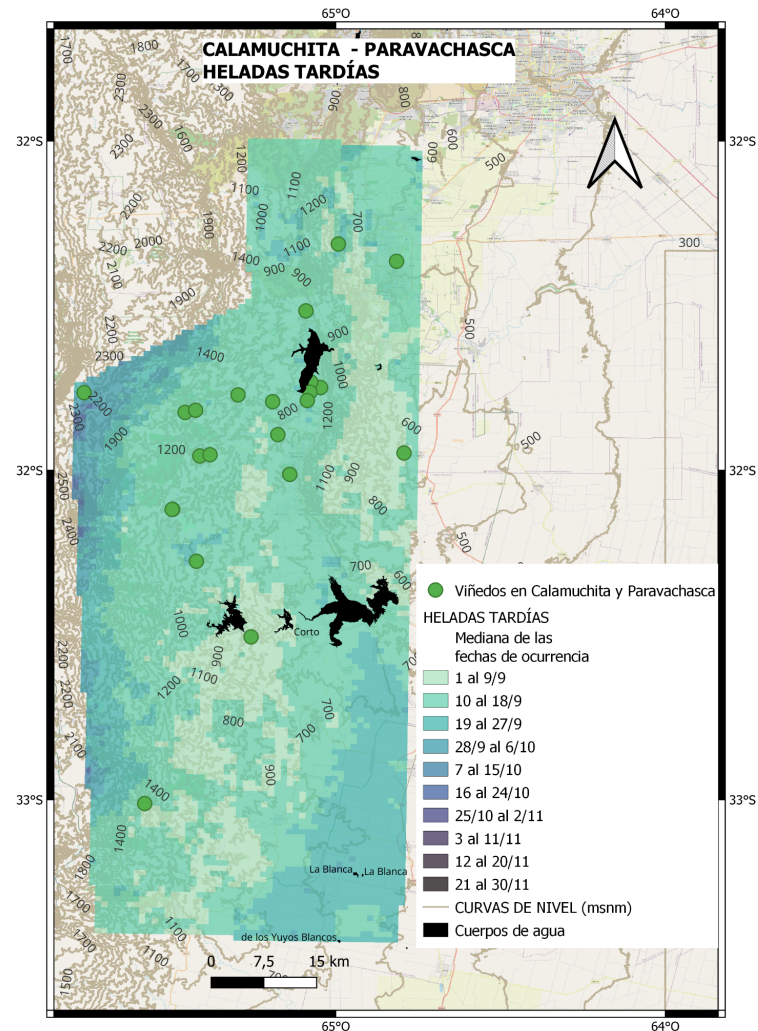


Figura n° 5. Calamuchita y Paravachasca. Heladas tardías

III.1.5. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha

Las temperaturas máximas estimadas del aire a las que están expuestas las bayas no superan los 30 °C en el mes previo a la cosecha (figura n° 6) lo que indica condiciones que favorecen la acumulación de polifenoles así como también la cantidad de ácido málico en la baya. Se observa una disminución de las temperaturas máximas hacia el O de la región.

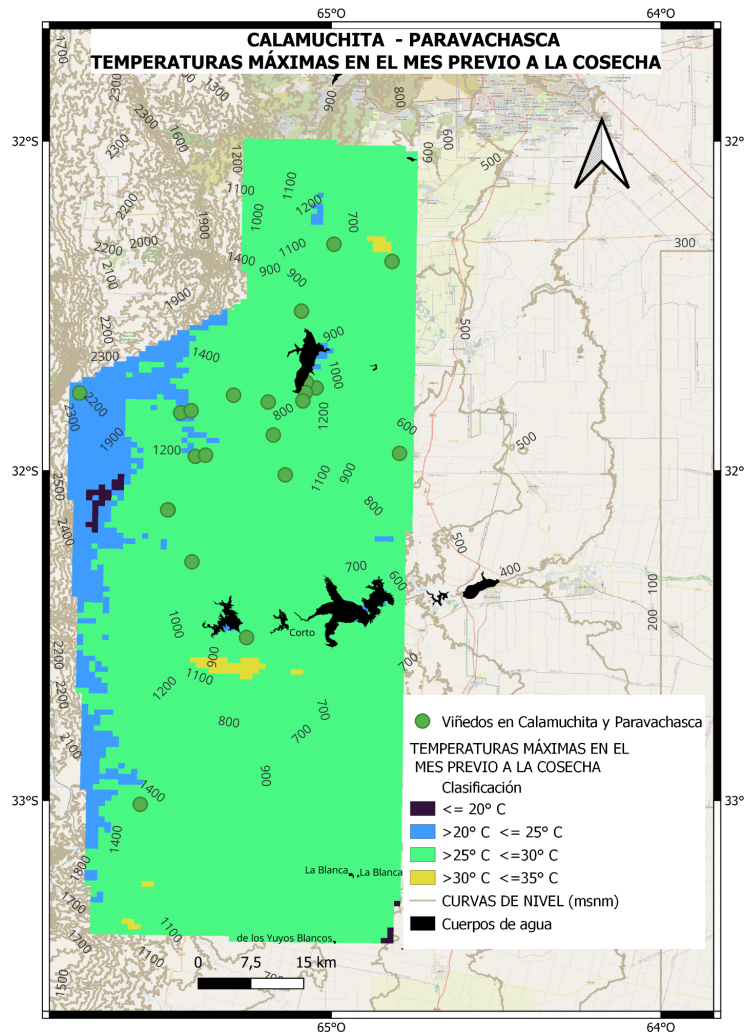


Figura n° 6. Calamuchita y Paravachasca. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha

III.1.6. Precipitaciones

En la figura n° 7 se observan las precipitaciones promedio medidas entre el 15/09 y 15/03 en los períodos 2002-2003 al 2024-2025. En esta región los valores medidos oscilan entre los 677 y los 790 mm siendo las zonas de mayores registros las ubicadas en el NO.

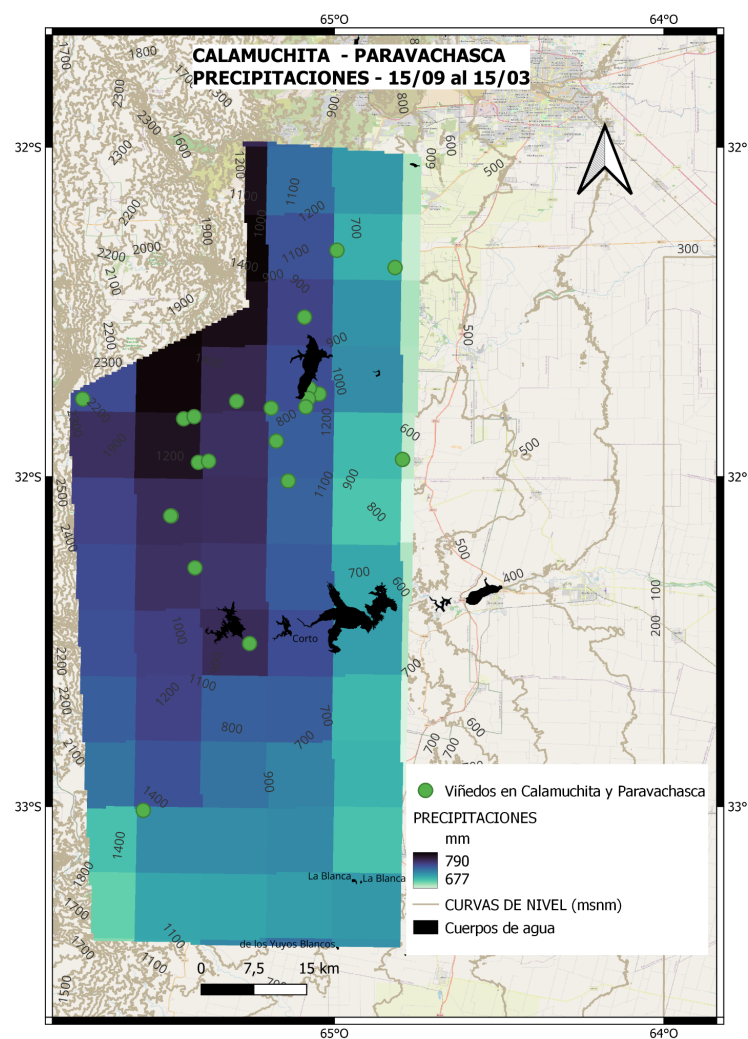


Figura n° 7. Calamuchita y Paravachasca. Precipitaciones entre el 15/09 y 15/03

En la figura n° 8 se observa que entre 01/02 y el 15/03 las precipitaciones presentan una distribución geográfica de registros más elevados en el NO de la región oscilando entre 236 y los 284 mm en ese período temporal.

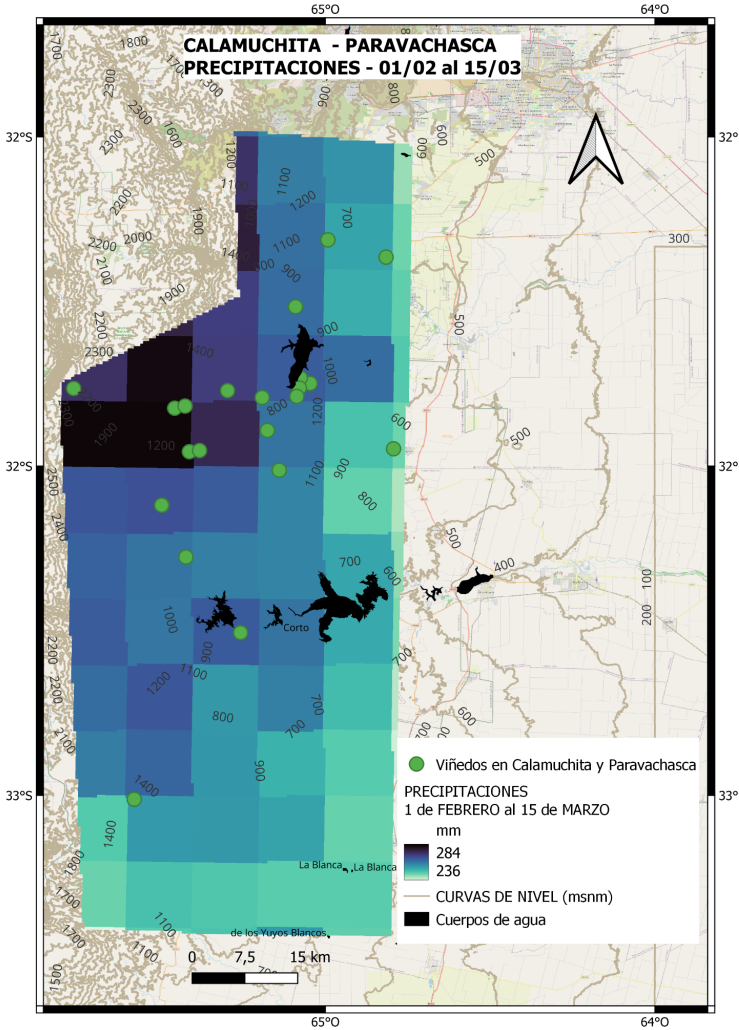


Figura n° 8. Calamuchita y Paravachasca. Precipitaciones entre el 01/02 y 15/03

III.1.7. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio

En la figura n° 9 se puede observar la distribución geográfica de los climas vitivinícolas presentes en la región de Calamuchita-Paravachasca descriptos por la combinación de IH, IF e IS. Para favorecer su interpretación se agregan las curvas de nivel, las que muestran la altura sobre el nivel del mar del relieve. Esto pone de manifiesto su impacto sobre los valores de estos índices.

Tal como se indicó en el punto II.1.4. del presente informe, es posible comparar la combinación de índices bioclimáticos con los encontrados en otras regiones vitícolas del mundo a las que se les aplicó este mismo método. Esto se realiza utilizando las tablas n° 9 y 10.

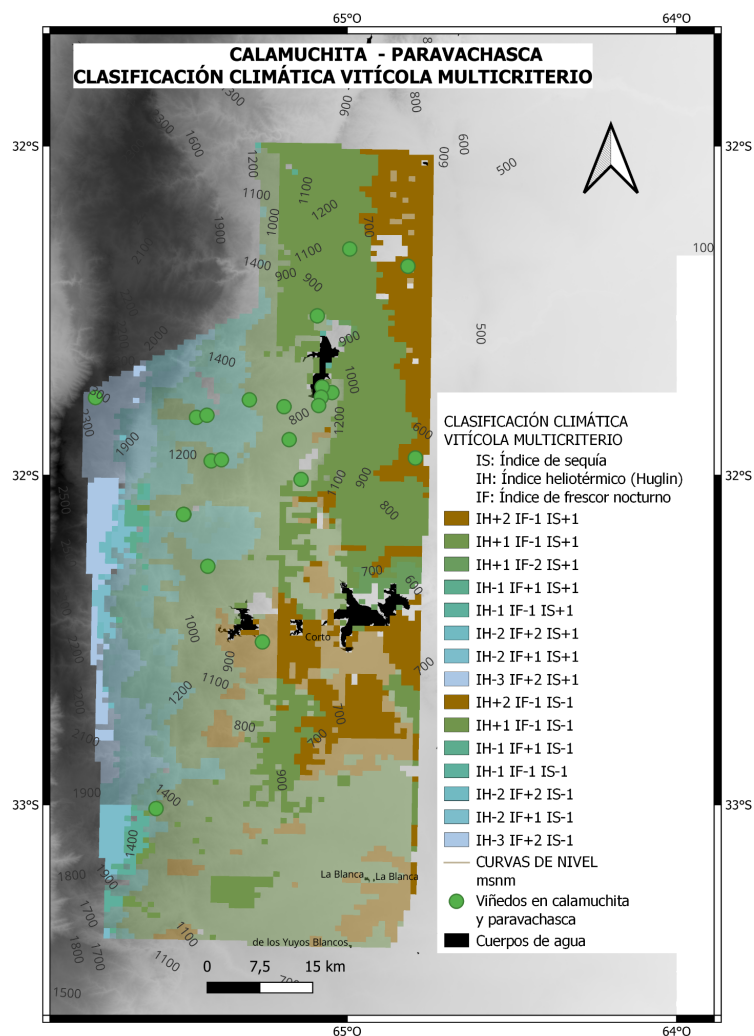


Figura n° 9. Calamuchita y Paravachasca. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio

III.2. Región de Traslasierra

III.2.1. Índice Heliotérmico de Huglin

Se puede observar en la figura n° 10 que al aumentar la altitud hacia el E de la región, los valores del IH varían de MUY CÁLIDO (IH +3) a CÁLIDO (IH +2) y TEMPLADO CÁLIDO (IH +1). Por otra parte, las Sierras de Pocho se presentan como una barrera natural que permite tener mejores indicadores del IH hacia el E CÁLIDO que hacia el O MUY CÁLIDO.

En la ladera O de las Sierras Grandes se identifican áreas con IH clasificados como TEMPLADO (IH-1) y FRÍO (IH-2).

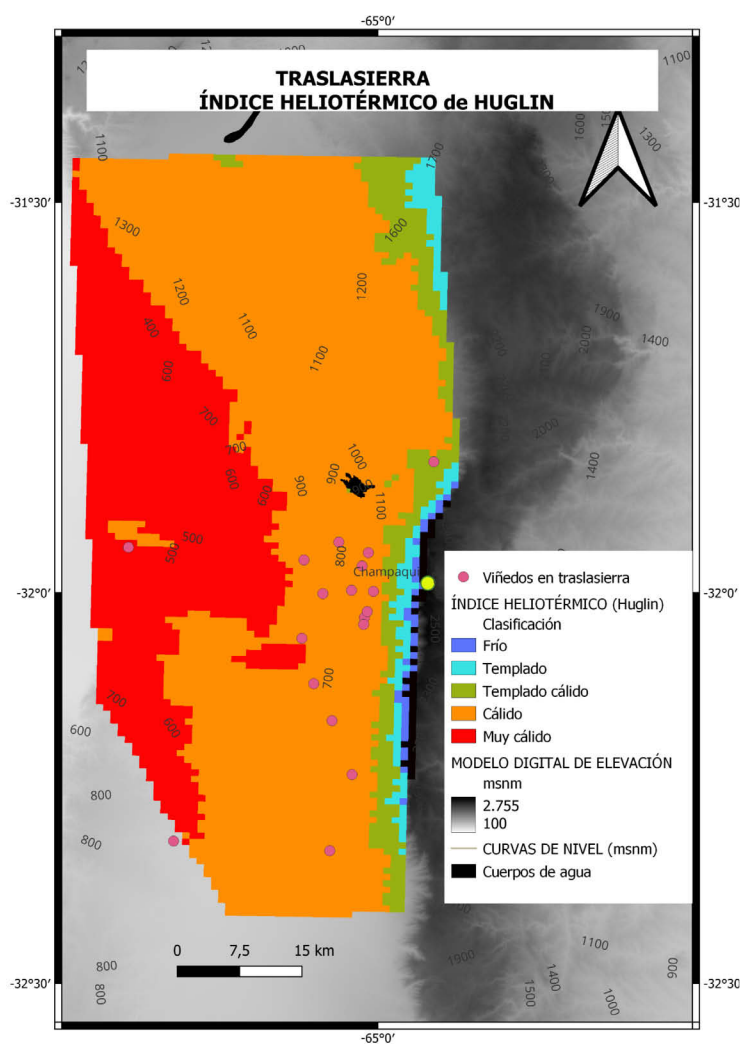


Figura n° 10. Traslasierra. Índice Heliotérmico de Huglin

III.2.2. Índice de Frescor nocturno

Como se puede ver en la figura n° 11, el IF varía de NOCHES CÁLDIDAS (IF -2) a NOCHES TEMPLADAS (IF -1). Si bien en la clasificación propuesta por Tonietto & Carbonneau el IF clasificado como NOCHES TEMPLADAS es en el rango de 15 a 18 °C, en la figura n° 11 se desagrega en >14 y ≤ 16 °C y >16 y ≤ 18 °C. De esa manera, se puede observar la influencia de las Sierras de Pocho como barrera natural que permite tener temperaturas nocturnas hasta 4 °C menores hacia el E respecto al O de esta cadena montañosa.

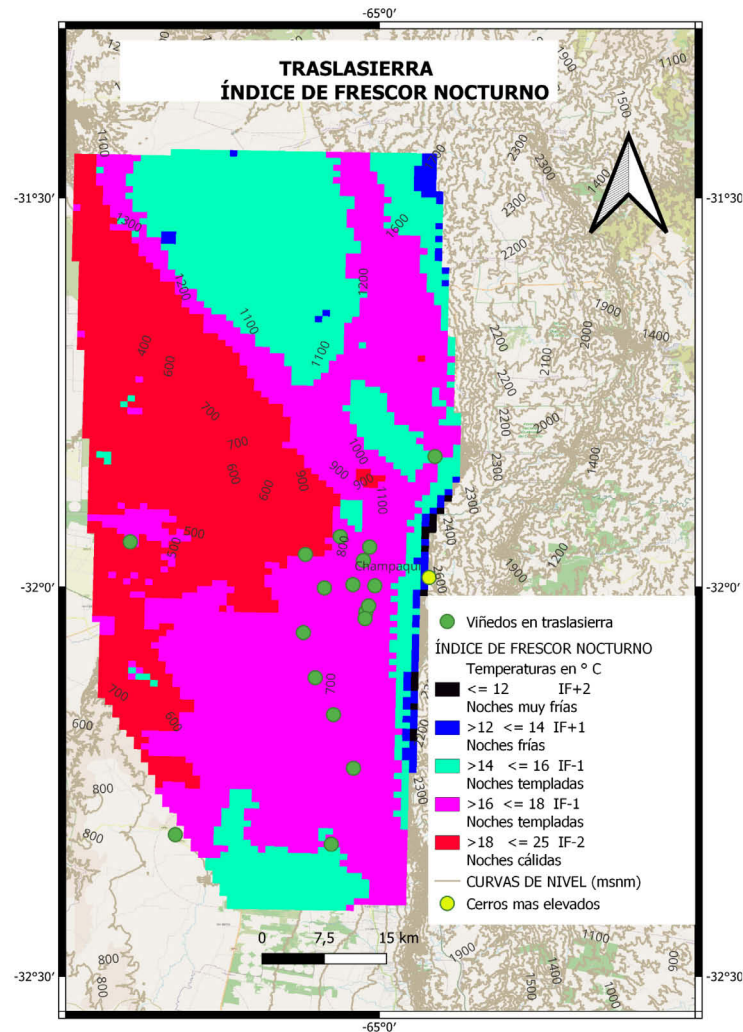


Figura n° 11. Traslasierra. Distribución geográfica del Índice de Frescor nocturno

III.2.3. Índice de Sequía

En la figura n° 12 se observa que gran parte del territorio presenta un IS clasificado como MODERADAMENTE SECO (IS +1) excepto en la zona NE, la cual es SUBHÚMEDA (IS -1).

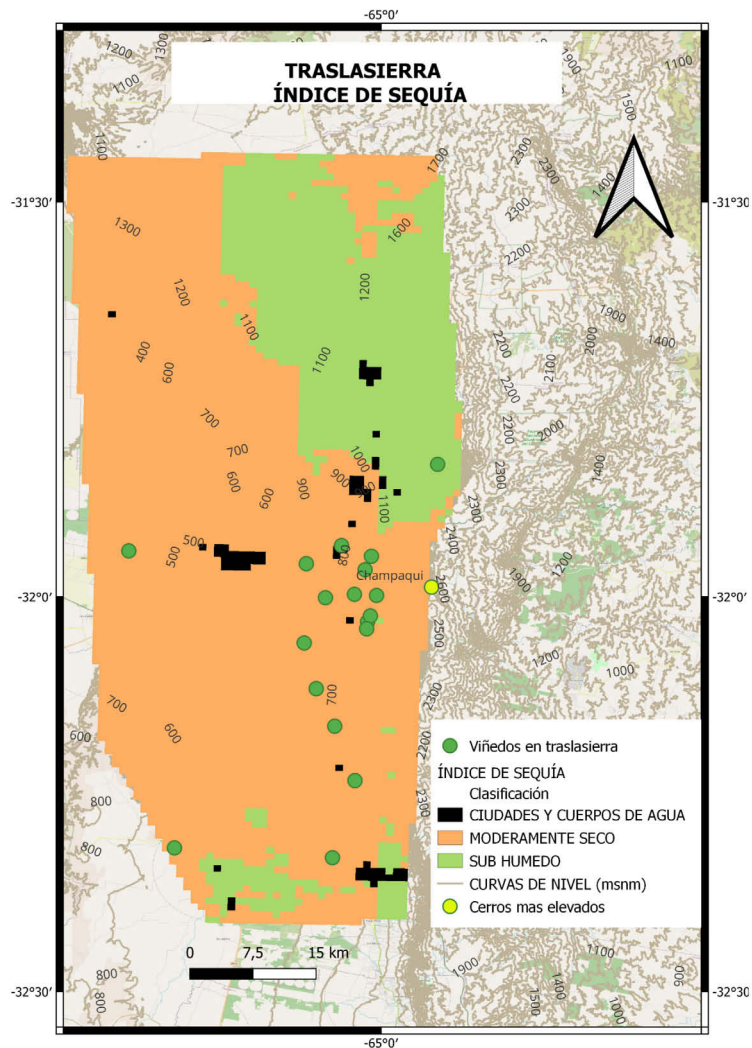
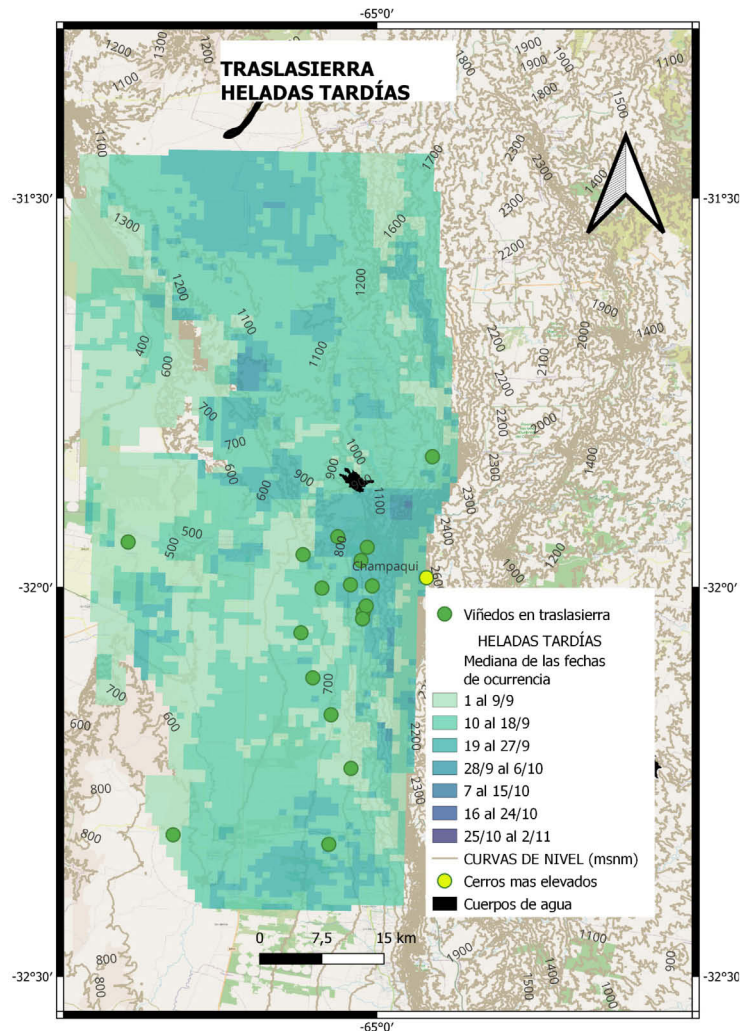


Figura n° 12. Traslasierra. Distribución geográfica del Índice de Sequía

III.2.4. Heladas tardías

La mayor parte de la región de Traslasierra presenta como mediana de la fecha de heladas tardías la primera semana de septiembre, donde el riesgo para la vid es bajo. Sin embargo, en la zona pedemontana de las Sierras Grandes, como así también en Pampa de Pocho, se observan medianas entre el 10 y el 27/09 como se puede visualizar en la figura n° 13.



III.2.5. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha

Una parte importante de la región presenta promedios de temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha mayores a 30 °C como se ve en la figura n° 14, lo que hace suponer que las bayas alcanzarán temperaturas superiores a los 35 °C (Spayd *et al.*, 2002).

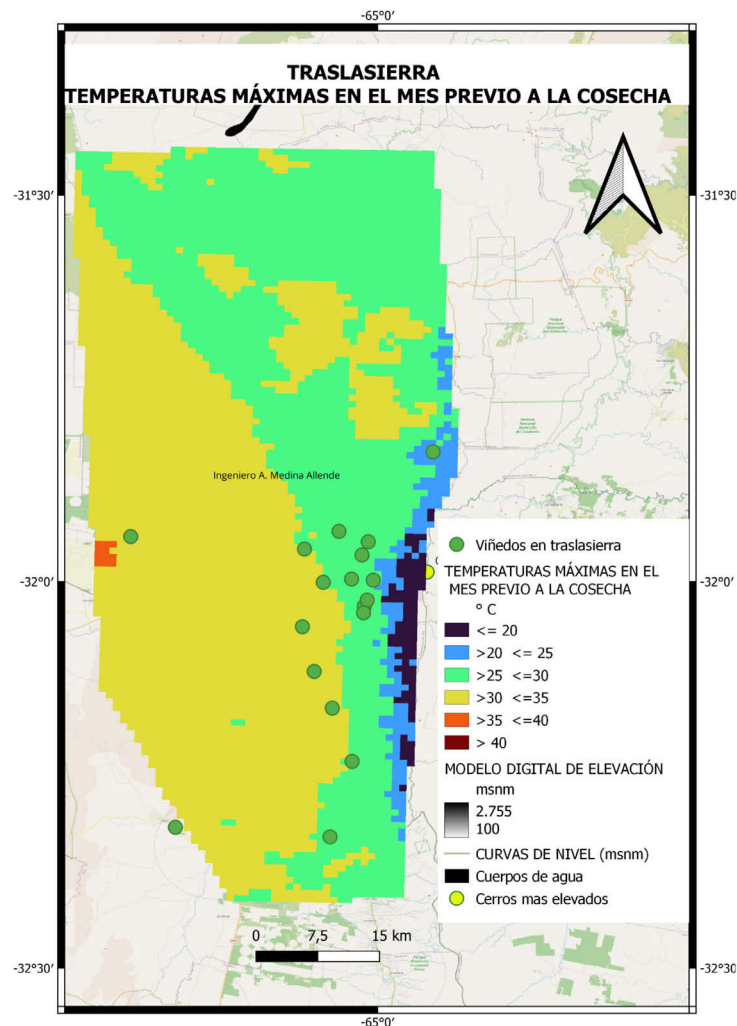


Figura n° 14. Traslasierra. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha

III.2.6. Precipitaciones

Las precipitaciones medidas entre el 15/09 y 15/03 se muestran en la figura n° 15. Se puede observar que en esta región los valores medidos oscilan entre los 608 y los 752 mm siendo las zonas de mayores registros las ubicadas en el E conforme aumenta la altitud. Se observan los mayores registros hacia el N del Cerro Champaquí.

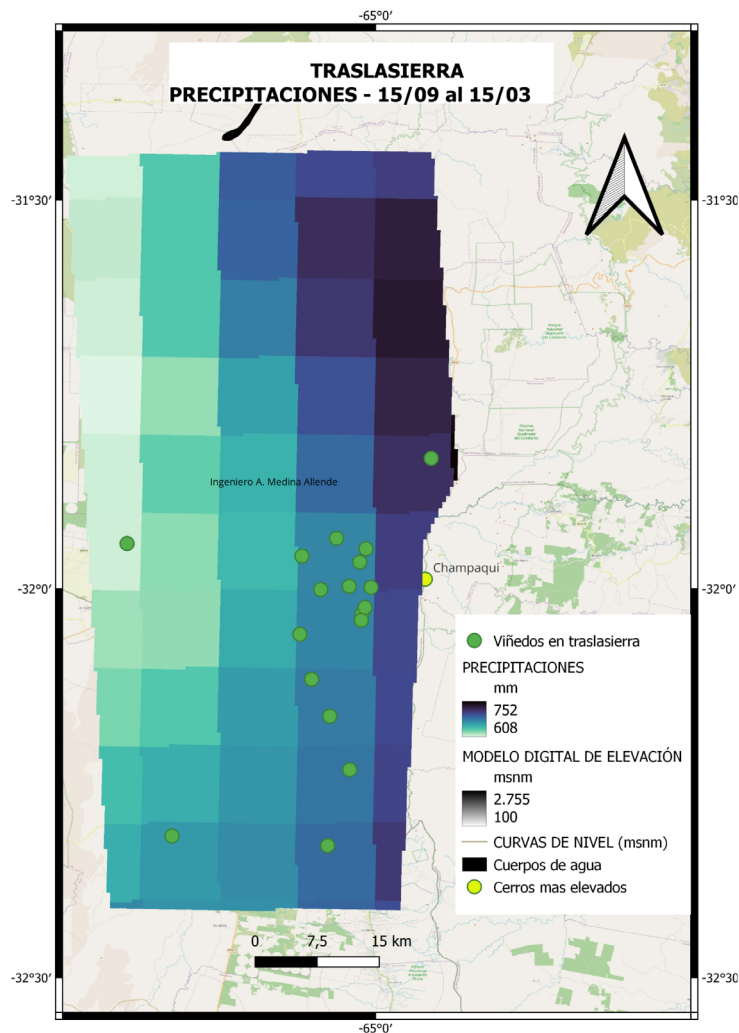


Figura n° 15. Traslasierra. Precipitaciones entre el 15/09 y 15/03

Los registros de precipitaciones en el período comprendido entre 01/02 y 15/03 se presentan en la figura n° 16 observándose su incremento hacia el E oscilando entre 222 y los 273 mm en ese período temporal.

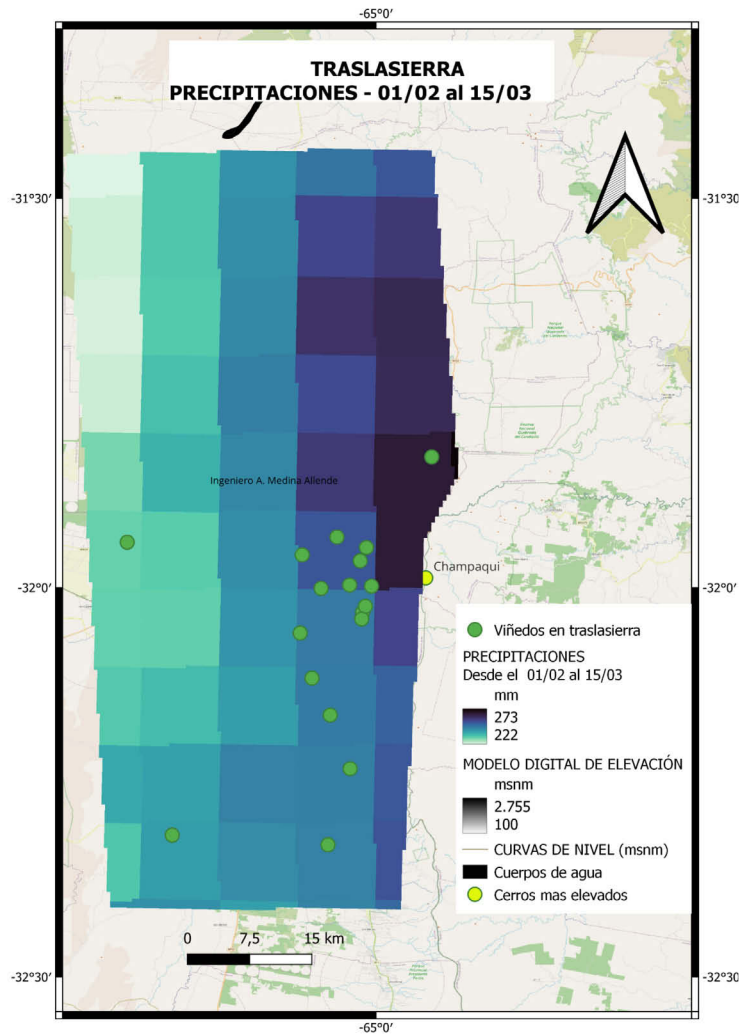


Figura n° 16. Traslasierra. Precipitaciones entre el 01/02 y 15/03

III.2.7. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio

En la figura n° 17 se puede observar la distribución geográfica de los climas vitivinícolas presentes en la región de Traslasierra descritos por la combinación de IH, IF e IS. Para favorecer su interpretación se agregan las curvas de nivel, las que muestran la altura sobre el nivel del mar del relieve. Esto pone de manifiesto su impacto sobre los valores de estos índices.

Tal como se indicó en el punto II.1.4. del presente informe, es posible comparar la combinación de índices bioclimáticos con los encontrados en otras regiones vitícolas del mundo a las que se les aplicó este mismo método. Esto se realiza utilizando las tablas n° 9 y 10.

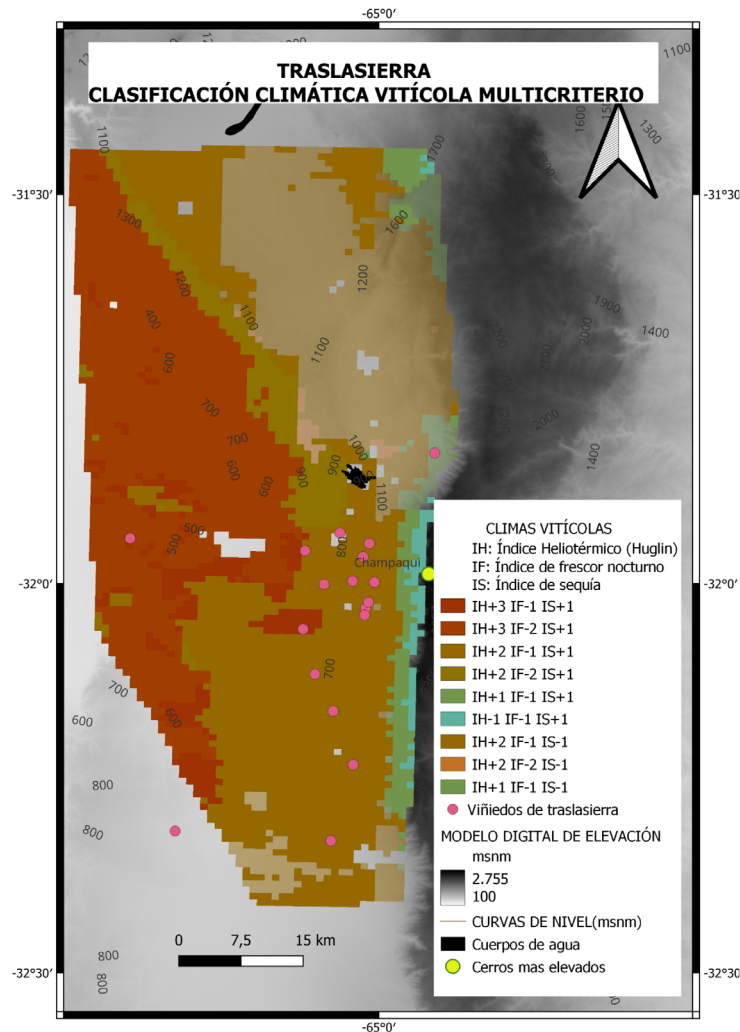


Figura n° 17. Traslasierra. Sistema de Clasificación Climática Vitícola Multicriterio

III.3. Región de Caroya

III.3.1. Índice Heliotérmico de Huglin

En la figura n° 18 se observa que la mayor parte de la región de Caroya, donde se localiza prácticamente la totalidad de los viñedos, presenta condiciones clasificadas como CÁLIDO (IH +2), mientras que hacia el O predominan condiciones TEMPLADO CÁLIDO (IH +1). Estas áreas no evidencian limitaciones heliotérmicas para la implantación de variedades vitivinícolas. No obstante, hacia el NO se identifican dos pequeñas áreas cuyos valores de IH corresponden a la categoría TEMPLADO (IH -1).

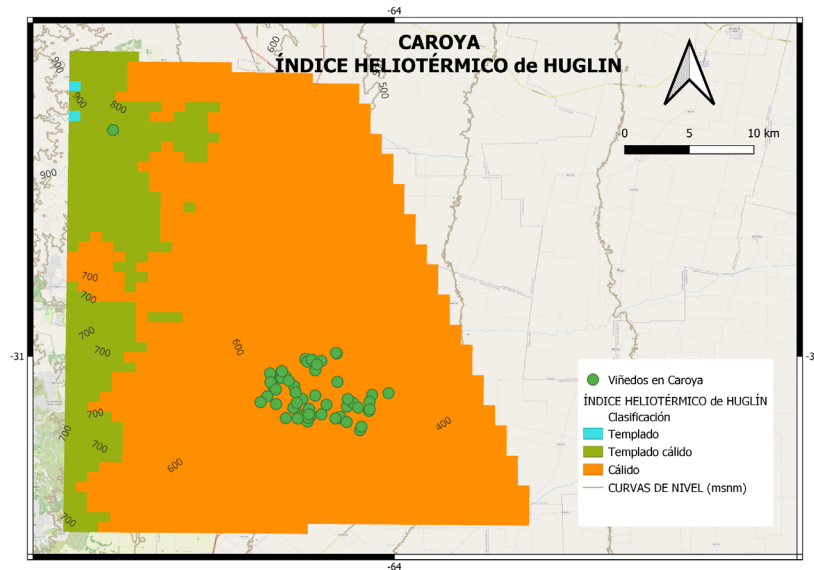


Figura n° 18. Caroya. Índice Heliotérmico de Huglin

III.3.2. Índice de Frescor nocturno

La figura n° 19 muestra que hacia el E de la región donde se concentra la mayor parte de los viñedos, el IF corresponde a la categoría NOCHES TEMPLADAS CÁLIDAS (IF-1) con valores comprendidos entre 16 y 18 °C. En contraste, hacia el O, la temperatura nocturna durante el mes previo a la cosecha disminuye hasta rangos entre 14 y 16 °C. Asimismo, una pequeña porción ubicada al NO de la región presenta valores de IF >12 y <=14 °C, correspondientes a la categoría (IF+1) NOCHES FRÍAS.

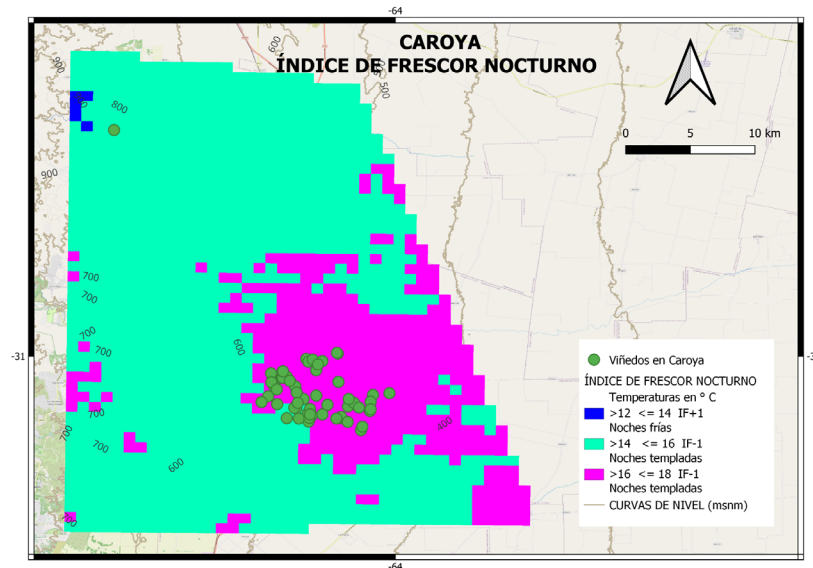


Figura n° 19. Caroya. Índice de Frescor nocturno

III.3.3. Índice de Sequía

La región de Caroya presenta, en su sector SE, un balance hídrico correspondiente a la categoría MODERADAMENTE SECO (IS +1). En el resto del área, posiblemente como consecuencia de efectos orográficos, predomina un clima vitícola clasificado como SUB HÚMEDO (IS -1) (figura n° 20).

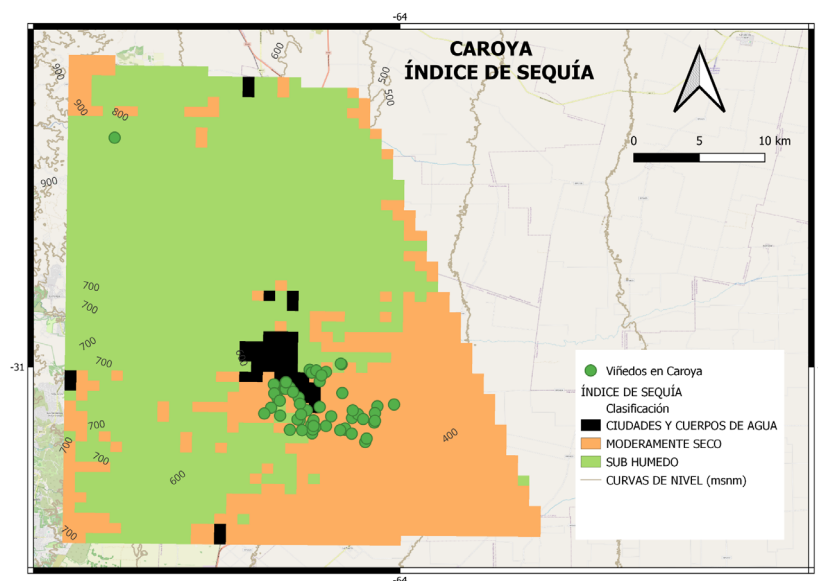


Figura n° 20. Caroya. Índice de Sequía

III.3.4. Heladas tardías

La mayor parte de la región de Caroya presenta fechas de heladas tardías entre el 10 y el 18 de septiembre (figura n° 21).

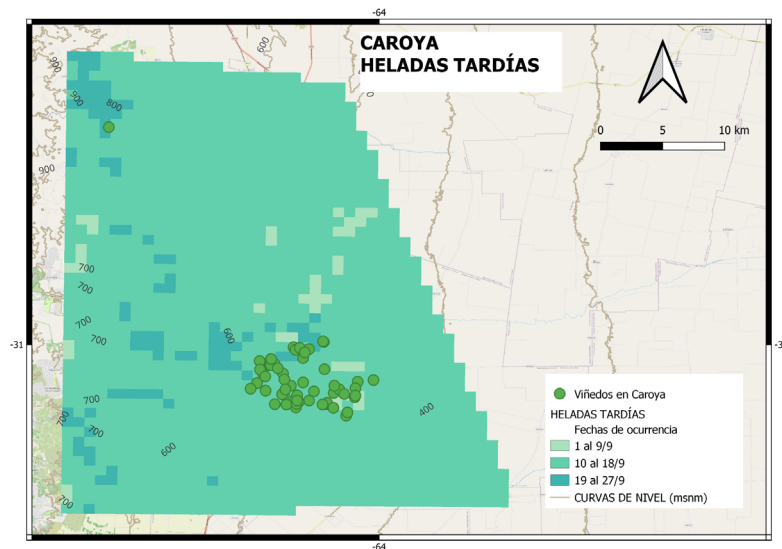


Figura n° 21. Caroya. Heladas tardías

III.3.5. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha

Prácticamente la totalidad de la región presenta promedios de temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha entre 25 y 30 °C, como se observa en la figura n° 22.

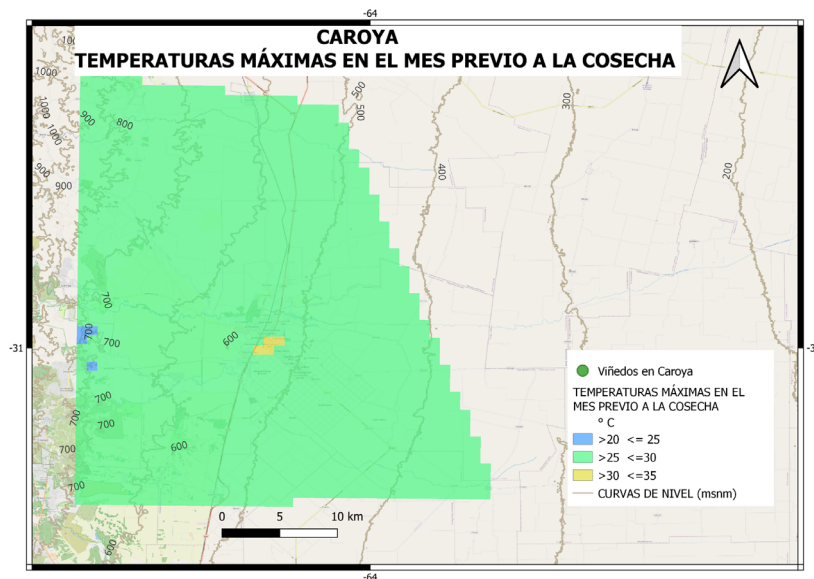


Figura n° 22. Caroya. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha

III.3.6. Precipitaciones

Las precipitaciones promedio entre el 15/09 y 15/03 para la región de Caroya se muestran en la figura n° 23. Se puede observar que en esta región los valores oscilan entre los 670 y los 750 mm siguiendo un patrón de distribución que explica en parte la distribución del índice de Sequía (figura n° 20).

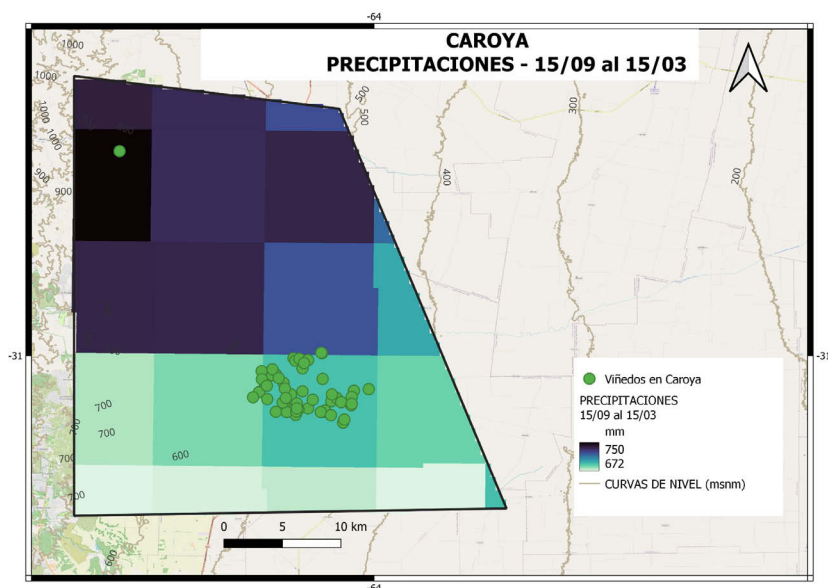


Figura n° 23. Caroya. Precipitaciones en el período 15/09 y 15/03

La figura n° 24 presenta los registros de precipitación correspondientes al período comprendido entre el 01/02 y 15/03, observándose un incremento de las precipitaciones hacia el NO de la región, con valores que oscilan entre 233 y 238 mm durante dicho intervalo temporal.

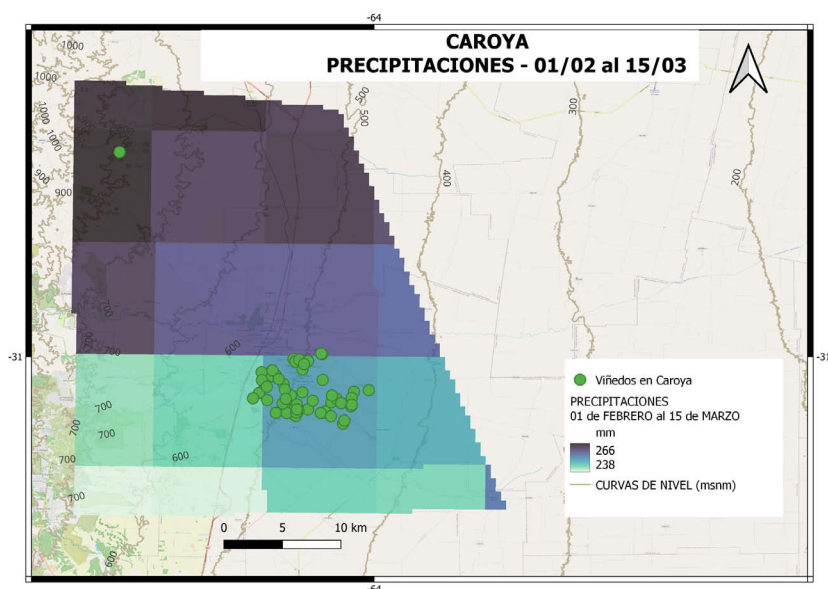


Figura n° 24. Caroya. Precipitaciones entre el 01/02 y 15/03

III.3.7. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio

La figura n° 25 muestra la distribución geográfica de los climas vitivinícolas presentes en la región de Caroya, definidos a partir de la combinación de los índices IH, IF e IS. Con el objetivo de facilitar su interpretación, se incorporaron curvas de nivel que representan la altitud del relieve sobre el nivel del mar, lo que evidencia la influencia de la topografía sobre los valores de dichos índices.

Tal como se indicó en el punto II.1.4. del presente informe, la combinación de índices bioclimáticos obtenida puede compararse con la registrada en otras regiones vitivinícolas del mundo donde se ha aplicado esta misma metodología. Dicha comparación se realiza mediante las tablas 9 y 10.

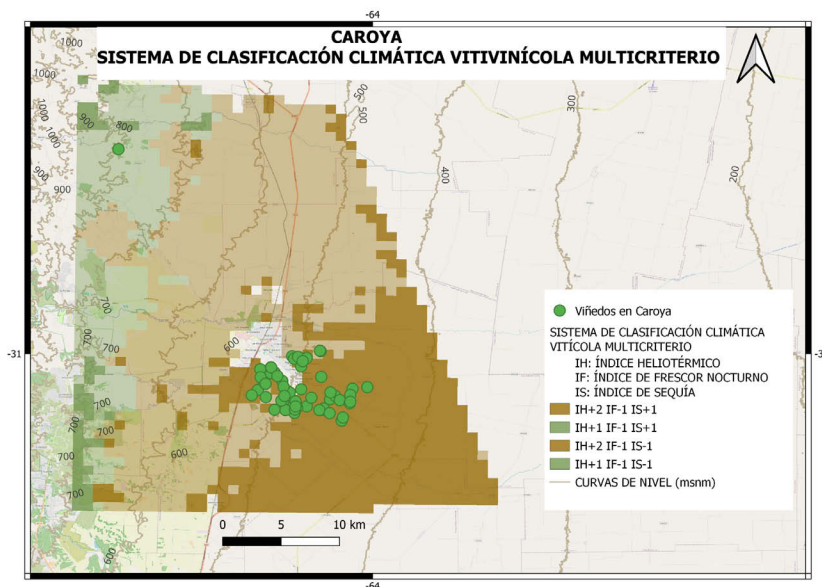


Figura n° 25. Caroya. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio

III.4. Región de Punilla

III.4.1. Índice Heliotérmico de Huglin

En la figura n° 26 se observa que gran parte de la región presenta condiciones **TEMPLADO CÁLIDO** (IH +1). No obstante, hacia el sector NE se identifican áreas cuyos valores del IH corresponden a **TEMPLADO** (IH -1). En el NO y el SO se observan dos áreas **CÁLIDAS** (IH +2).

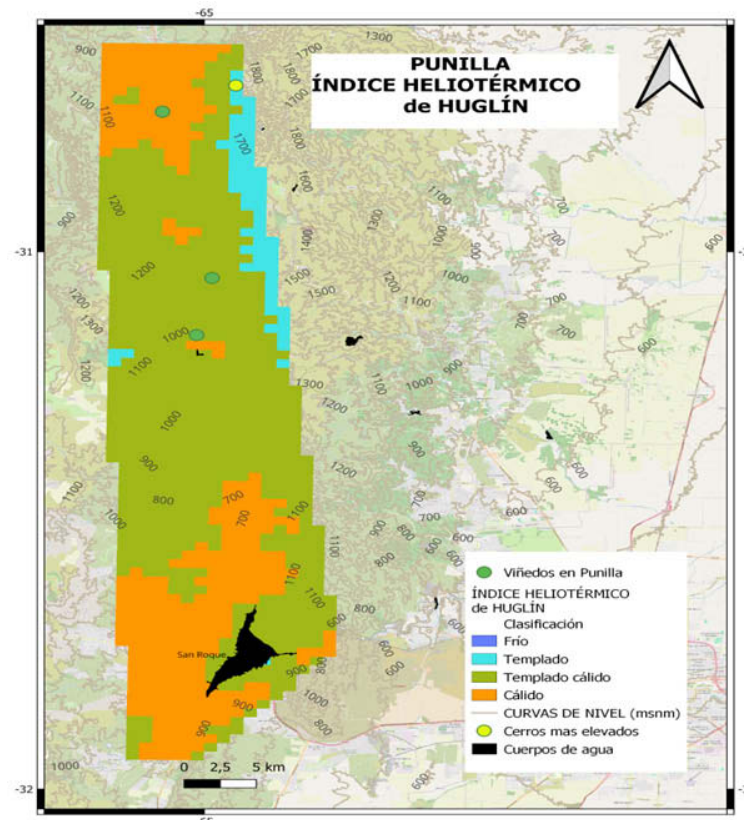


Figura n° 26. Punilla. Índice Heliotérmico de Huglin

III.4.2. Índice de Frescor nocturno

La figura n° 27 muestra que gran parte de la región registra NOCHES TEMPLADAS (IF-1), con valores comprendidos entre 14 y 16 °C. En contraste, hacia el NO se identifican dos áreas en donde la temperatura nocturna disminuye hasta rangos entre >12 y ≤ 14 °C, clasificados como NOCHES FRÍAS (IF+1). Asimismo, tres áreas ubicadas al N, centro y SE de la región presentan IF >16 y ≤ 18 °C NOCHES TEMPLADAS CÁLDIDAS.

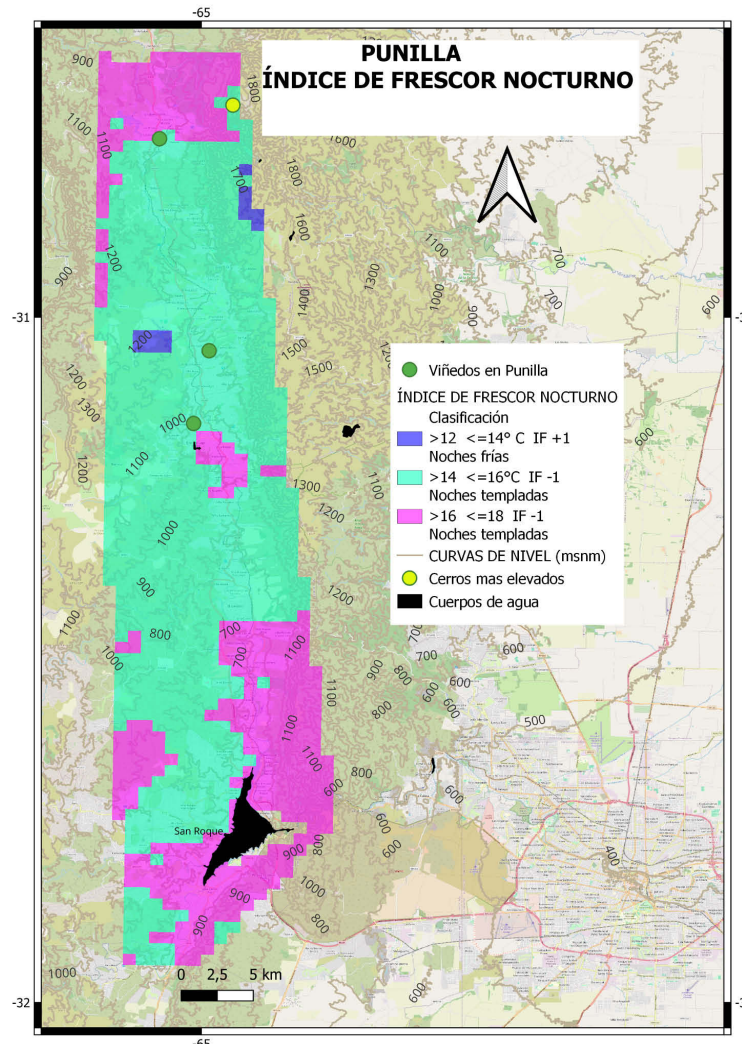


Figura n° 27. Punilla. Índice de Frescor nocturno

III.4.3. Índice de Sequía

En la figura n° 28 se observa que la zona central presenta un IS SUBHÚMEDO (IS -1) mientras que las zonas N y S, MODERADAMENTE SECO (IS +1).

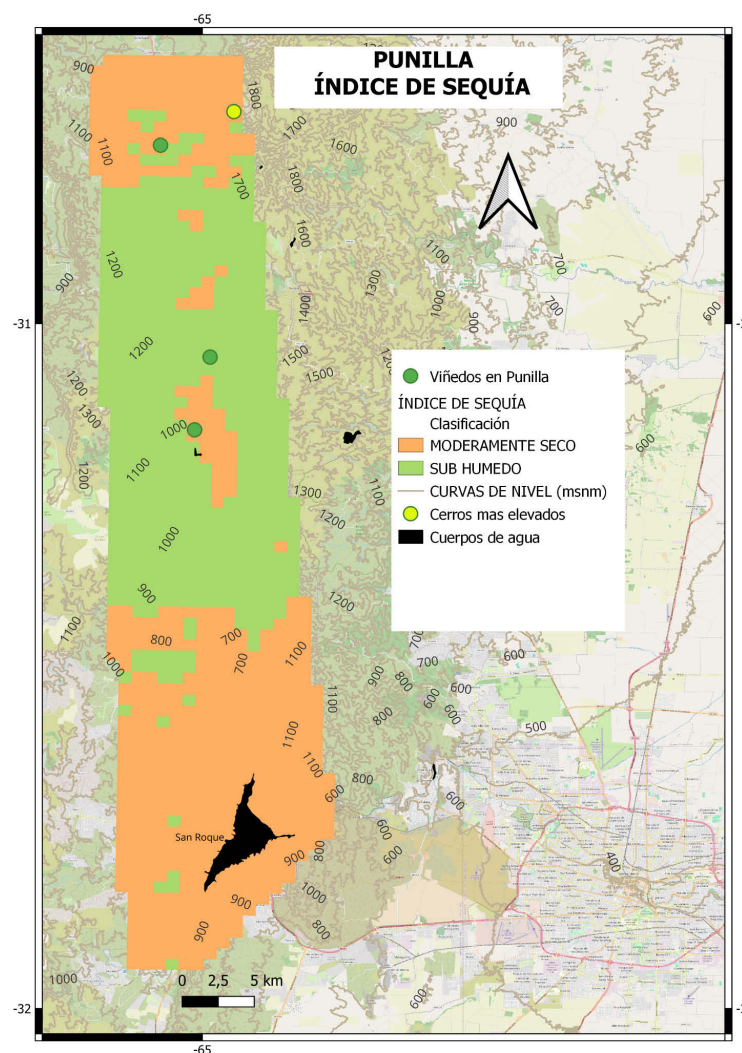


Figura n° 28. Punilla. Índice de Sequía

III.4.4. Heladas tardías

Gran parte de la región presenta heladas hasta la segunda y tercera semana de septiembre, mientras que algunas áreas pueden sufrir heladas hasta comienzos de octubre.

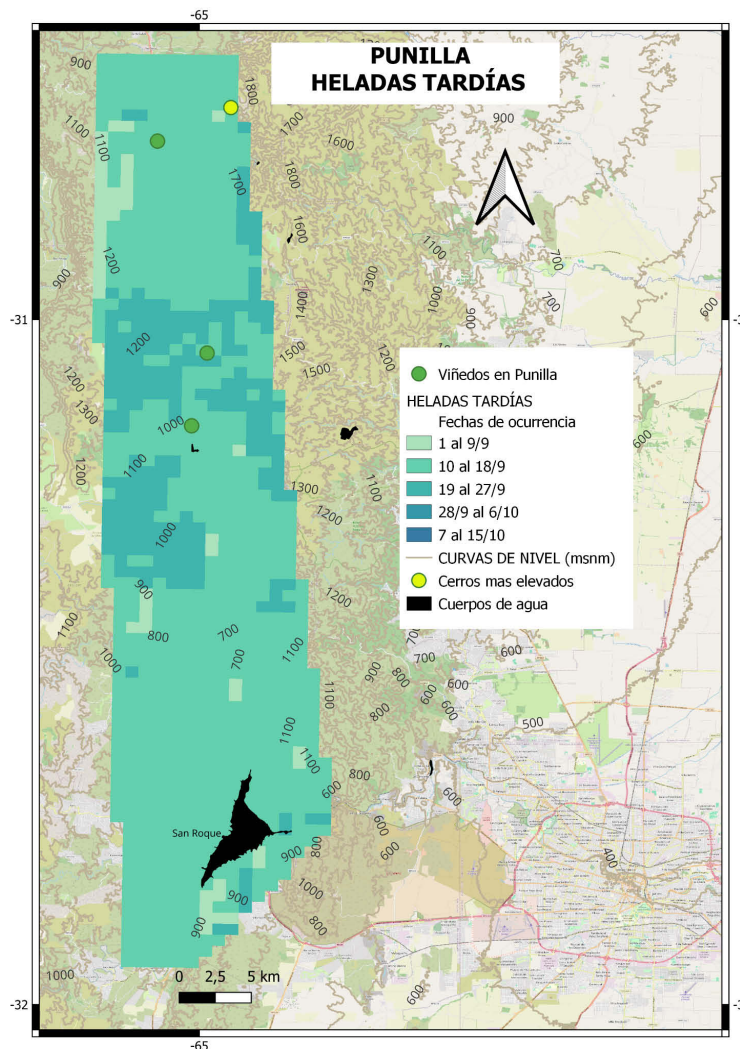


Figura n° 29. Punilla. Heladas tardías

III.4.5. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha

Como se observa en la figura n° 30, gran parte de la región registra temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha > 25 y ≤ 30 °C mientras que el NE y centro presenta áreas con temperaturas > 20 y ≤ 25 °C.

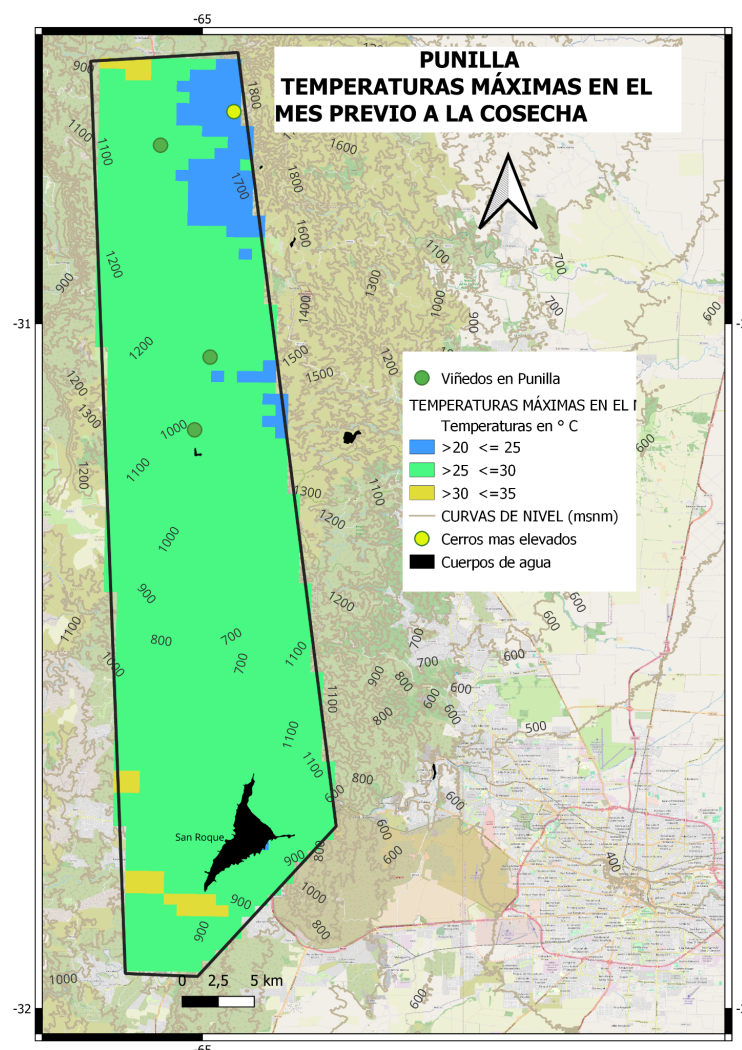


Figura n° 30. Punilla. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha

III.4.6. Precipitaciones

Las precipitaciones promedio entre el 15/09 y 15/03 en esta región se muestran en la figura n° 31. Se puede observar que los valores oscilan entre los 704 y los 743 mm, mientras que entre 01/02 y 15/03 los registros oscilan entre 249 y 23 mm.

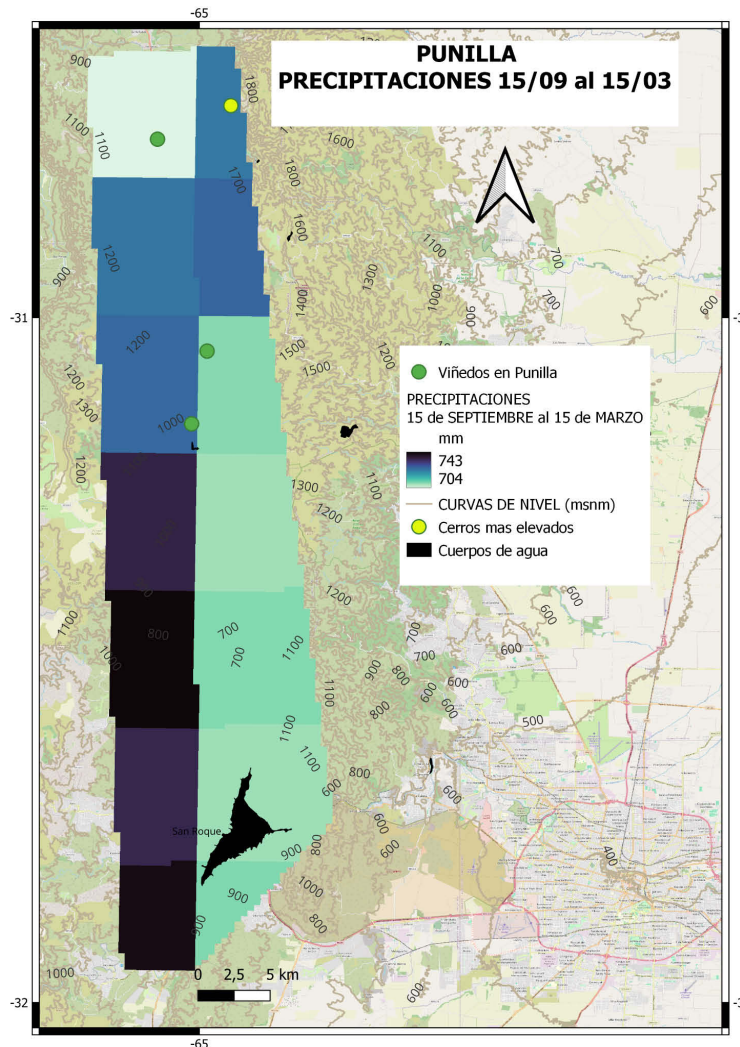


Figura n° 31. Punilla. Precipitaciones entre el 15/09 y 15/03

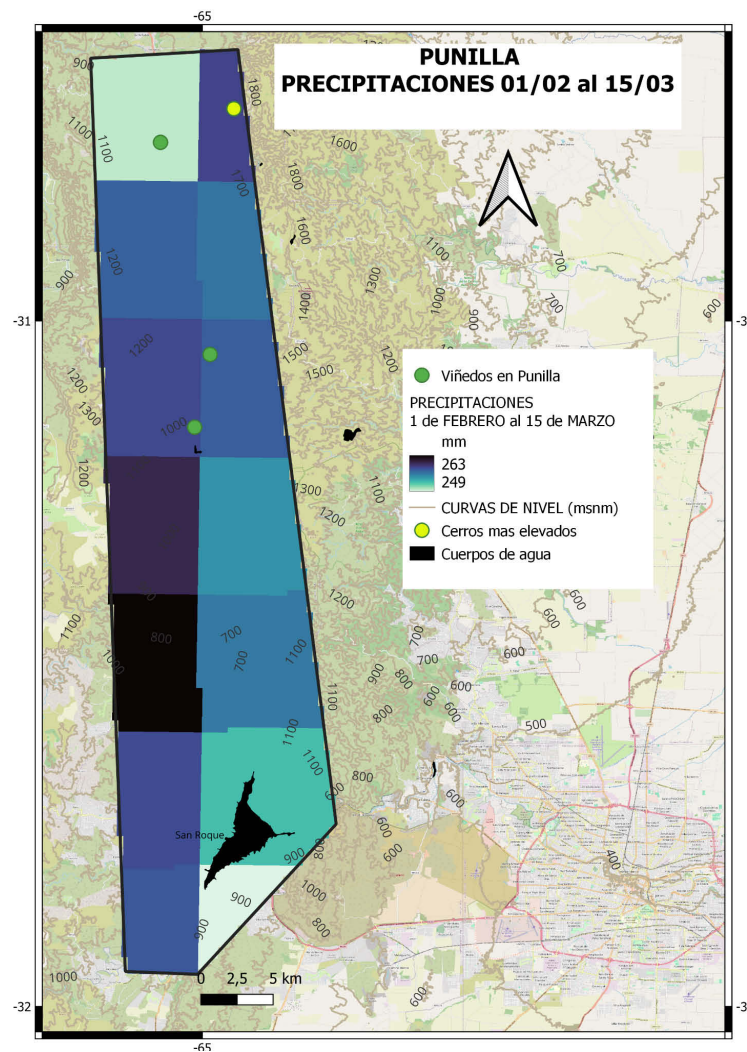


Figura n° 32. Punilla. Precipitaciones entre el 01/02 y 15/03

III.4.7. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio

La figura n° 33 muestra la distribución geográfica de los climas vitivinícolas presentes en la región de Punilla, definidos a partir de la combinación de los índices IH, IF e IS. Con el objetivo de facilitar su interpretación, se incorporaron curvas de nivel que representan la altitud del relieve sobre el nivel del mar, evidenciando la influencia de la topografía sobre los valores de dichos índices.

Tal como se indicó en el punto II.1.4 del presente informe, la combinación de índices bioclimáticos obtenida puede compararse con la registrada en otras regiones vitivinícolas del mundo donde se ha aplicado esta misma metodología. Dicha comparación se realiza mediante las tablas 9 y 10.

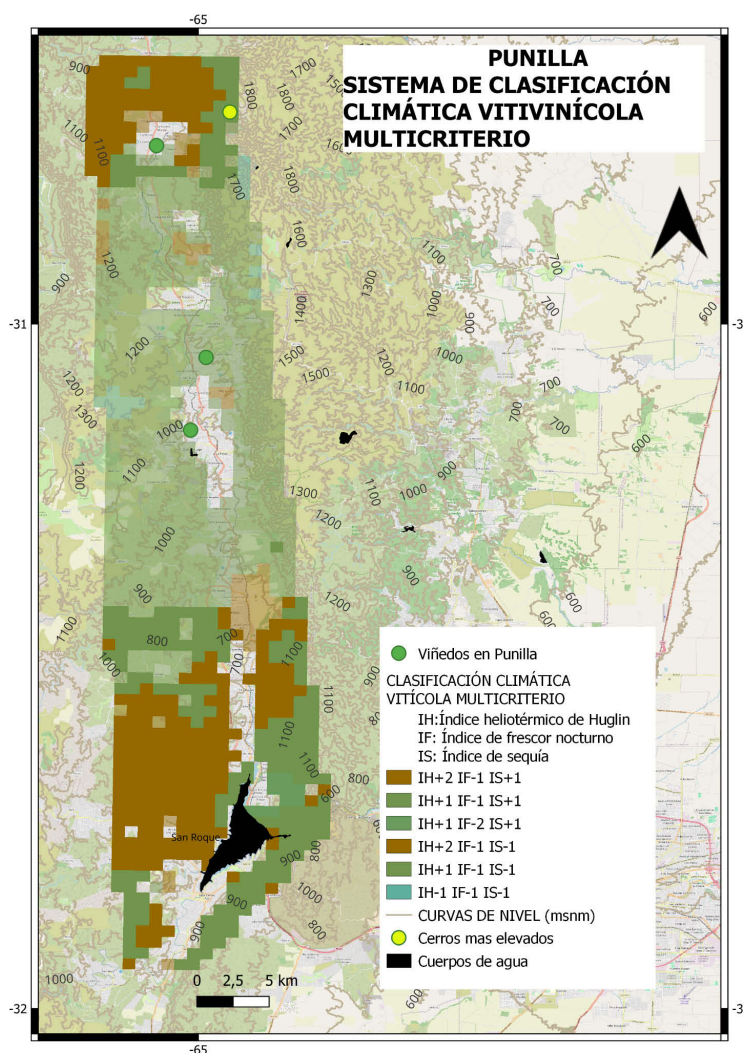


Figura n° 33. Punilla. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio

III.5. Región del Norte de Córdoba

III.5.1. Índice Heliotérmico de Huglin

En la figura n° 34 podemos observar tres áreas bien identificadas: una hacia el NO MUY CÁLIDO IH +3, una franja central CÁLIDO IH +2 y gran parte del SE TEMPLADO CÁLIDO IH +1.

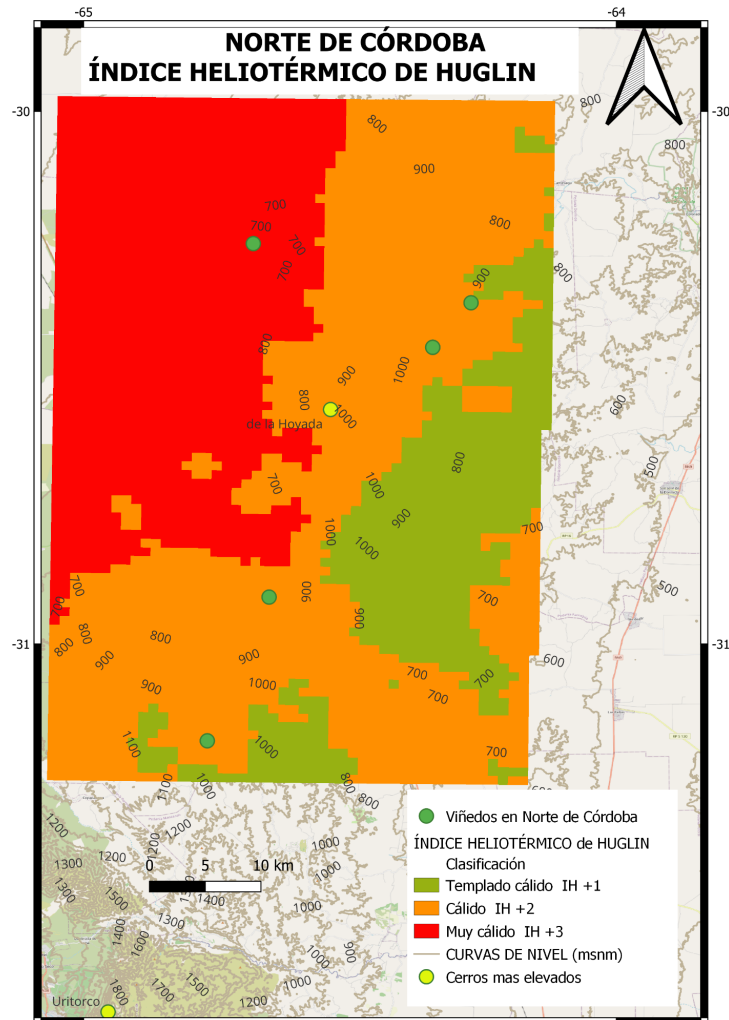


Figura n° 34. Norte de Córdoba. Índice Heliotérmico de Huglin

III.5.2. Índice de Frescor nocturno

En la figura n° 35 se observan tres áreas bien diferenciadas: una hacia el NO de mayor superficie con IF $> 18^{\circ}\text{C}$ NOCHES CÁLDIDAS (IF -2), un área central con un IF como NOCHES TEMPLADAS CÁLDIDAS (IF-1) > 16 y $\leq 18^{\circ}\text{C}$ y gran parte del SE como NOCHES TEMPLADAS con temperaturas > 14 y $\leq 16^{\circ}\text{C}$.

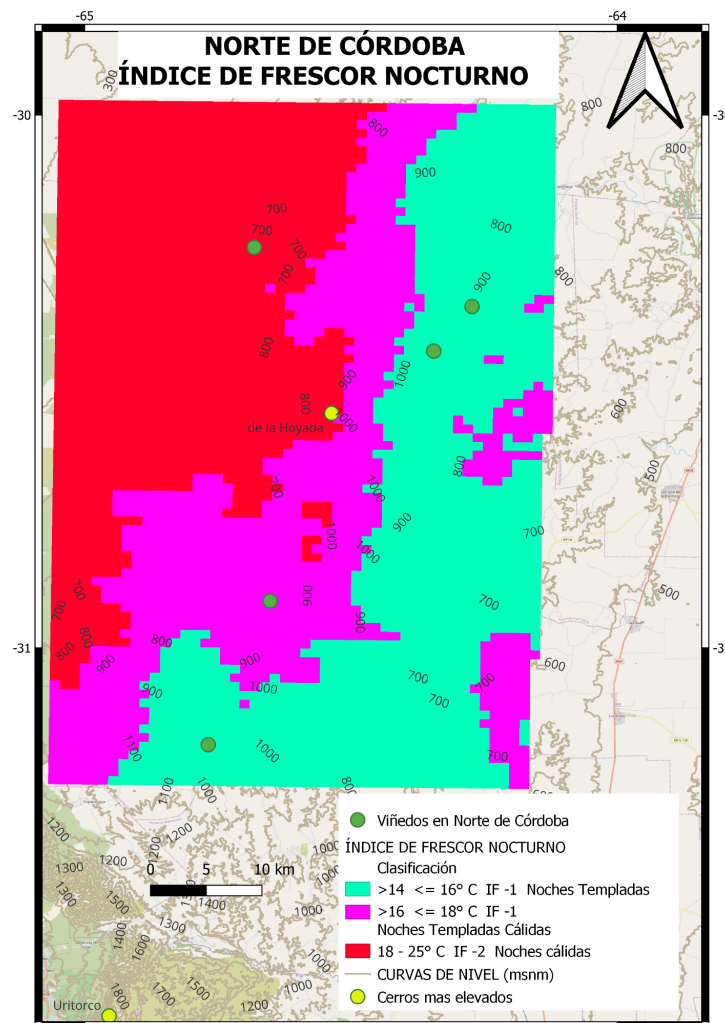


Figura n° 35. Norte de Córdoba. Índice de Frescor nocturno

III.5.3. Índice de Sequía

La región se presenta como MODERADAMENTE SECA (IS +1).

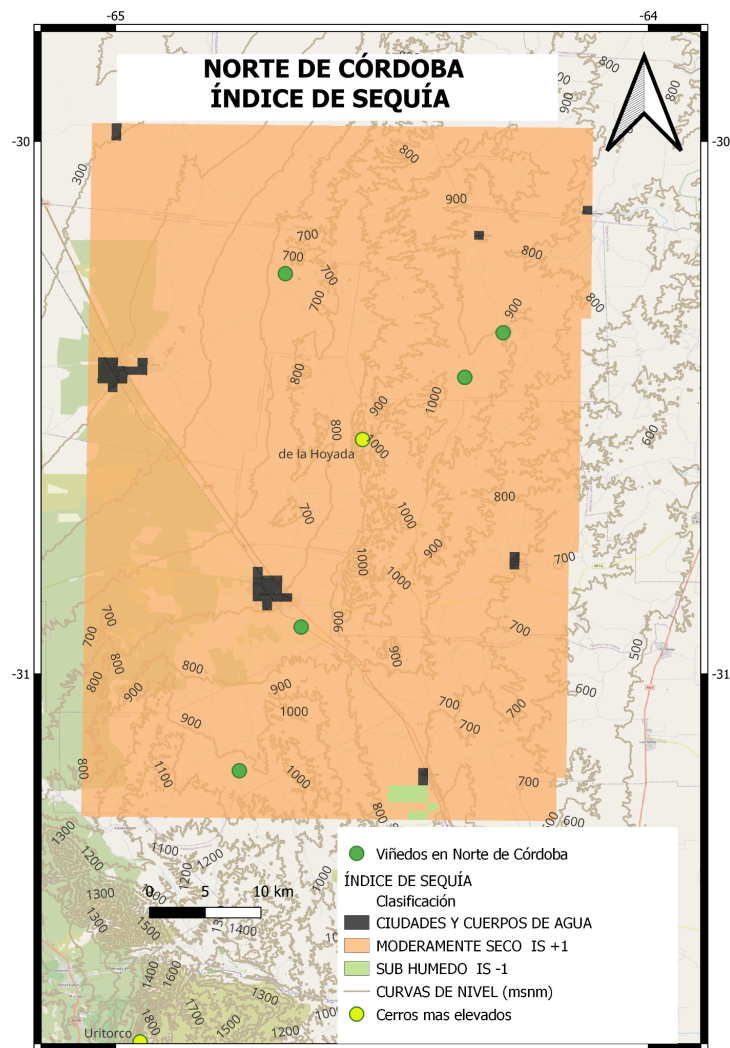


Figura n° 36. Norte de Córdoba. Índice de Sequía

III.5.4. Heladas tardías

Gran parte de la región presenta heladas hasta la primera semana de septiembre. Sin embargo, hay áreas en donde se pueden presentar hasta la tercera o cuarta semana del mismo mes como se puede observar en la figura n° 37.

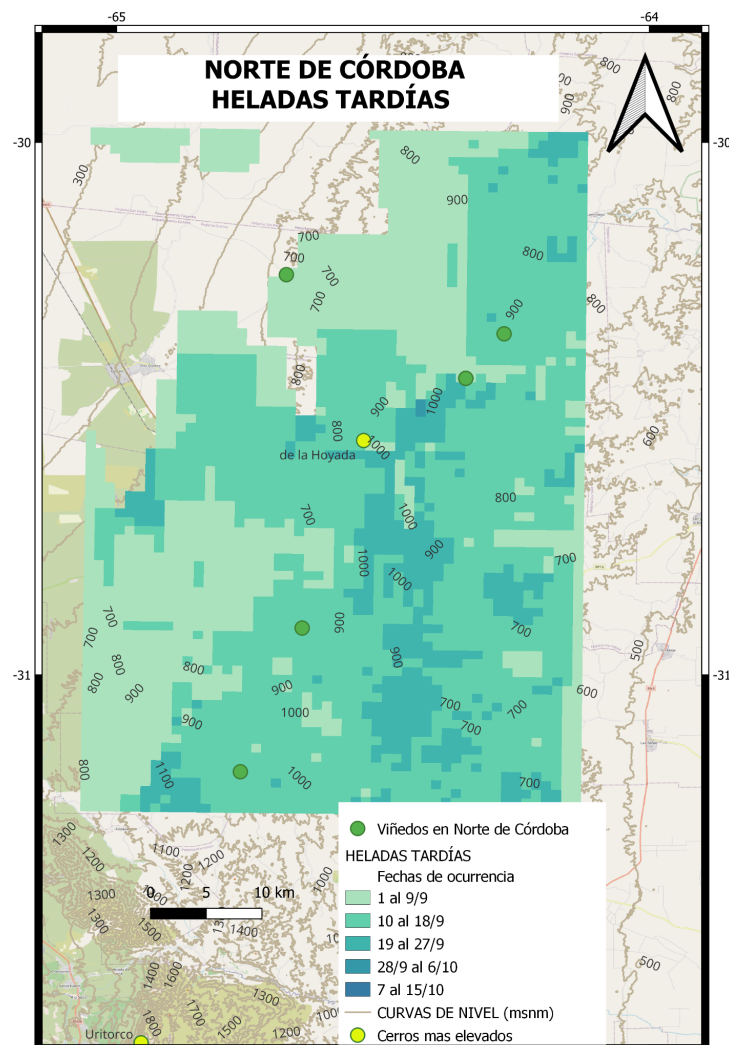


Figura n° 37. Norte de Córdoba. Heladas tardías

III.5.5. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha

Las áreas ubicadas al O presentan temperaturas máximas superiores a los 30 °C mientras que el resto se ubica entre 25 y 30 °C con excepción de las zonas más altas con temperaturas menores a los 25 °C como se puede observar en la figura n° 38.

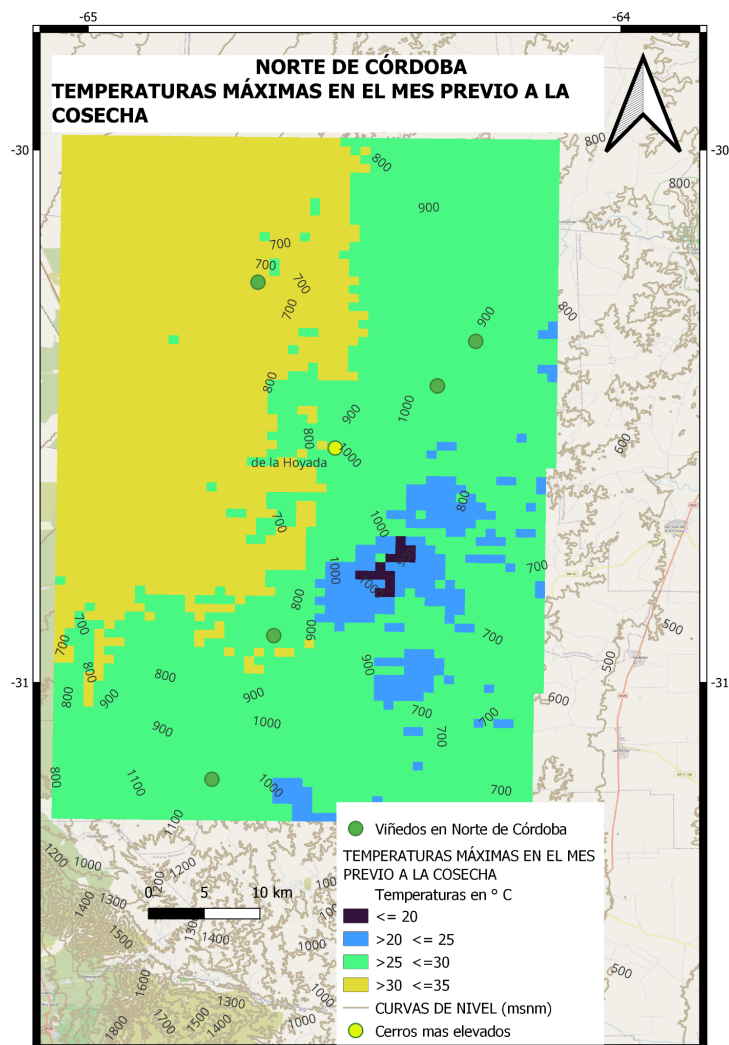


Figura n° 38. Norte de Córdoba. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha

III.5.6. Precipitaciones

Las precipitaciones promedio entre el 15/09 y 15/03 se muestran en la figura n° 39. Los valores oscilan entre los 571 y los 716 mm, mientras que entre 01/02 y 15/03 los registros oscilan entre 204 y 260 mm (figura n° 40).

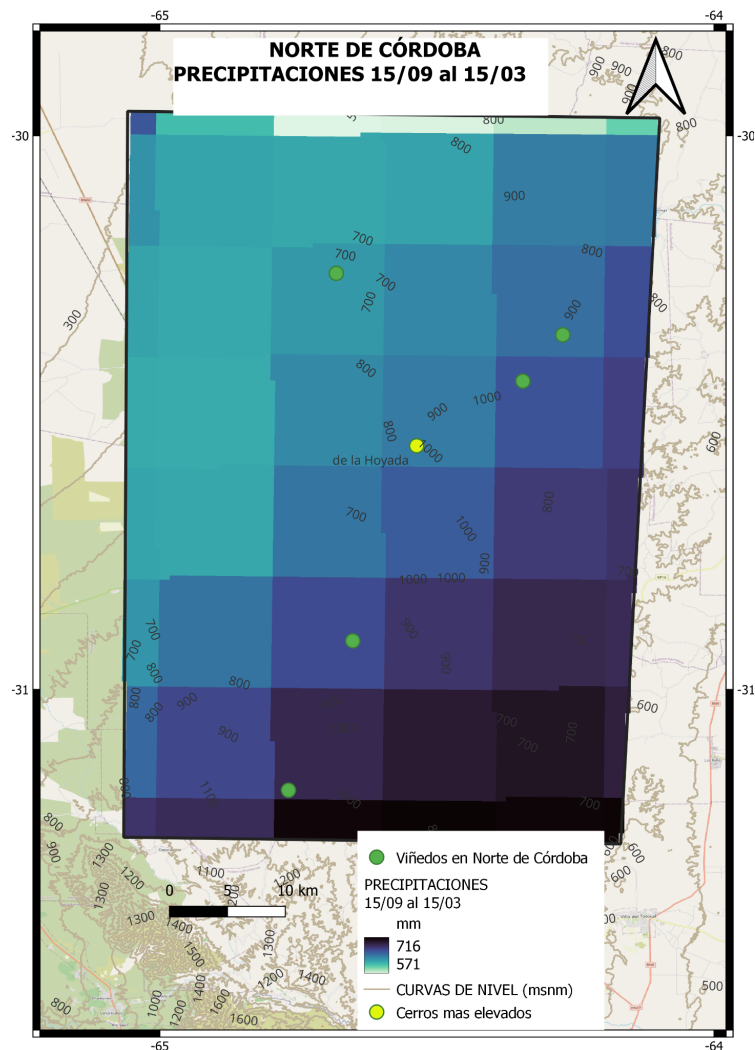


Figura n° 39. Norte de Córdoba. Precipitaciones entre el 15/09 y 15/03

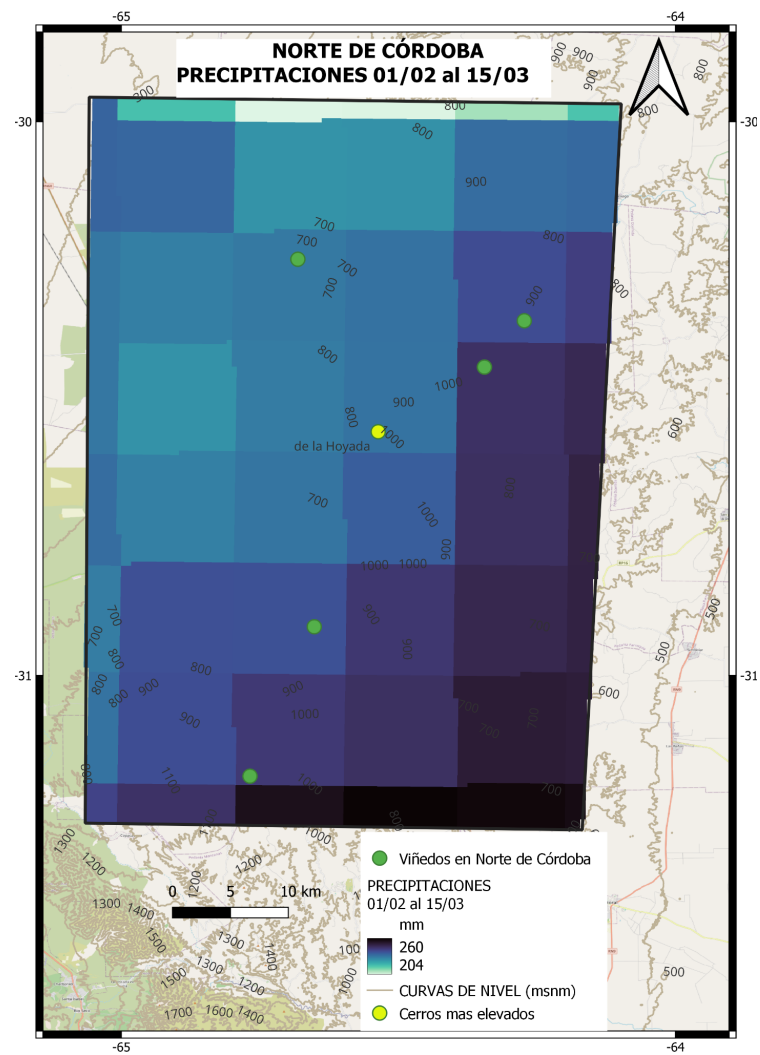


Figura n° 40. Norte de Córdoba. Precipitaciones entre el 01/02 y 15/03

III.5.7. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio

La figura n° 41 muestra la distribución geográfica de los climas vitivinícolas presentes en la región del norte de Córdoba definidos a partir de la combinación de los índices IH, IF e IS. Con el objetivo de facilitar su interpretación, se incorporaron curvas de nivel que representan la altitud del relieve sobre el nivel del mar, evidenciando la influencia de la topografía sobre los valores de dichos índices.

Tal como se indicó en el punto II.1.4. del presente informe, la combinación de índices bioclimáticos obtenida puede compararse con la registrada en otras regiones vitivinícolas del mundo donde se ha aplicado esta misma metodología. Dicha comparación se realiza mediante las tablas 9 y 10.

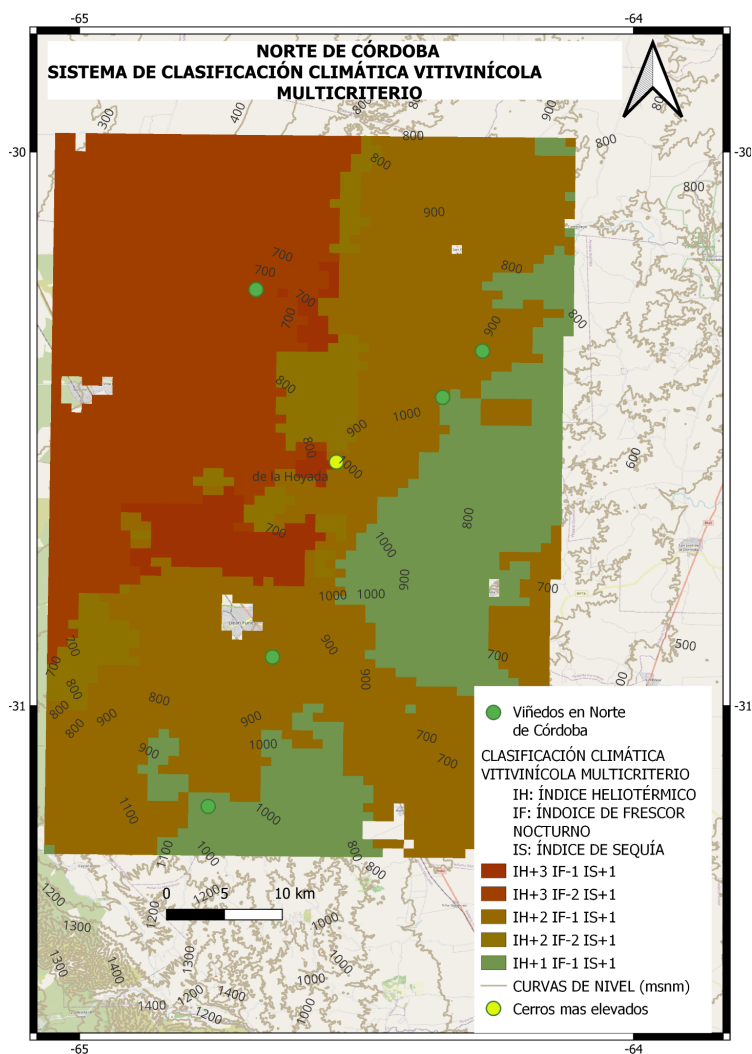


Figura n° 41. Norte de Córdoba. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio

III.6. Región de Cruz del Eje

III.6.1. Índice Heliotérmico de Huglin

Como se observa en la figura n° 42, gran parte de la región presenta un IH MUY CÁLIDO (IH +3) excepto una pequeña área en el SO CÁLIDO (IH +2).

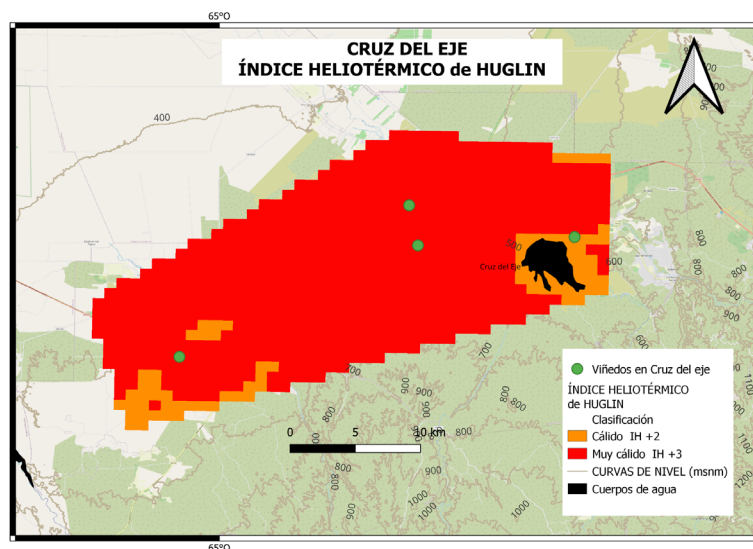


Figura n° 42. Cruz del Eje. Índice Heliotérmico de Huglin

III.6.2. Índice de Frescor nocturno

En la figura n° 43 se observa que toda la región presenta IF con temperaturas $> 18^{\circ}\text{C}$ NOCHES CÁLIDAS (IF -2).

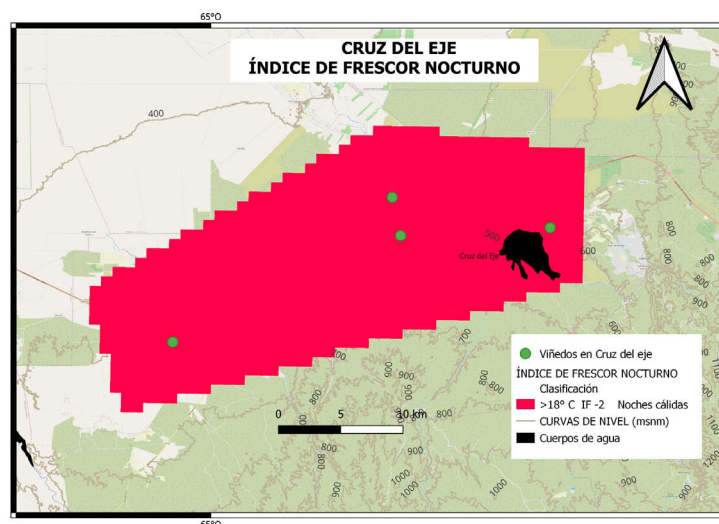


Figura n° 43. Cruz del Eje. Índice de Frescor nocturno

III.6.3. Índice de Sequía

El Índice de Sequía se presenta como MODERADAMENTE SECO (IS +1) en toda la región (figura n° 44).

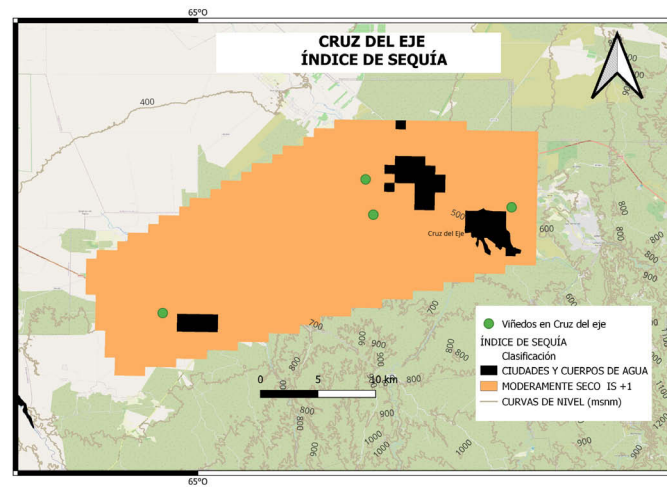


Figura n° 44. Cruz del Eje. Índice de Sequía

III.6.4. Heladas tardías

En la figura n° 45 se observan diferentes áreas con fechas de ocurrencias en todo el mes de septiembre. Hacia el E, con fechas de la primera semana de septiembre.

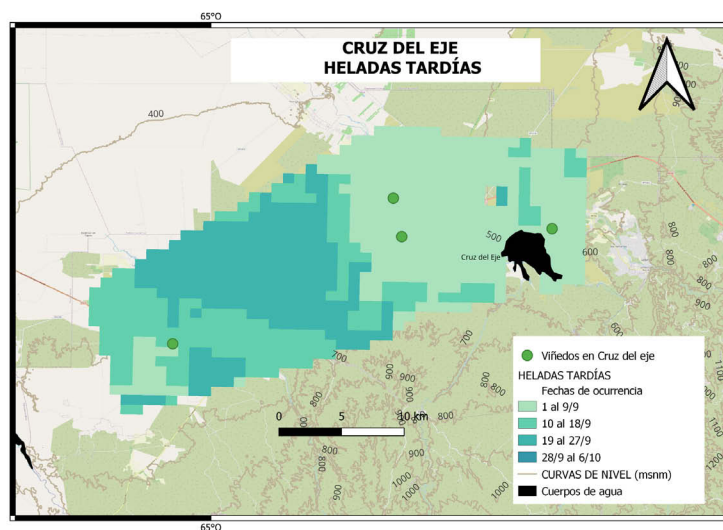


Figura n° 45. Cruz del Eje. Heladas tardías

III.6.5. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha

En la figura n° 46 se observan en la región temperaturas máximas superiores a los 30 °C excepto dos pequeñas áreas con temperaturas menores a los 30 °C.

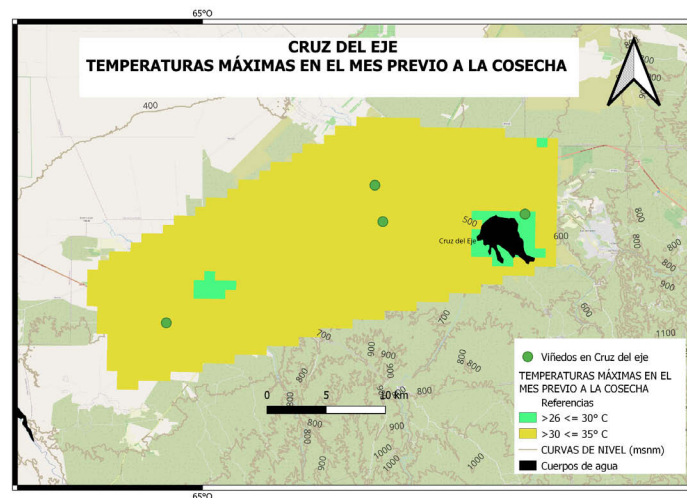


Figura n° 46. Cruz del Eje. Temperaturas máximas en el mes previo a la cosecha

III.6.6. Precipitaciones

Las precipitaciones promedio entre el 15/09 y 15/03 se muestran en la figura n° 47. Se puede observar que los valores oscilan entre los 598 y los 678 mm, mientras que entre 01/02 y el 15/03 los registros oscilan entre 215 y 244 mm (figura n° 48).

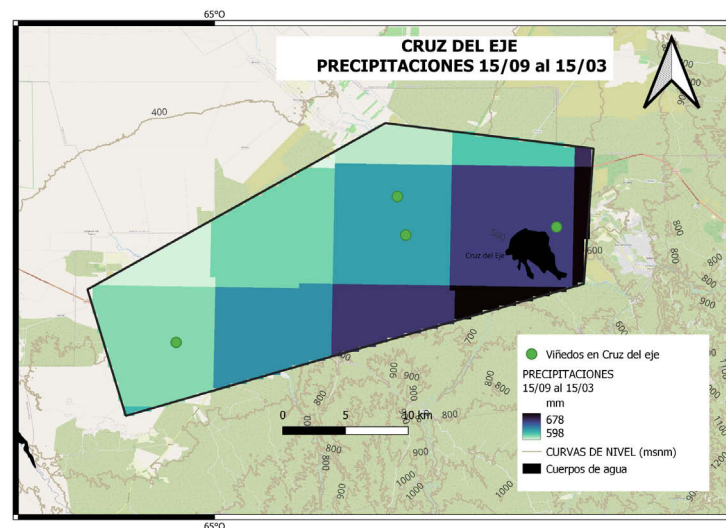


Figura n° 47. Cruz del Eje. Precipitaciones entre el 15/09 y 15/03

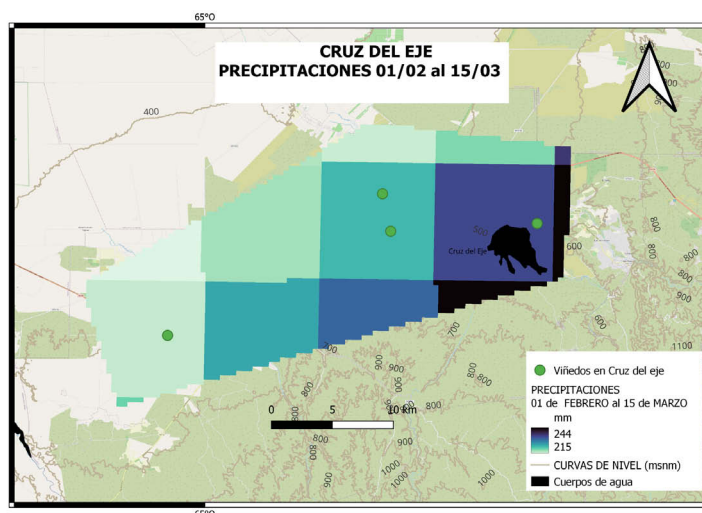


Figura n° 48. Cruz del Eje. Precipitaciones entre el 01/02 y 15/03

III.6.7. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio

La figura n° 49 muestra la distribución geográfica de los climas vitivinícolas presentes en la región de Cruz del Eje definidos a partir de la combinación de los índices IH, IF e IS. Con el objetivo de facilitar su interpretación, se incorporaron curvas de nivel que representan la altitud del relieve sobre el nivel del mar, evidenciando la influencia de la topografía sobre los valores de dichos índices.

Tal como se indicó en el punto II.1.4. del presente informe, la combinación de índices bioclimáticos obtenida puede compararse con la registrada en otras regiones vitivinícolas del mundo donde se ha aplicado esta misma metodología. Dicha comparación se realiza mediante las tablas n° 9 y 10.

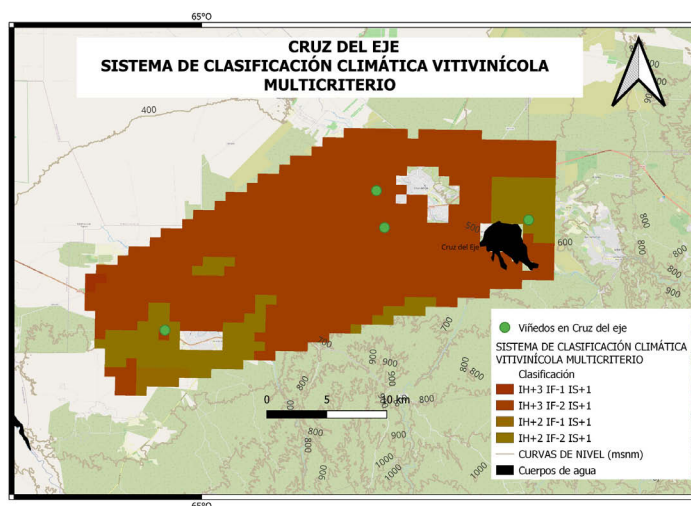


Figura n° 49. Cruz del Eje. Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio

III.7. Validación de resultados

En la tabla n° 12 se pueden observar las comparaciones realizadas de LST y los valores calculados de IH, IF e IS obtenidos con datos de sensores remotos con las mediciones y cálculos de los mismos índices realizados con datos obtenidos por estaciones meteorológicas de superficie del SMN (tabla n° 11). Del análisis de estos resultados se puede concluir que existe una correlación lineal significativa entre ellas porque los coeficientes de correlación calculados son significativamente diferentes de cero y los p-valor encontrados para todas las series de datos comparados fueron menores al nivel de significancia establecido (α : 0.05). Así, el utilizar datos meteorológicos obtenidos con sensores remotos es una metodología válida para zonificar a escala regional, en territorios extensos con escasa información meteorológica de estaciones de superficie.

Tabla n° 12. r y p-valor para la comparación de IH, IF, IS y T_{máx} calculada para dos estaciones meteorológicas del SMN con respecto a los datos satelitales

Índice		Córdoba (Aero)	Villa Dolores (Aero)
IH	r	0.58	0.72
	p-valor	0.01519	0.002463
IF	r	0.64	0.71
	p-valor	0.005562	0.001262
IS	r	0.57	0.73
	p-valor	0.0179	0.001458
T _{máx}	r	0.58	0.63
	p-valor	0.006211	0.006415

IV. CONCLUSIÓN

En este estudio se logró identificar, caracterizar y agrupar los climas vitivinícolas de diferentes regiones de Córdoba. El conocer estas diferentes aptitudes climáticas permitirá seleccionar variedades adecuadas a implantar, optar por prácticas vitícolas acordes a las condiciones ambientales. Además, actualizar la información periódicamente permitirá advertir su variación en un contexto de cambio climático. Se demostró que el utilizar datos meteorológicos obtenidos con sensores remotos es una metodología válida para zonificar a escala regional en territorios extensos con escasa información meteorológica de estaciones de superficie. Este trabajo pretende ser parte de un estudio más integral que debería abordar la confirmación de las diferencias climáticas vitícolas identificadas entre regiones y la caracterización de los vinos obtenidos en ellas.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Organización de la Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.
- Anderson, J. D., Jones, G. V., Tait, A., Hall, A. & Trought, M. C. T. (2012). *Analysis of viticulture region climate structure and suitability in New Zealand*. *OENO One*, 46(3), Article 3. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2012.46.3.1515>
- Blanco-Ward, D., Garcia Queijeiro, J. & Jones, G. (2007). *Spatial climate variability and viticulture in the Miño River Valley of Spain*. *Vitis* 46 (2), 63-70
- Bravo, R., Muñoz, M. & Quintana, J. (2020). "Heladas. Factores atmosféricos, tendencias y efectos en frutales y vides". *BOLETIN INIA*, 17, 102.
- Bustos Morgani, M., Fanzone M., Perez Peña, J., Sari, S., Gallo, A., Gómez Tournier, M. & Prieto, J. (2022). "Late pruning modifies leaf to fruit ratio and shifts maturity period, affecting berry and wine composition in *Vitis vinífera* L. cv. 'Malbec' in Mendoza, Argentina". *Scientia Horticulturae*. Vol 313. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111861>
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección espacial* (segunda edición). España. Rialp.
- Consejo Federal de Inversiones (2015). *Estudio para el desarrollo, fortalecimiento y modernización de la cadena vitivinícola en la Provincia de Córdoba*. Exp. N° 143390001. Recuperado de <http://biblioteca.cfi.org.ar>
- Coombe, 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, 104-110. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1755-0238.1995.tb00086.x>
- Di Bella, C., Rebella, C. & Paruelo, J. (2000). "Evapotranspiration estimates using NOAAVHRR imagery in the Pampa region of Argentina". *International Journal of Remote Sensing*, 21(4), 791-797. <https://doi.org/10.1080/014311600210579>
- Ferrer, M., Echeverría, G. & Miras-Avalos, J. M. (2017). "Meteorological Conditions: Influence on Yield, Sanitary Status and Grape Composition". *International Journal of Environmental and Agriculture Research*, 3(8), 16-27. <https://doi.org/10.25125/agriculture-journal-IJOEAR-AUG-2017-3>
- Ferrer, M., Echeverría, G., Pereyra, G., Salvarrey, J., Arrillaga, L. & Fourment, M. (2018). "Variación del clima de un Terroir y su consecuencia sobre la respuesta de la vid". *E3S Web Conf*. Volume 50. XII Congreso Internacional Terroir. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185001002>

- 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. <https://doi.org/10.31285/AGRO.11.768>
- Fourment, M., Ferrer, M., González-Neves, G., Barbeau, G., Bonnardot, V. & Quénot, H. (2017). "Tannat grape composition responses to spatial variability of temperature in an Uruguay's coastal wine region". *International Journal of Biometeorology*, 61(9), 1617-1628. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1340-2>
- Gouot, J., Smith, J., Holzapfel, B., Walker, A. & Barril, C. (2019). "Grape berry flavonoids: a review of their biochemical responses to high and extreme high temperatures". *Journal of Experimental Botany*, Vol. 70, No. 2 pp. 397–423. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery392>
- Gutiérrez-Gamboa, Verdugo-Vásquez, Contreras Cortez, & Jara. (2023). Viticultura andina: Caracterización edafoclimática de viñedos establecidos en el Valle de Codpa. 10(28), 26-40. <http://dx.doi.org/10.35588/rivar.v10i28.5492>
- Hall, A. & Jones, G. V. (2010). "Spatial analysis of climate in winegrape growing regions in Australia". *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(3), 389-404. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2010.00100.x>
- Huglin, P. (1978). "Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole". *Académie d'Agriculture de France*, Vol 64, 1117-1126.
- (1983). "Possibilités d'appréciation objective du milieu viticole". *Bulletin de l' O.I.V.*, 56(634), 823-833.
- Instituto Nacional de Vitivinicultura (2026). Informe Anual de Superficie 2025. Recuperado de www.inv.gob.ar
- Jones, G. V., Duff, A. A., Hall, A. & Myers, J. W. (2010). "Spatial Analysis of Climate in Winegrape Growing Regions in the Western United States". *American Journal of Enology and Viticulture*, 61(3), 313-326. <https://doi.org/10.5344/ajev.2010.61.3.313>
- Jones, J., Wilson, S., Lee, G. & Smith, A. (2010). "Effect of frost damage and pruning on current crop and return crop of Pinot Noir". *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 38(3), 209-216. <https://doi.org/10.1080/01140671.2010.498402>
- Keller, M. (2015). *The science of grapevines: Anatomy and physiology* (Segunda edición). Elsevier/AP, Academic Press.
- Kotikot, S. M., Flores, A., Griffin, R. E., Nyaga, J., Case, J. L., Mugo, R., Sedah, A., Adams, E., Limaye, A. & Irwin, D. E. (2020). "Statistical characterization of frost zones: Case of tea freeze damage in the Kenyan highlands". *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 84, 101971. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101971>
- Lennon, J. J. & Turner, J. R. G. (1995). "Predicting the Spatial Distribution of Climate: Temperature in Great Britain". *The Journal of Animal Ecology*, 64(3), 370. <https://doi.org/10.2307/5898>
- Lozano, I. (2017). Caracterización y análisis climático de la Región de Colonia Caroya (Departamento Colón, Córdoba) a través de índices bioclimáticos. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. 15 pp.
- Marini, F., Santamaría, M., Oricchio, P., Di Bella, C. M., & Basualdo, A. (2017). "Estimación de evapotranspiración real (ETR) y de evapotranspiración potencial (ETP) en el sudoeste

- bonaerense (Argentina) a partir de imágenes MODIS". *Revista de Teledetección*, 48, 29. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.6743>
- Mori, K., Goto-Yamamoto, N., Kitayama, M. & Hashizume, K. (2007). "Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature". *Journal of Experimental Botany*, 58(8), 1935-1945. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm055>
- Morin, G., Le Roux, R., Lemasle, P.-G. & Quénot, H. (2020). "Mapping Bioclimatic Indices by Downscaling MODIS Land Surface Temperature: Case Study of the Saint-Emilion Area". *Remote Sensing*, 13(1), 4. <https://doi.org/10.3390/rs13010004>
- Neethling, E., Barbeau, G., Coulon-Leroy, C. & Quénot, H. (2019). "Spatial complexity and temporal dynamics in viticulture: A review of climate-driven scales". *Agricultural and Forest Meteorology*, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107618> 276-277, 107618.
- Noi, P., Degener, J. & Kappas, M. (2017). "Comparison of Multiple Linear Regression, Cubist Regression, and Random Forest Algorithms to Estimate Daily Air Surface Temperature from Dynamic Combinations of MODIS LST Data". *Remote Sensing*, 9(5), 398. <https://doi.org/10.3390/rs9050398>
- OIV (2012). Resolución OIV/VITI 423/2012.
- Ovando, G., Sayago, S. & Bellini, Y. (2018). "Evaluación del desempeño de productos satelitales para estimar la precipitación en Córdoba (Argentina)". *Congreso Argentino de Agroinformática*, 3-9; CABA, 203-214
- Ovando, G., Sayago, S. & Bocco, M. (2022). "Development of machine learning models for air temperature estimation using MODIS data". *Agriscientia*, Vol. 39: 15-28
- Palliotti, A., Cartechini, A., Silvestroni, O. & Mattioli, S. (2005). "Respiration activity in different above-ground organs of *Vitis vinifera* L. in response to temperature and developmental stage". In: Williams LE, ed. *Proceedings of the seventh international symposium on grapevine physiology and biotechnology*. Belgium: International Society of Horticultural Science, 159-165
- Penman, L. (1948). *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Recuperado de <https://royalsocietypublishing.org/> on 18 June 2024
- Phan, T. N., Kappas, M., Nguyen, K. T., Tran, T. P., Tran, Q. V. & Emam, A. R. (2019). "Evaluation of MODIS land surface temperature products for daily air surface temperature estimation in northwest Vietnam". *International Journal of Remote Sensing*, 40(14), <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1580789>
- Riou. (1994). *The effect of climate on grape Ripening Application to the Zoning of sugar content in the European Community*. Luxembourg: Office des Publications Officielles des Communautés Européennes. Institut National de la Recherche Agronomique. Bordeaux, France. 336 pp.
- Running, S., Mu, Q. & Zhao, M. (2021). "MODIS/Terra Net Evapotranspiration 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V061 [dataset]". *NASA EOSDIS Land Processes DAAC*. <https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A2.061>
- Spayd, S. E., Tarara, J. M., Mee, D. L. & Ferguson, J. C. (2002). "Separation of Sunlight and Temperature Effects on the Composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot Berries". *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(3), 171-182. <https://doi.org/10.5344/ajev.2002.53.3.171>
- Sweetman, C., Sadras, V. O., Hancock, R. D., Soole, K. L. & Ford, C. M. (2014). "Metabolic effects of elevated temperature on organic acid degradation in ripening *Vitis vinifera* fruit". *Journal of Experimental Botany*, 65(20), 5975-5988. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru343>

Tonietto, J. (1999). *Les macroclimats Viticoles Mondiaux et l'influence du mésoclimat sur la typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le sud de la France* [Doctorado]. L'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. 236 pp.

Tonietto, J. (2005). El Uso de la Zonificación Vitivinícola para mejorar los factores agronómicos y ecológicos para obtener vinos de calidad. II Seminario Internacional de Vitivinicultura, Ensenada - México, 3 y 4 de agosto de 2005

Tonietto, J. & Carbonneau, A. (2002). "Régime thermique en période de maturation du raisin dans le géoclimat viticole". I, 279-289.

——— (2004). "A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide". *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(1-2), 81-97. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>

Valdés-Gómez, F., Calonnec, H., Roudet, L. & Gary, M. (2008). "A multivariate analysis of combined effects of (micro)climate, vegetative and reproductive growth on grey mould incidence in grapevine". *Integrated Protection in Viticulture*, 36, 91-94.

Vancutsem, C., Ceccato, P., Dinku, T. & Connor, S. J. (2010). "Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over Africa". *Remote Sensing of Environment*, 114(2), 449-465. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.002>

Vila, H., Cañadas, M. & Lucero, C. (1999). Caracterización de zonas mesoclimáticas aptas para la vid (*Vitis vinifera* L.) en la provincia de San Juan, Argentina. INTA. 67 pp

Zanus, M. & Tonietto, J. (2012). "Elementos metodológicos para a caracterização sensorial de vinhos de regiões climáticas vitivinícolas". En Tonietto, J., Soté, V. (Eds) *Caracterização climática de regiões vitivinícolas iberoamericanas*. Embrapa Uva e Vinho. Bento Gonçalves, Brasil. 64 pp

Zufferey, J. V. (2000). *Echanges gazeaux des feuilles ches Vitis vinifera en fonction des parametres climatiques et physiologiques et des modes de conduite de la vigne*. These présentée a l' Ecole Polytechnique Federale du Zurich.

SOBRE LOS AUTORES

JUAN PABLO BERTELLO (ORCID: 0009-0009-3340-841X). Es Ingeniero Químico por la UTN FRVM y Magister en Viticultura y Enología por la UNCu. Actualmente se desempeña como docente y coordinador de la carrera de Ingeniería en Alimentos de la UNVM y de la Diplomatura en Viticultura y Enología (UNVM-INTA Mendoza-Udelar). Ha publicado los siguientes trabajos académicos: “Multicriteria viticultural climate zoning of the Sierras Pampeanas Cordobesas (2002-2022) using satellite data”. *Agrociencia Uruguay*. <https://doi.org/10.31285/AGRO.29.1536> (2025); “Revisión de las características de la fruta del arándano y su potencial uso en la elaboración de una bebida espumante por el método tradicional francés”. FCA UNCú (2014); “Zonificación climática vitivinícola multicriterio de las sierras pampeanas cordobesas mediante la utilización de datos satelitales”. FCA UNCú (2024).

Contacto: jbertello@unvm.edu.ar

JORGE ALEJANDRO PRIETO (ORCID: 0000-0002-1896-9456). Es Ingeniero Agrónomo por la FCA de la UNCuyo y Doctor en Biología Integrada de Plantas del Institut SupAgro Montpellier, Francia. Actualmente es investigador en ecofisiología de la vid en la EEA Mendoza del INTA y docente de grado y posgrado en la UMaza y UNCuyo. Ha publicado más de 40 trabajos científicos en revistas internacionales, más de 100 trabajos en congresos y 3 capítulos de libro. Ha formado recursos humanos dirigiendo tesis de doctorado, de maestría y de grado. Su actividad de investigación se centra en la respuesta de la vid a factores ambientales y de manejo y en la caracterización, conservación y valorización de los recursos genéticos en vid.

Contacto: prieto.jorge@inta.gob.ar / LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/jorge-a-prieto-18402b39/>
ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Prieto-8?ev=prf_overview

GUSTAVO GABRIEL OVANDO (ORCID: 0000-0002-6015-404X). Es Ingeniero Agrónomo por la Universidad Nacional de Córdoba, Magíster en Agrometeorología y Doctor en Ciencias Agropecuarias. Actualmente se desempeña como Profesor Asociado e Investigador en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina). Sus líneas de investigación se centran en la agrometeorología, la agricultura digital, la teledetección, la modelización de cultivos, el cambio climático y la aplicación de inteligencia artificial al monitoreo ambiental y la producción agrícola. Es autor y coautor de numerosos artículos científicos publicados en revistas internacionales de alto impacto y participa activamente como revisor de revistas científicas y en proyectos de investigación nacionales e internacionales.

Contacto: gugovan@agro.unc.edu.ar

GUSTAVO ALBERTO ALIQUÓ (ORCID: 0000-0002-5429-0467). Es Ingeniero Agrónomo y M. Sc. en Viticultura y Enología por la Universidad Nacional de Cuyo. Actualmente se desempeña como investigador en INTA Mendoza y docente en la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCu. Ha publicado los siguientes trabajos académicos: "Identity and Parentage of Some South American Grapevine Cultivars Present In Argentina", (2017) *Australian Journal of Grape and Wine Research*. Wiley-blackwell publishing, vol.23 n°3. p452 - 460. issn 1322-7130; "Identification and Recovery of Local Vitis vinifera l. Cultivars Collected in Ancient Vineyards in Different Locations of Argentina". (2022). *Australian Journal of Grape and Wine Research*. DOI: 10.1111/ajgw.12561; "Autochthonous Grapevine Varieties from Argentina" (2024), *In Latin American Viticulture Adaptation to Climate Change: Perspectives and Challenges of Viticulture Facing up Global Warming* (pp. 171-188). Cham: Springer International Publishing.

Contacto aliquo.gustavo@inta.gob.ar

La Editorial Universitaria Villa María le agradece la
atención dedicada a este libro.

Esperamos que haya disfrutado de la lectura e
invitamos a visitarnos en

www.eduvim.com.ar

donde encontrará más información
sobre nuestras publicaciones.

Si lo desea, puede escanear el siguiente código QR,
donde encontrará acceso a nuestras redes.



La viticultura en la provincia de Córdoba atraviesa un período de clara expansión y búsqueda de identidad en sus *terroirs*. Sin embargo, la heterogeneidad topográfica y microclimática de las serranías plantea desafíos complejos que requieren un abordaje científico preciso.

Caracterización climática vitivinícola de diferentes regiones cordobesas surge como una obra clave para descifrar el potencial bioclimático de la región. Fruto de un trabajo colaborativo entre especialistas de la Universidad Nacional de Villa María, la Universidad Nacional de Córdoba y el INTA Mendoza, este libro analiza en profundidad el comportamiento climático de Calamuchita-Paravachasca, Traslasierra, Colonia Caroya, Punilla, el Norte cordobés y Cruz del Eje.

Ante la escasez de registros meteorológicos continuos en zonas de montaña, la investigación adopta una metodología innovadora basada en teledetección satelital (MODIS e IMERG) durante más de dos décadas (2002–2025). A través del Sistema de Clasificación Climática Vitivinícola Multicriterio, se evalúan índices heliotérmicos, frescor nocturno y sequía, ponderando además eventos críticos de heladas y estrés térmico en maduración.

Dirigido a ingenieros agrónomos, enólogos, productores, investigadores y planificadores territoriales, este volumen entrega un atlas riguroso para la toma de decisiones estratégicas: desde la selección de variedades hasta la gestión de riesgos y la puesta en valor del «enoturismo» regional. Un aporte indispensable para consolidar la vitivinicultura cordobesa con respaldo científico e identidad propia.

ISBN 978-987-699-961-8



Universidad
Nacional
Villa María