



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Tesis de Maestría

**Zonificación Climática Vitivinícola Multicriterio de las Sierras  
Pampeanas Cordobesas mediante la utilización de datos satelitales**

MAESTRÍA EN VITICULTURA Y ENOLOGÍA

Autor: Ing. Juan Pablo Bertello

Directora: Dra. Milka Ferrer

Codirector: Dr. Gustavo Ovando

Mendoza, 4 de Octubre de 2024

### Agradecimientos:

A la Dra. Milka Ferrer y el Dr. Gustavo Ovando por sus correcciones, sugerencias, enseñanzas y consejos. Siempre amables y dispuestos a reunirse.

A Milka, una pionera y referente en la temática. En particular, sus revisiones y análisis de los resultados de la zonificación climática fueron fundamentales para ordenar la presentación de la información.

A Gustavo, un gran docente e investigador. Sus *script* en Python y sus sugerencias en QGIS fueron claves para el desarrollo y finalización del trabajo.

A la Mgter. Laura Martínez, Dr. Rodrigo López Plantey y al Dr. Ramiro Tachini por el tiempo dedicado a la corrección de este trabajo y por sus oportunas indicaciones y comentarios.

A la ESIL y a la UNVM por permitirme ordenar mis horarios de clases y actividades laborales para que pueda cursar las asignaturas de la Maestría y realizar esta tesis.

A todo el personal docente y no docente de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNCuyo por su amabilidad, profesionalismo y permanente buena disposición para con sus estudiantes.

A Sandra. Por su amor, paciencia y compañerismo.

A mis hijos Marina, Simón, Francisco y Julieta que le dieron sentido a mi vida.

## RESUMEN

Para estudiar el potencial climático vitivinícola de las Sierras Pampeanas Cordobesas, entre 2002-2022, se calcularon e integraron los índices Heliotérmico (IH), de Sequía (IS) y el de Frescor Nocturno (IF); las temperaturas máximas promedio, las precipitaciones (pp), evapotranspiración potencial (ETo), amplitud térmica (AT) y fechas de heladas tempranas y tardías. Para estimar la temperatura del aire se utilizan los productos MOD11A1/A2 y MYD11A1/A2 de buena calidad ( $Q_c = 0$ ), el producto MOD16A2GF para ETo e IMERG-DF para pp. Los Climas Vitivinícolas identificados se evalúan, geolocalizan y delimitan mediante SIG. Los resultados identifican veinte climas vitícolas, clasificándolos en tres grupos: a) Con limitaciones térmicas: 30% del área de estudio IH -3, IF +2 o temperaturas máximas promedio  $> 30^\circ\text{C}$ ; b) Con altas temperaturas nocturnas: 63% del área de estudio IH +1, IF -1, IS +1; c) 7% del área de estudio sin limitaciones térmicas IH -1 e IH +1, IF +1, IS +1 e IS -1. Los grupos b y c registran pp y temperaturas medias que presuponen riesgo de enfermedades criptogámicas en maduración de las bayas, AT:  $12-14^\circ\text{C}$ , las medianas de las heladas tardías entre 15/09 y 26/09 y de las heladas tempranas después del 05/05. El método desarrollado permitió una zonificación climática de las Sierras Pampeanas Córdoba a escala regional, pero es necesario confirmar el clima vitícola local mediante la realización de estudios in situ.

Palabras claves: Climas vitícolas, Heladas, Sensores remotos, SIG, Zonificación

## ABSTRACT

To study the wine climate potential of the Sierras Pampeanas Cordobesas, between 2002-2022, the Heliothermal (HI), Dryness (DI) and Cool Night (CI) index were calculated and integrated; average maximum temperatures, precipitation (pp), potential evapotranspiration (ETo), thermal amplitude (AT) and early and late frost dates. To estimate the air temperature, the MOD11A1/A2 and MYD11A1/A2 products of good quality ( $Q_c = 0$ ), the MOD16A2GF product for ETo and IMERG of GPM for pp were used. The identified viticulture Climates were evaluated, geolocated and delimited using GIS. The results identify twenty viticultural climates, classifying them into three groups: a) With thermal limitations: 30% of the study area IH -3, IF +2 or average maximum temperatures  $> 30^{\circ}\text{C}$ ; b) With high night temperatures: 63% of the study area IH +1, IF -1, IS +1; c) 7% of the study area without thermal limitations IH -1 and IH +1, IF +1, IS +1 and IS -1. Groups b and c record pp and average temperature that presuppose a risk of cryptogamic diseases during berry ripening, AT:  $12-14^{\circ}\text{C}$ , the medians of late frosts between 09/15 and 09/26 and of early frosts after 05/05. The developed method allowed climatic zoning of the Sierras Pampeanas Cordobesas on a regional scale, but it is necessary to confirm the local viticultural climate by carrying out in situ studies.

Keyword: Viticultural climates, Frosts, Remote sensors, GIS, Zoning

## ÍNDICE

1.Introducción .....	1
1.1. – Antecedentes .....	1
1.1.1. – Situación actual de la viticultura en Córdoba ...	1
1.1.2. - Regiones naturales de Córdoba .....	2
1.1.2.1. – Sierras del sur .....	3
1.1.2.2. – Bolsón chaqueño .....	7
1.1.2.3. – Faldeo y depresión interserrana .....	7
1.1.2.4. – Llanura chaqueña .....	8
1.1.2.5. – Sierras del norte .....	8
1.1.2.6. – Pampa loésica alta .....	9
1.1.2.7. – Pampa arenosa alta .....	9
1.1.3. – Dinámica hídrica de las sierras de Córdoba .....	10
1.2. - Marco teórico .....	11
1.2.1. – Complejidad espacial y dinámica climática en viticultura .....	12
1.2.2. - El clima y su influencia sobre el rendimiento y composición de la baya .....	14
1.2.2.1. - Radiación solar .....	15
1.2.2.2. - Estado hídrico de la planta .....	17
1.2.2.3. - Influencias de las bajas temperaturas durante el período vegetativo .....	18
1.2.2.3.1. – Estrés por frío .....	18
1.2.2.3.2. – Heladas .....	19
1.2.2.4. - Influencias de las temperaturas elevadas durante el período vegetativo de la vid .....	22

1.2.3. – El clima y su influencia sobre la composición de la baya de uva .....	24
1.2.3.1. – Azúcares .....	24
1.2.3.2. - Ácidos orgánicos .....	25
1.2.3.3. - Compuestos aromáticos .....	25
1.2.3.4. – Compuestos fenólicos .....	26
1.2.4. – Sanidad de la planta .....	27
1.2.5. - Zonificación climática vitícola .....	27
1.2.5.1. – Índice heliotérmico (IH).....	28
1.2.5.2. – Índice del frescor nocturno (IF).....	29
1.2.5.3. – Índice de sequía (IS).....	29
1.2.5.4. – Consideraciones sobre las variables climáticas .....	29
1.2.5.5. – Clasificación climática multicriterio .....	31
1.3. – Hipótesis .....	31
1.4. – Objetivo principal .....	32
1.5. – Objetivos Específicos .....	32
2. - Materiales y métodos .....	32
2.1. – Zona de estudio.....	32
2.1.1. – Ubicación geográfica .....	32
2.1.2. – Clima .....	33
2.1.2.1. – Tipos de climas .....	33
2.1.2.2. - Temperaturas medias anuales .....	34
2.1.2.3. – Precipitaciones .....	35
2.1.2.4. – Granizo .....	35
2.1.2.5. – Evapotranspiración potencial anual .....	36
2.2. – Índices bioclimáticos .....	37

2.2.1. – Cálculo del IH y de IF.....	37
2.2.1.1. – Cálculo del IH .....	37
2.2.1.2. – Cálculo del IF.....	39
2.2.1.3. – Metodología de cálculo de los índices términos .....	40
2.2.2. – Índice de Sequía .....	46
2.2.2.1. – Metodología de cálculo del Índice de Sequía .....	49
2.2.3. – Clasificación climática multicriterio geovítica .....	50
2.2.4. – Agrupamientos de los climas vitícolas .....	51
2.2.5. – Variación interanual de las variables meteorológicas estudiadas .....	51
2.3. – Riesgo climático asociado a las heladas .....	52
2.4. – Riesgo climático relacionado con el calor extremo .....	53
2.5. – Riesgo climático asociado a enfermedades criptogámicas.....	53
2.6.- Distribución temporal de las pp y de la ETo durante el período vegetativo de la vid .....	53
2.7. – Validación de resultados .....	53
3. – Resultados .....	54
3.1. – Determinación de los climas vitícolas .....	54
3.2. – Valores máximos, mínimos y medios de los índices bioclimáticos para cada clima vitícola .....	55
3.2.1. - IH por clima vitícola .....	55
3.2.1.1. – Referencia comparativa del IH .....	56
3.2.2. – IF por clima vitícola .....	58
3.2.2.1. – Referencia comparativa del IF .....	59
3.2.3. - IS por clima vitícola .....	60
3.2.3.1. – Referencia comparativa del IS .....	62
3.3. – Temperaturas máximas por clima vitícola .....	63

3.3.1. – Referencia comparativa de las temperaturas máximas .....	65
3.4. – ETo respecto a pp por clima vitícola .....	66
3.5. – Agrupamiento de los climas vitícolas .....	68
3.5.1. – Regiones con climas vitícolas con limitaciones térmicas severas .....	69
3.5.2. – Regiones con climas vitícolas que presentan temperaturas mínimas elevadas en el mes previo a la cosecha .....	72
3.5.3. – Regiones que presentan buenas condiciones térmicas para la vitivinicultura .....	74
3.6. - Heladas tempranas y tardías .....	78
3.6.1. – Estadísticos descriptivos de las heladas tempranas por climas vitícolas .....	78
3.6.2. – Estadísticos descriptivos de las heladas tardías por climas vitícolas .....	80
3.6.2.1. – Referencias comparativas de las fechas de las heladas tardías .....	82
3.7. - Estadísticos descriptivos de la AT y Tmed en el mes previo de la cosecha .....	82
4. – Discusión .....	84
5. – Conclusión .....	87
6. – Bibliografía .....	88

## TABLAS

1.1. – Momento de brotación de diferentes variedades de vid .....	21
1.2. – Temperatura crítica para causar muertes de yemas en diferentes estados fenológicos .....	22
1.3. – Necesidades heliotérmicas de algunas variedades de vid para su maduración .....	29
2.3. - Coeficiente “d” largo del día de acuerdo a la latitud .....	37



2.4. – Clases de climas vitícolas según el IH .....	38
2.5. – Clases de climas vitícolas según el IF.....	39
2.6. – Clases de climas vitícolas según el IS .....	48
2.7. – Datos de las estaciones del SMN instaladas en el área de estudio.	54
3.8. – Índices bioclimáticos de cada clima vitícola .....	54
3.9. – Estadísticos descriptivos del IH .....	55
3.10. – Comparación del IH calculado con MODIS respecto a SMN.....	57
3.11. - Estadísticos descriptivos del IF .....	58
3.12. - Comparación del IF calculado con MODIS respecto a SMN .....	60
3.13. – Estadísticos descriptivos del IS .....	61
3.14. - Comparación del IS calculado con sensores remotos respecto a SMN .....	63
3.15. – Estadísticos descriptivos de la temperatura máxima del aire .....	64
3.16. – Comparación de las temperaturas máximas calculadas con MODIS respecto a SMN .....	66
3.17. – Comparación de las medias de pp respecto a ETo por clima vitícola .....	67
3.18. – Agrupamiento de los climas vitícolas .....	69
3.19. - Estadísticos descriptivos de fechas de heladas tempranas.....	78
3.20. - Estadísticos descriptivos de las fechas de las heladas tardías .....	80
3.21. –Referencias comparativas de las fechas de heladas tardías con MODIS respecto al SMN .....	82
3.22. – Estadísticos descriptivos de la AT por clima vitícola .....	82

## FIGURAS

1.1. – Regiones naturales de Córdoba .....	3
1.2. - Ubicación de la región natural “sierras del sur”, ubicación de las subregiones dentro de las sierras del sur y perfil topográfico de los tres cordones montañosos de las sierras pampeanas cordobesas .....	4

1.3. - Relación entre intensidad lumínica y fotosíntesis .....	17
1.4. – Variación de la temperatura letal (LT50) en yemas .....	20
1.5. – Relación entre las PP en el mes previo a la cosecha y el % de uvas afectadas por <i>Botrytis Cinerea</i> .....	27
2.6. – Ubicación geográfica de la zona de estudio .....	33
2.7. – Tipos de climas en Córdoba .....	34
2.8. – Temperatura media anual en Argentina y Córdoba .....	34
2.9. – Isohietas en Argentina y Córdoba .....	35.
2.10. – Frecuencia porcentual mensual y promedio anual de eventos de caída de granizo en Córdoba .....	36
2.11. – ETo anual en Córdoba .....	37
2.12. – Tipos de productos MODIS .....	44
2.13. – Diagrama de flujo para el cálculo de IH .....	45.
2.14. - Diagrama de flujo para el cálculo de IF .....	46
2.15. - Diagrama de flujo para el cálculo de IS .....	50
2.16. - Diagrama de flujo para determinar fechas heladas tempranas y tardías .....	52
3.17. – IH por clima vitícola .....	56
3.18. – IF por clima vitícola .....	59
3.19. - IS por clima vitícola .....	62
3.20. – Temperaturas máximas del aire por clima vitícola .....	65
3.21. – pp respecto a ETo .....	68
3.22. – Regiones con climas vitícolas con limitaciones térmicas severas (Climas n° 2, 5, 9, 15, 17, 19 y 20) .....	70
3.23. – Variación interanual del IH en el Clima n° 2.....	70
3.24. – Variación interanual de Temperatura máxima en el Clima n° 2....	71
3.25. – Variación interanual del IF en el Clima n° 2.....	71
3.26. – Variación interanual del IH en el clima n° 9 .....	71
3.27. – Variación interanual del IF en el clima n° 9 .....	72

3.28. – Regiones con climas vitícolas que presentan temperaturas mínimas elevadas en el mes previo a la cosecha (climas n° 1, 3, 4, 6 y 7).....	73
3.29. – Variación interanual del IH del clima n° 1 .....	73
3.30. – Variación interanual del IF del clima n° 1 .....	73
3.31. – Variación interanual de las pp del clima n° 1 .....	74
3.32. - Variación interanual de Temperatura máxima en el Clima n° 1 ...	74
3.33. - pp respecto a ETo en el clima n° 1 .....	74.
3.34. – Regiones que presentan buenas condiciones térmicas para la vitivinicultura (climas n° 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16 y 18) .....	75
3.35. – Variación interanual del IH del clima n° 8 .....	76
3.36. – Variación interanual del IF del clima n° 8 .....	76
3.37. – Variación interanual de las pp del clima n° 8 .....	76
3.38. – pp respecto a ETo en el clima n° 8 .....	76
3.39. – Variación interanual del IH del clima n° 10 .....	77
3.40. – Variación interanual del IF del clima n° 10 .....	77
3.41. – Variación interanual de las pp en el clima n° 10 .....	77
3.42. – pp respecto a ETo en el clima n° 10 .....	77

## 1. Introducción

### 1.1. - Antecedentes

La vid (*Vitis vinifera* L.) tiene una rica distribución geográfica, que abarca, en la actualidad, más de setenta países. Dada la diversidad genética de las variedades de vid, se puede cultivar en diversos climas, que van desde el mediterráneo (p. ej., la cuenca del mediterráneo) a continental (p. ej., Hungría), oceánico (p. ej., Nueva Zelanda), condiciones subtropicales (p. ej., Argentina) y subtropicales húmedas (p. ej., Argentina y Uruguay) (Neethling *et al.*, 2019).

La historia de la vitivinicultura argentina se remonta a la época de la colonización, ya que el cultivo de la vid estaba estrechamente unido con las prácticas agrícolas del colono español. A mediados del siglo XVI, los conquistadores llevaron al Cuzco las primeras plantas de vid, de la especie *Vitis vinifera*. Desde allí fue conducida a Chile en 1551 y luego introducida a la Argentina por vecinos de Santiago del Estero, seis años después. Desde esta provincia se propagó el cultivo hacia el centro, oeste y noroeste del país. Durante la segunda mitad del siglo XX, Córdoba logra consolidar una industria vitivinícola con alcance nacional. De las 1.000 empresas vitivinícolas que había en Argentina, Córdoba albergaba la 7° empresa en capacidad de producción, la Cooperativa Vitivinícola “La Caroyense”. En la década de los 80, sin ser una región mundialmente famosa como Mendoza, Córdoba tenía una industria vitivinícola centenaria y desarrollada. Para describir el comportamiento general de la industria vitivinícola de Córdoba respecto de la evolución nacional se debería destacar que hasta la década de los noventa la industria de Córdoba y la Nacional tenían las mismas tendencias y distinta intensidad: disminución de hectáreas de viñedos, de productores vitícolas y de establecimientos elaboradores de vino. En Córdoba esta tendencia fue más violenta, ingresando al Siglo XXI habiendo perdido el 90% de su capacidad vitivinícola (Papalini, 2016).

#### 1.1.1. – Situación actual de la vitivinicultura en la provincia de Córdoba

La provincia de Córdoba presenta una superficie implantada de vid de 245,1 ha de las cuales el 93,6 % se destina a la elaboración de vino. Las variedades tintas principalmente son Malbec y Pinot Noir y blancas principalmente Sauvignon blanc y Chardonnay. En su mayoría son viñedos jóvenes de menos de 20 años de implantados, con un tamaño medio de 2,2 ha donde el sistema de conducción elegido es en un 86 % en espaldero (INV, 2023).

En cuanto a la producción de vid, se destaca el departamento Colón, aunque con viñedos de menor superficie que el promedio provincial, Ischilín, con los viñedos de mayor superficie, San Javier y Cruz del Eje. Cabe resaltar que en los últimos años se ha modificado la geografía vitícola provincial en detrimento de las zonas clásicas y cobrando mayor impulso regiones como Traslasierra – especialmente departamento San Javier- y Calamuchita como ejes pujantes de esta actividad. Estas regiones poseían en conjunto el 0,6% del área cultivada con vid en 2008, y actualmente concentran casi el 10%. Otras áreas se han adentrado en este cultivo recientemente como son Tulumba, San Alberto y Punilla. Se observan potencialidades para el desarrollo del enoturismo, dada la gran concurrencia de turistas a las zonas donde hay implantados viñedos o en donde potencialmente se podrían implantar y la existencia de una infraestructura turística bien desarrollada, lo cual se esgrime como un óptimo canal de comercialización, que sin descartar los canales tradicionales de venta, en un mercado cada vez más competitivo, permitiría facilitar las ventas en bodega (CFI, 2015).

Las zonas en donde existe actividad vitivinícola están ubicadas en las Sierras Pampeanas Cordobesas, en sus piedemontes y valles en donde se observan diferentes territorios de características contrastantes entre ellos ya que hay sectores de climas secos, semidesérticos y húmedos; además poseen numerosos espejos de agua naturales y artificiales. Una herramienta para mostrar estas diferencias es el describir las regiones naturales que se encuentran en ella.

Por otra parte, las dificultades que se observan en las Sierras Pampeanas Cordobesas en cuanto a la disponibilidad del agua ya sea para consumo de la población o su uso en la agricultura, ameritan un breve análisis al respecto.

#### 1.1.2. – Regiones naturales de la provincia de Córdoba

Las Regiones naturales se conforman sobre la base de elementos de juicio múltiples como la vegetación, la geomorfología y los suelos (de la Casa *et al.*, 2019). Las que están contenidas en el área de estudio se observan en la Figura n° 1.1.

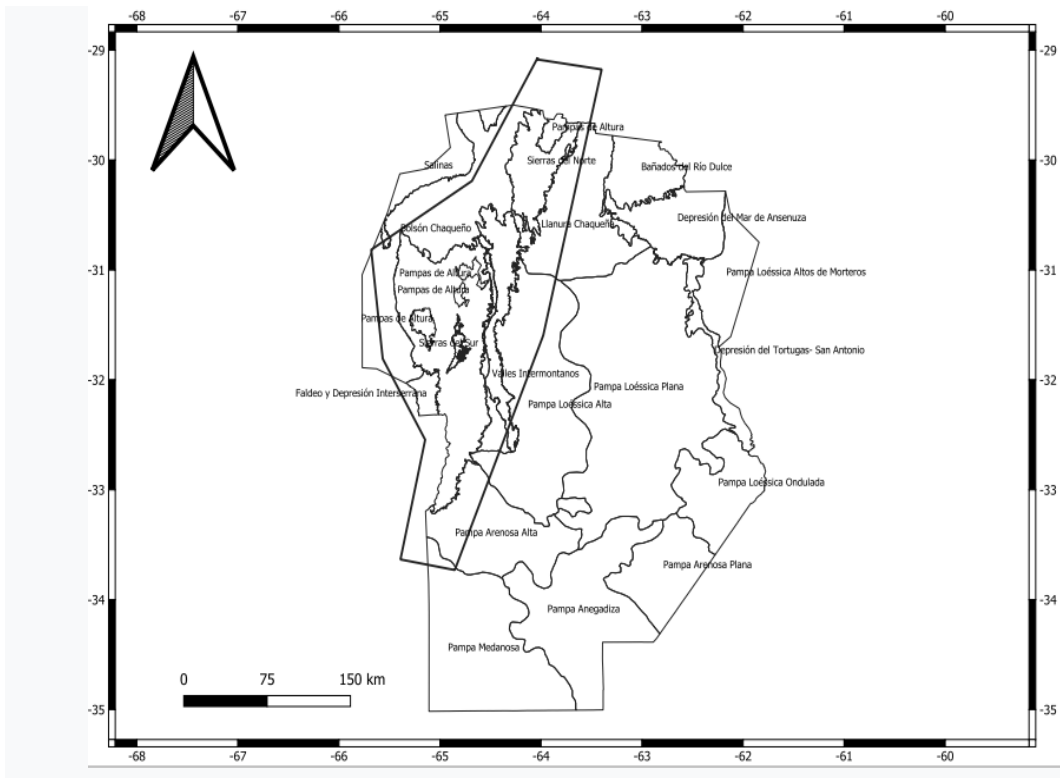


Figura n° 1.1. - Regiones naturales de Córdoba presentes en el área de estudio. Fuente: IDECOR

Las características de estas regiones naturales son las siguientes:

1.1.2.1. - Sierras del sur:

La totalidad de los cordones serranos que forman esta región natural están comprendidos en el área de estudio y es la de mayor superficie abarcando 21.136 km<sup>2</sup>. Todos tienen la típica morfología asimétrica de las Sierras Pampeanas y constituyen el cuerpo principal de la región serrana de Córdoba. Por tratarse de la región natural con la topografía más diversa y la de mayor superficie dentro del área de estudio, se presenta esta región en la Figura n° 1.2. donde es posible observar en (a) la ubicación relativa de esta región natural y en (b) las subregiones que la componen indicadas con las siglas correspondientes.

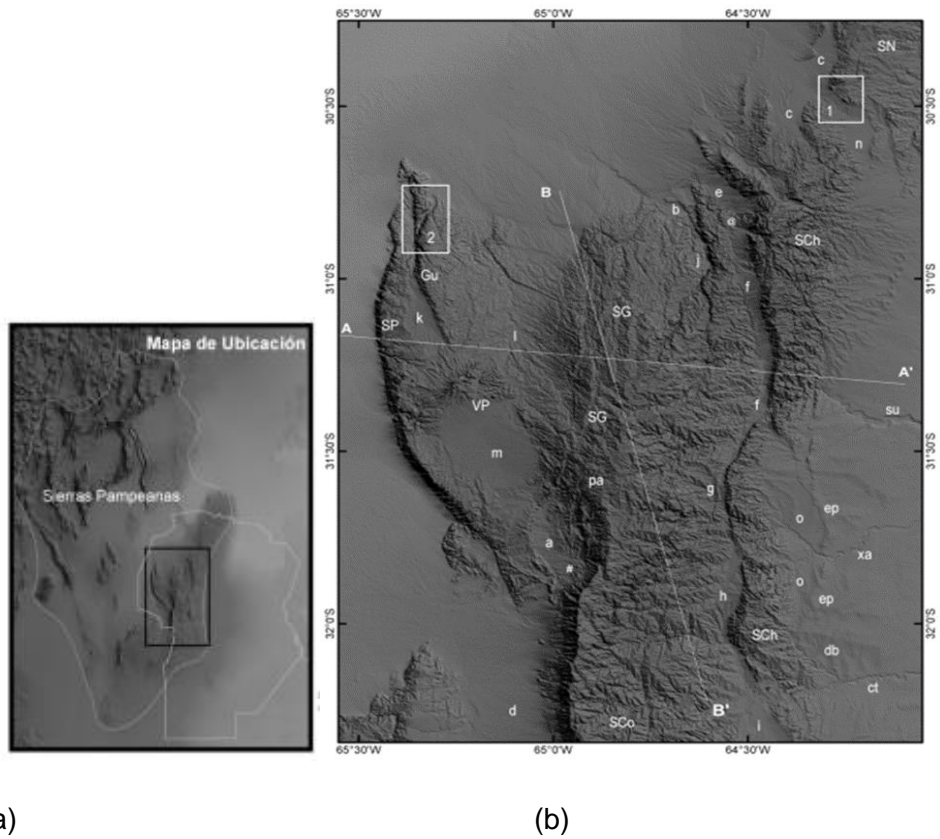


Figura n° 1.2. - (a) Ubicación de la región natural “Sierras del Sur”, (b) Ubicación de las subregiones dentro de las Sierras del sur y ( c ) Perfil topográfico de los tres cordones montañosos de las Sierras Pampeanas Cordobesas. Fuente: Carignano *et al*, 2014

A excepción de las pampas de altura, su relieve en general es escarpado, presentando una ladera occidental corta y abrupta y una ladera oriental con mayor extensión areal y menor gradiente topográfico como se visualiza en la Figura n° 1.2. (Carignano *et al*, 2014). Las áreas de relieve escarpado ocupan aproximadamente el 70 % de la superficie de todo el ambiente serrano y constituyen las nacientes de los cursos de agua más importantes, que descargan tanto hacia la vertiente oriental como hacia la occidental. Dentro de las Sierras del sur es posible identificar las siguientes subregiones:

- **Sierras Grandes (SG):** Situada paralelamente al Oeste de las Sierras Chicas, es el cordón de mayor extensión transversal y de mayor altura de las Sierras de Córdoba (Cerro Champaquí 2.790 metros snm y los Gigantes 2.374 metros snm).

- **Sierras Chicas (SCh):** Cordón orientado de norte a sur, comienza al Norte con la Sierra de Masa y termina al Sur con la Sierra de Las Peñas. Hacia el Oeste está limitado por los valles de Punilla y Calamuchita y al Este por un piedemonte. Su extremo altitudinal es el Cerro Uritorco que alcanza los 1.950 metros snm.

- **Sierras Occidentales o Sierras de Pocho (SP):** Consisten en una serie muy compleja de formas escarpadas y muy colinadas. Dentro de este paisaje se destaca el complejo eruptivo de Pocho.

- **Pampas de Altura:** Localmente se emplea el término "pampa" para designar a las superficies más o menos planas y contrastantes con lo escarpado del paisaje circundante, con cobertura de suelo continua y vegetación herbácea. Los niveles de altitud a que se encuentran establecen diferencias entre ellas: Pampa de Achala (2.000 metros snm), de San Luis (1.900 metros snm), Olaen (1.000 metros snm) y Pocho (m) (1.500 metros snm).

- **Piedemonte:** La zona piedemontana se caracteriza por un relieve fuertemente ondulado, con pendientes del orden del 12 %. El piedemonte oriental está destinado al uso ganadero y constituye la frontera Oeste del avance de la agricultura. Estas condiciones lo convierten en un ambiente de alta susceptibilidad a la erosión fundamentalmente hídrica. La vegetación se distribuye a lo largo del gradiente altitudinal formando pisos o "zonas de vida", aunque esa secuencia de pisos está casi totalmente modificada por la actividad antrópica. Algunas especies de árboles de la planicie, como quebracho blanco, algarrobo blanco, espinillos, chañar y tala, ascienden por las quebradas y fondos de valles hasta altitudes propias de la vegetación serrana. Entre los 500 metros y 1300 metros snm, se desarrolla el "bosque serrano" con las alteraciones provocadas por las actividades humanas, está dominado por molle (*Lithrea molleoides*), coco, y orco quebracho o quebracho de las sierras. Los arbustos presentes son espinillos, aromitos, garabatos, piquillín de las sierras y manzano del campo. Las especies de hierbas más frecuentes son los helechos como doradilla, acompañados por numerosas dicotiledóneas herbáceas y gramíneas. A medida que se asciende, los elementos del bosque serrano van disminuyendo en tamaño y en densidad, confundiéndose



con el matorral serrano o romerillar. Por arriba de las comunidades de bosque y matorral serranos, a partir de los 1.000 metros de altitud, se presentan los pastizales y bosquecillos de altura. En las quebradas que descienden desde las sierras hacia el Este y el Oeste, especialmente desde la Pampa de Achala se presentan en sitios escasos, bosques de tabaquillo, rosácea arbórea de corteza rojiza y caediza (Agencia Córdoba D.A.C.yT. - Dirección de ambiente, 2003)

- **Valles Intermontanos:** Son valles longitudinales y transversales a la orientación general de los cordones serranos. Los que se sitúan entre:

• Las Sierras Occidentales y las Sierras Grandes:

# **Valle de San Javier (d)** al pie del Champaqui y Sierra de Comechingones (SCo), es ampliamente abierto hacia la planicie de San Luis.

# **Valle de Nono (d)**

Estos dos valles forman parte de la Región natural del Faldeo y Depresión interserrana descrita en el punto 1.1.2.3.

# **Valle de San Alberto o de Mina Clavero (a)**

# **Valle de Salsacate o de San Carlos (l):**

Estos dos valles están ubicados entre el ramal norte de la Sierra Grande y la cadena de Guasapampa

• Las Sierras Grandes y las Sierras Chicas:

# **Valle de Punilla (f):** Valle longitudinal de una longitud de 70 kilómetros y su punto más bajo es el Embalse San Roque, donde el río Suquía atraviesa las Sierras Chicas.

# **Valle de Los Reartes (g):** Al Sur del Valle de Punilla.

# **Valle de Calamuchita (h):** Es el más extenso de los valles serranos y tiene su punto más bajo en el Embalse del Río Tercero

# **Valle de La Cruz (i):** es una continuación del Valle de Calamuchita hacia el Sur, que se abre ampliamente en esa misma dirección hasta confundirse con la llanura. Su flanco oriental lo constituyen las Sierras de Los Cóndores y Las Peñas y la ladera occidental las Sierras Grandes.

### 1.1.2.2. - El bolsón chaqueño

Está emplazado al Oeste de las Sierras Occidentales o de Pocho y al Norte de los Valles intermontanos y las últimas estribaciones de las Sierras Chicas y al Oeste de las Sierras del Norte. Este bolsón abarca aproximadamente 10.000 km<sup>2</sup> del área de estudio.

En cuanto a su vegetación, se observa la presencia de bosques xerofíticos de 8 a 15 m de altura, dominado por quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), algarrobo negro (*Prosopis Nigra*), mistol (*Zizyphus mistol*), brea (*Parkinsonia praecox*), tintitaco (*Prosopis torquata*) y otros árboles y arbustos de menor porte. La mayor cobertura (hasta el 80 %) está dada por los arbustos y se compone de numerosas especies entre las que sobresalen jarilla (*Larrea cuneifolia*), piquillín (*Condalia microphylla*), atamisque (*Capparis atamisquea*), tala (*Celtis ehrenbergiana*), churqui (*Prosopis ferox*), abriboca (*Maytenus spinosa*), chañar (*Geoffroea decorticans*). El tipo de hierbas son los pastos megatérmicos, es decir aquellos que crecen en climas tropicales o subtropicales, como *Trichloris spp.*, *Setaria spp.*, *Pappophorum spp.*, *Aristida spp.*, *Sporobolus spp.* y *Gouinia spp.*. El bosque de quebracho blanco ha sido sin lugar a dudas la comunidad predominante en todo el territorio del Chaco Árido de Argentina hasta comienzos del siglo XX, cuando el trazado de la red ferroviaria en el Oeste de Argentina, promovió la explotación irracional de estos ecosistemas. En las últimas décadas los incendios producidos para estimular el rebrote de pastos, han contribuido significativamente a reducir la superficie de bosques (Agencia Córdoba D.A.C.yT. - Dirección de ambiente, 2003).

### 1.1.2.3. - Faldeo y depresión interserrana

Se ubica en la zona Centro-Oeste de la Provincia de Córdoba y norte de San Luis, en el valle del Río Conlara. Comprende las terrazas y faldeos que se encuentran entre las sierras de San Luis y Comechingones. Abarca una superficie aproximada de 3000 km<sup>2</sup> en el área de estudio. Es posible identificar dos subregiones:

# **Valle de Conlara** propiamente dicho, asociado al curso medio y bajo del río homónimo

# **Valle de Traslasierra** ubicados en el extremo Sur de las Sierras Occidentales y la vertiente occidental de la Sierra Grande, comprende los valles

de Nono, y el de San Javier, al pié del Cerro Champaquí y la Sierra de Comechingones, abierto al Sudoeste hacia la planicie de San Luis.

Hay bosques de algarrobo, quebracho blanco, alternan con matorrales de jarilla, piquillín y otros arbustos . En el faldeo serrano se presentan comunidades de molle. En la porción superior se extienden pajonales dominados por gramíneas.

#### 1.1.2.4. – Llanura chaqueña

Comprende la llanura extraserrana oriental, que se extiende desde el Norte de la Provincia por el faldeo oriental de las Sierras del Norte a los 500 metros snm; hacia el Este hasta la depresión del Mar de Ansenúza y hacia el Sur abarcando una superficie de aproximadamente 3000 km<sup>2</sup> dentro del área de estudio. La llanura comienza en el piedemonte distal del Este de las Sierras del Norte, el que paulatinamente va dando lugar a una planicie para terminar contra el borde de la depresión del Mar de Ansenúza. De la región serrana descienden numerosos arroyos, algunos con caudal apreciable, pero la mayoría desaparece por infiltración y uso consuntivo. La región estaba cubierta por un bosque xerófilo de 12 a 20 m de altura dominado por quebracho blanco, quebracho colorado santiagueño (*Schinopsis lorentzii*), itín o barba de tigre (*Prosopis kuntzei*). Este bosque se extendió por toda la planicie oriental hasta mediados o finales del siglo XIX, aunque ha sido prácticamente eliminado y se conservan sólo parches aislados, que no superan el 15 % de la extensión original. Hacia el Sur desaparecen gradualmente las especies más importantes del bosque (Agencia Córdoba D.A.C.yT. - Dirección de ambiente, 2003).

#### 1.1.2.5. - Sierras del norte

Esta región, que abarca una superficie de aproximadamente 6000 Km<sup>2</sup>, está integrada por dos cordones:

- el Oriental, más extenso y compacto, donde se destaca la Sierra de San Pedro, que se prolonga hacia el Norte con la Sierra de Ambargasta y hacia el Sur con la Sierra de Macha, separadas por el Valle de San Pedro y al Este con la Sierra de Sauce Punco.

- El Occidental, lo forman largas y estrechas serranías como Quilino, Orcosumi y otras más pequeñas como la Loma del Durazno, Los Cerrillos, Higueras, Las Lomitas e Ischilín.

Ambos cordones montañosos poseen una alineación Norte-Sur que escasamente superan los 1.000 metros de altitud y delimitan un área central de relieves menos escarpados y con apariencia de mesetas. Se destacan tres pisos altitudinales de vegetación constituidos por bosques, matorrales y pastizales.

#### 1.1.2.6. - Pampa loéssica alta

Se ubica al sudoeste de las Sierras Chicas abarcando un área de aproximadamente 3000 km<sup>2</sup> dentro del área de estudio. Posee un gradiente altitudinal de 600 a 200 metros snm, y un relieve que varía desde ondulado a plano. La región está surcada por ríos y arroyos que nacen en la región serrana. Las prácticas forestales y agropecuarias han llevado a la desaparición de gran parte de los bosques nativos de esta región, aunque algunas áreas remanentes aisladas y de poca extensión, han permitido reconstruir parcialmente, las características del bosque que la constituía. Aún se encuentran de la vegetación original bosques bajos, de algarrobo blanco y algarrobo negro como especies dominantes. En el sector septentrional suelen estar acompañadas por quebracho blanco, mistol, itín y chañar. Se observan también manchones reducidos de Palmera caranday (*Trithrinax campestris*) en el sector Norte y oriental. En los contactos de esta región con la zona serrana, se observan especies típicas de las montañas bajas. A lo largo de los cauces de algunos ríos y otros ambientes relativamente húmedos, aparecen: sauce criollo (*Salix humboldtiana*), sauce mimbre (*Salix fragilis*), saúco (*Sambucus nigra*), tala falso (*Bougainvillea stipitata*), cina-cina (*Parkinsonia aculeata*).

#### 1.1.2.7. - Pampa arenosa alta

El área de estudio contiene una pequeña porción de aproximadamente 1600 km<sup>2</sup> y es la planicie que sigue al piedemonte de las sierras de Comenchingones y se trata de una llanura que suaviza gradualmente su relieve desde su inicio, en el área del piedemonte a los 600 metros snm, hasta su contacto con la Pampa Arenosa Anegable, a una altitud de 150 metros snm. La región está surcada por ríos y arroyos que nacen en las sierras, a los que se suman los originados en depresiones de la llanura. La mayor parte de este territorio está cubierto actualmente por tierras cultivadas y por campos de pastoreo. La vegetación original se componía de bosques xerófilos, de los cuales sólo quedan relictos en las partes altas de lomas medanosas, en las cuales existen limitantes para la agricultura. Los bosques actuales se componen casi exclusivamente de chañar. Las otras escasas manifestaciones de vegetación natural o seminatural son

juncos, pastizales y paja brava. Las márgenes y barrancas de los cursos de agua, suelen estar pobladas por sauce criollo, chilcales y cortaderas (Agencia Córdoba D.A.C.yT. - Dirección de ambiente, 2003).

### 1.1.3. - Dinámica hídrica de las sierras de Córdoba

Los cambios urbanísticos y territoriales de las Sierras de Córdoba modificaron las dinámicas hídricas de las cuencas serranas de la provincia de Córdoba, condicionando seriamente las posibilidades de desarrollo sustentable de la región. Las pequeñas localidades serranas devinieron en lo que se denominan ciudades dormitorio, perdiendo su identidad turística y paisajística, a costa de transformarse en núcleos dependientes de los servicios de la gran urbe o de subsumirse a sus dinámicas. Las políticas públicas fomentaron el crecimiento urbano y destinaron recursos económicos del Estado para el desarrollo de la infraestructura vial. Esto permitió a las nuevas ciudades dormitorio vincularse rápidamente con la ciudad capital. Los sectores inmobiliarios impusieron las reglas de expansión urbana al fomentar la modalidad de barrios cerrados y urbanizaciones situadas en la parte alta de las cuencas, dado su alto valor paisajístico. Este proceso de expansión trajo consigo el incremento de los desmontes, los incendios, y la contaminación afectando la dinámica hídrica de la región (Martina *et al.*, 2020).

El agua que abastece a la gran mayoría de los cordobeses proviene de las cuencas serranas, que captan el agua de lluvia mayoritariamente en la parte media-alta de las cuencas (entre los 550 y los 2890 m.s.n.m), y la distribuyen paulatinamente a lo largo del año por sus vertientes, arroyos y ríos que desembocan en grandes lagos artificiales y tomas subterráneas. Las Sierras Grandes y las Sierras Chicas conforman las cuencas que actúan como reservorio hídrico de la provincia de Córdoba. Un reservorio que deriva de la captación directa de los cursos de agua y embalses artificiales que allí se encuentran. La pérdida de vegetación nativa por diversas causas antrópicas (principalmente desmontes, incendios, sobrepastoreo y avance indiscriminado de las urbanizaciones en las cuencas) implicó una reducción de los caudales base de los cursos de agua y en contrapartida, se ha observado un aumento de las escorrentías y violencia de las crecidas de arroyos y ríos en época de lluvias (Poca *et al.*, 2018). Lo anterior implica entender que los impactos producidos en las cuencas serranas afectaron la cantidad, calidad y estacionalidad del agua que éstas aportan. En particular, el modelo de desarrollo urbano impuesto en las

regiones serranas implicó una baja paulatina en la disponibilidad de agua. En el caso de la ciudad de Córdoba y localidades de Sierras Chicas, hasta la década de 1990 el agua era captada en cada ciudad en porciones de cuenca locales. Sin embargo, la degradación que sufrieron esas cuencas y su reducción en superficie por el avance de las urbanizaciones obligó a tomar el agua a distancias cada vez mayores (entre 10 y 50 km). Por su parte, la década del 2010 pasó a ser la década de desconexión de las cuencas locales y vecinas, para pasar a ser la década de los megaproyectos hídricos que pretenden traer agua de distancias superiores a los 100km, como lo es la obra Los Molinos-Córdoba. Actualmente, la pérdida de capacidad de recarga y almacenamiento de agua por parte de las cuencas cordobesas (sumado a la contaminación que sufren sus principales embalses) ha llevado al extremo que el Gobierno de la provincia haya licitado e iniciado las obras para traer el agua desde el Río Paraná, a más de 350 km de distancia y en contra de la pendiente (Martina *et al.*, 2020).

## 1.2. - Marco teórico

La producción agrícola a campo abierto, cualquiera que sea, depende de factores que son función de su ubicación geográfica además de la topografía del lugar, y factores que resultan de ciertas particularidades edáficas y/o de la elección de determinadas prácticas agrícolas (Huglin, 1983). La comprensión de cómo diferentes condiciones pedoclimáticas interactúan con la viña y la fisiología de la baya, y su consecuente impacto en la calidad del vino, es de gran importancia para una buena valorización de las zonas con potencial vitícola y además puede ayudar para optimizar estrategias de mitigación de cara al calentamiento global (Bois, 2020).

El concepto de *terroir* vitícola es muy importante en viticultura porque relaciona los atributos sensoriales del vino a las condiciones ambientales en las que se cultivan las uvas. Sin embargo, es complejo su estudio porque están involucrados factores como el clima, el suelo, el cultivo y las prácticas humanas y todos ellos interactuando entre sí (van Leeuwen *et al*, 2006). Debemos considerar que el “*terroir*” representa una dimensión espacial lo que implica necesidad de delimitar y zonificar los elementos del medio físico como clima y suelo (O.I.V., 2012).

Se puede utilizar la zonificación como instrumento de investigación para la identificación de nuevas regiones con potencial vitícola analizando condiciones

inadecuadas para la actividad o bien evaluando los niveles de calidad potencial de los productos a obtener (Tonietto, 2005).

El punto de partida es la zonificación climática debido a que el clima, en las regiones vitivinícolas, es gran parte responsable de la diversidad encontrada en términos de productos vitícolas además de la calidad y tipicidad de los vinos (Tonietto, 1999).

Dado que el comportamiento de la vid depende en gran medida de uno de los componentes físicos del ambiente como es el clima, el entender su estructura multinivel y la organización jerárquica de esos niveles es fundamental para la descripción espacial de la viticultura

### 1.2.1. – Complejidad espacial y dinámica climática en viticultura

Para la viticultura, la comprensión de la escala y las interacciones entre ellas son especialmente importantes ya que las uvas y los vinos producidos son el resultado de interacciones complejas entre factores físicos, biológicos y humanos (van Leeuwen et al., 2006). Entre los niveles o escalas de análisis del clima se pueden encontrar:

- **NIVEL GLOBAL:** se aplica a una gran área geográfica. La distribución geográfica de la viticultura está fuertemente determinada por la latitud la cual provoca diferencias en la energía solar interceptada por la superficie de la Tierra y como consecuencia de ello, desde el ecuador hacia los polos, la temperatura anual promedio disminuye con la latitud. En el ecuador se recibe la mayor cantidad de radiación entrante durante el año.

- **NIVEL REGIONAL:** correspondiente al clima de una región de tamaño variable. Para modelizarlo, numerosos estudios han llevado a la concepción de Índices Bioclimáticos específicos de la viticultura, los cuales al integrar de una forma u otra el factor temperatura y la disponibilidad de agua, permiten definir la capacidad de una región para producir vino de una variedad determinada, para identificar los riesgos ambientales asociados a la fenología de la vid, y en cierta medida, el potencial estilo de vino. En la actualidad, la aplicación de estos índices permitió comprender la variación espacial de las potencialidades y limitaciones vitivinícolas, por ejemplo, en Uruguay (Ferrer et al., 2007), Australia (Hall & Jones, 2010), Estados Unidos (Jones et al., 2010), Nueva Zelanda (Anderson et al., 2012) y en Francia (Morin et al., 2020) entre otros.

- CLIMA LOCAL: Una región vitivinícola se compone de diferentes climas locales que dependen de la complejidad de su terreno. Esta heterogeneidad espacial en los climas locales es un elemento crítico en la viticultura, lo que hace posible que los viticultores mitiguen las condiciones y las limitaciones impuestas por el clima regional. Por lo tanto, cada región consiste en contextos ambientales únicos, proporcionando a los viticultores una variedad de climas locales y diferentes potencialidades vitivinícolas a nivel de parcelas de viñedos, como los encontrados, por ejemplo, por (Tachini et al., 2023) en viñedos ubicados en la región atlántica del Uruguay donde demostraron que la interacción entre la altitud y el efecto océano fue el principal generador de variabilidad térmica entre los viñedos en estudio y su consecuente impacto en la composición de la uva variedad Tannat.

- MICROCLIMA: referido a una unidad geográfica muy pequeña, a nivel de la planta de vid. El microclima de un viñedo es fuertemente dependiente de las decisiones humanas, lo que hace que la variabilidad espacial en la viticultura sea aún más compleja. Los viticultores pueden modificar aún más la potencialidad de sus viñedos con sus decisiones previas a su implantación y con sus prácticas vitícolas y así atenuar los impactos indeseables del clima local o potenciar sus condiciones naturales favorables.

El fijar límites estrictos entre cada nivel de escala no es relevante, ya que los fenómenos relacionados con el clima que ocurren en la atmósfera son de hecho continuos en el espacio, en lugar de discretos. Los límites verticales u horizontales de los cuatro niveles varían con el relieve del lugar. 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 *et al.*, 2019).

Los niveles espaciales climáticos de menores resoluciones espaciales están anidados dentro de los de resoluciones espaciales mayores, por lo que si bien una misma masa de aire generará 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 (Neethling *et al.*, 2019).



Un ejemplo de lo anterior, y teniendo en cuenta las características de la región de estudio en esta tesis, es la presencia de los embalses de agua y su impacto en el clima regional. En un estudio realizado sobre 200 embalses seleccionados y ubicados en diferentes partes del mundo se realizó un contraste de variables climáticas en un período de tiempo de 20 años previos a la construcción de esos embalses y 20 años posteriores a su construcción. Los resultados obtenidos muestran que la superficie del embalse, la capacidad de almacenamiento y la zona de captación de aguas arriba tienen hasta un 35 % de relación lineal con los cambios en el comportamiento de las precipitaciones. De todas las variables meteorológicas estudiadas las precipitaciones fueron las más alteradas por la construcción del embalse mientras que la temperatura ambiente fue más dependiente de factores geográficos como latitud, longitud y altitud que de la presencia de los embalses (Zhao *et al.*, 2021).

Otro aspecto a considerar es la variabilidad climática interanual, conocida como *vintage* o efecto año que se refiere a la variación natural de las condiciones meteorológicas entre un año y otro. Este es un factor decisivo en cuanto a la productividad de la vid y la composición de las bayas, por lo que esta variabilidad climática anual tiene efectos considerables en la viabilidad económica del sector vitivinícola (Neethling *et al.*, 2019).

Córdoba, al ser una provincia de transición climática, sólo entre un 10 y un 20 % de la variabilidad total de las precipitaciones se puede explicar a partir del fenómeno ENSO (El Niño Southern Oscillation) (de la Casa *et al.*, 2019).

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 y debido a las variaciones en las condiciones meteorológicas de la región se afecta la productividad y la composición de la uva y por extensión a la calidad del vino (Fourment *et al.*, 2017).

#### 1.2.2. - El clima y su influencia sobre el rendimiento y composición de la baya

Parámetros como rendimiento y composición de bayas están muy relacionados al clima del área geográfica donde se desarrolla la vid (Riou, 1994; Coombe, 1995; van Leeuwen & Seguin, 2006; Ferrer *et al.*, 2017; Fourment *et al.*, 2017).

Los principales elementos climáticos que explican las variaciones en el rendimiento y la calidad enológica de la uva son la radiación solar, la temperatura

y la precipitación. Entre estos, la temperatura y la precipitación en lo referido a su magnitud, variación y distribución a lo largo del ciclo fenológico de la vid, influyen sobre el rendimiento y la composición de las bayas (Ferrer *et al.*, 2017). Por lo tanto, la vid es altamente sensible a las condiciones climáticas cambiantes, tanto en el tiempo como en el espacio (O.I.V., 2017).

La principal aptitud que debemos exigir a un entorno vitivinícola es que debe garantizar la maduración satisfactoria de las variedades de vid allí implantadas o que se propongan establecer. Su evaluación corresponde por tanto a la estimación de las posibilidades fotosintéticas que dependen esencialmente de la radiación solar, estatus hídrico y la temperatura (Huglin, 1983).

#### 1.2.2.1. - Radiación solar:

La luz tiene un efecto más profundo en el desarrollo de las plantas que cualquier otro factor climático. La vid, como todas las plantas, utiliza la luz como fuente de energía y como uno de los elementos de información ambiental. Los vegetales pueden percibir con precisión las fluctuaciones en cantidad (intensidad), calidad (composición espectral), direccionalidad y periodicidad (duración del día) de la luz entrante. La cantidad de luz incidente en la canopia varía con la latitud, topografía del lugar, época del año, hora del día y nubosidad. La energía luminosa representa algo más del 50% de la energía total proporcionada por la radiación solar, pero la fracción de esta energía que llega al suelo difiere considerablemente dependiendo de la oblicuidad del sol y del propio relieve, de la altitud, de la pureza de la atmósfera, abundancia de nubes. En el verano, la cantidad de energía diaria recibida es aproximadamente igual entre las latitudes 20° y 80°. Esto es debido a que la mayor duración del día compensa la reducción del flujo de energía como consecuencia de su mayor ángulo de incidencia. Se debe precisar que la mayoría de las zonas vitivinícolas se encuentran entre los 20° y los 50° de latitud (Huglin, 1978). Si la viticultura se sitúa en zonas montañosas la elevación, exposición al sol y las pendientes generan una alta heterogeneidad topoclimática. La diversidad de la morfología del suelo crea accidentes geográficos únicos y complejos que pueden influir en la maduración de las bayas (Mania *et al.*, 2021).

Las hojas absorben eficazmente la luz solar en el rango de longitud de onda del espectro electromagnético correspondiente a la luz visible y la de la región del ultravioleta (UV). Más precisamente, la epidermis absorbe la mayor parte de la luz ultravioleta potencialmente dañina pero es transparente a la luz visible, que penetra en las células mesófilas ricas en cloroplastos. Para la fotosíntesis se utiliza

la luz de longitud de onda del rango comprendido entre 400 a 700 nm, a la que se denomina Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR por sus siglas en inglés). Aproximadamente 85 - 90% de la luz incidente en el rango PAR que llega sobre una hoja de vid es absorbida por ella; el resto es reflejada en su superficie (6%) o se transmite a través de ella (4 - 9%) (Keller, 2015).

El flujo radiométrico de fotones es afectado por la presencia de nubes las cuales reflejan, absorben y transmiten la radiación solar incidente, modificando así la cantidad y la calidad espectral de la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra. Las partículas de las nubes juntamente con los aerosoles presentes en la atmósfera, son responsables de un tipo de dispersión (Arrillaga *et al.*, 2021) que afectan más marcadamente a las longitudes de onda menores del espectro solar, que incluyen el rango PAR (Alados *et al.*, 2000). La intensidad de la luz a la que la asimilación neta de CO<sub>2</sub> de la hoja es cero se denomina punto de compensación de luz. Este punto depende de la especie, el cultivar y las condiciones de desarrollo, pero en las hojas típicas de la vid se alcanza con una irradiación de entre 10 y 70  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ . En la Figura n° 1.1. se puede ver como un aumento adicional en el flujo de fotones conduce a un aumento prácticamente lineal en fotosíntesis hasta que comienza a estabilizarse y alcanza la saturación de luz entre 700 y 1200  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ . Este valor está por debajo del posible flujo total de fotones de la luz solar que puede exceder los 2000  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , pero los valores medidos bajo las nubes se encuentran en el rango de los 100 a los 1000  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ , según el tipo de nube y su densidad. Las nubes de niveles bajos y medios, que tienen una mayor densidad, afectan más marcadamente el rango PAR que las nubes de niveles altos (Alados *et al.*, 2000). La influencia del cultivar es menor comparado con la de la intensidad lumínica y el contenido de Nitrógeno de la hoja (Keller, 2015). En la Figura n° 1.3. podemos ver como para un mismo flujo de fotones, si la hoja posee menor concentración de Nitrógeno la fotosíntesis medida como el flujo de CO<sub>2</sub> consumido es menor.

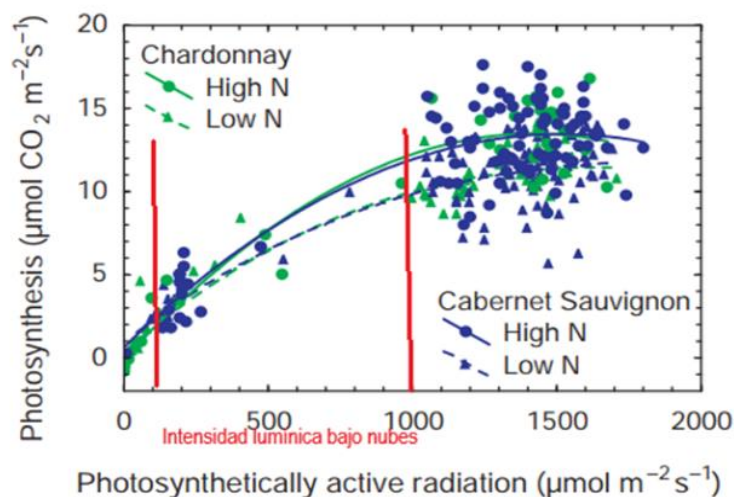


Figura n° 1.3. - Relación entre intensidad lumínica y fotosíntesis para dos variedades de vides con distintos niveles de nitrógeno (Keller, 2015)

La forma exterior de la vegetación, inducida por sistemas de conducción como el Guyot, la copa y la lira, no influye sobre el potencial de interceptación de la radiación solar en la medida en que la superficie expuesta de la hoja fuesen idénticas entre los diferentes sistemas de conducción, sin embargo, los de baja densidad de vegetación y/o alta porosidad del follaje favorecen la iluminación de las hojas internas. El criterio de superficie foliar expuesta/kg (SFE/kg de uva) de uva resultó ser un buen indicador de la acumulación de azúcares en las bayas en los diferentes sistemas de manejo. En promedio, fue necesario de 1,0 a 1,2 m<sup>2</sup> de SFE/kg de uva para obtener un adecuado contenido de azúcar (Zufferey, 2000).

#### 1.2.2.2. - Estado hídrico de la planta:

En la vid, el agua es un elemento fundamental para su crecimiento vegetativo/reproductivo y su funcionamiento fisiológico y bioquímico. Por consiguiente, es un factor determinante en el rendimiento y en la calidad de las uvas y en las características de los vinos (Ojeda, 2007). El estado hídrico de la planta resulta de un balance donde se consideran los aportes de agua por precipitaciones o por riego y la pérdida de agua por evapotranspiración del viñedo (Riou, 1994; Tonietto & Carbonneau, 2004). Considerando el estado fenológico de la vid, (Ojeda, 2007) establece estados hídricos óptimos para su normal desarrollo:

- Brotación-Floración:** es conveniente que la planta no sufra restricción hídrica en este estado fenológico para tener un buen desarrollo de la superficie foliar.

● **Floración-Cuaje:** Una restricción severa durante los primeros días luego de la floración puede reducir la tasa de cuaje y el número de bayas por racimo.

● **Cuaje-Envero:** El estado hídrico tendrá una fuerte influencia sobre el rendimiento del viñedo a través del efecto que ejerce sobre el tamaño de la baya. Además, una fuerte demanda evapotranspiratoria durante este período puede generar una aguda deshidratación de la baya. También puede verse afectada la asimilación de nutrientes ya que los minerales están disueltos en la solución del suelo explorable por las raíces.

● **Envero-Maduración/Cosecha:** La ausencia de restricción hídrica en este período produce un vigor excesivo de la planta y un proceso de dilución de los componentes cualitativos de la baya por el aumento del tamaño del fruto. Por el contrario, una restricción progresiva hacia el período de maduración es propicia para una reducción del tamaño de la baya y por consiguiente una concentración de los compuestos fenólicos.

● **Cosecha-Caída de hojas:** En este período la planta orienta sus fotoasimilados hacia las zonas de reserva como troncos y raíces, aumenta la asimilación de nutrientes minerales y retoma el crecimiento de raíces por lo que es conveniente que la planta recupere su estado hídrico y lo mantenga a lo largo del período invernal.

En la práctica, estos estados pueden ser inducidos artificialmente en zonas con bajas precipitaciones donde el riego es una técnica absolutamente necesaria para el cultivo de la vid.

1.2.2.3. - Influencia de las bajas temperaturas durante el período vegetativo de la vid

Como cabría esperar de un proceso que involucra reacciones bioquímicas (enzimáticas), la asimilación de CO<sub>2</sub> está fuertemente influenciada por la temperatura, pudiéndose distinguir entre el estrés por frío con temperaturas entre 0 a 10° C y las heladas con temperaturas menores a los 0° C.

1.2.2.3.1. - Estrés por frío: El daño a los tejidos vegetales no dormantes causado por temperaturas bajas pero por encima del punto de congelación (0 a 10°C) se conoce como estrés por frío. Los cloroplastos son particularmente sensibles al estrés por frío y el daño al aparato fotosintético por lo general tiene graves consecuencias para la fotosíntesis, aunque la reducción de la fotosíntesis también podría ser causada por la acumulación de azúcar en las hojas debido a

que el crecimiento cesa a baja temperatura lo que traduce en una disminución en la demanda de asimilados.

Cuanto más sensible al frío es la variedad de uva, más pronto y más extenso es el desarrollo de los cambios estructurales. Las plantas más resistentes pueden no sufrir daño a menos que estén expuestas simultáneamente a algún otro factor de estrés como una elevada intensidad de radiación lumínica lo que potenciaría en gran medida el daño por frío debido a la "sobrecarga" de energía, ya que la absorción de luz disminuye menos que la producción de fotosintetizados, lo que conduce a la generación de especies reactivas de oxígeno y, por lo tanto, estrés oxidativo. Los síntomas se desarrollan antes y son más severos durante los días fríos que durante las noches frías. Cuando las noches frías son seguidas por días cálidos y luminosos, la fotosíntesis de la hoja de vid puede inhibirse por completo en unos pocos días. La fotosíntesis se recupera solo después de varias noches cálidas. La alta humedad del aire protege los tejidos de las plantas contra lesiones, especialmente si las bajas temperaturas ocurren durante la noche. Además, si las temperaturas se mantienen relativamente bajas durante más tiempo, las hojas pueden aclimatarse a esas condiciones emitiendo parte del exceso de energía como luz fluorescente y aumentando la actividad de las enzimas involucradas en la producción de azúcar. La emisión de fluorescencia ocurre especialmente en hojas maduras que experimentan repentinamente un "choque frío" (Keller, 2015).

1.2.2.3.2. - Heladas: En regiones en donde con frecuencia se producen heladas en la primavera, estas se convierten en un obstáculo para el cultivo de la vid. Es este un aspecto a profundizar por su importancia relativa en el área de estudio. De acuerdo a su época de ocurrencia, las heladas pueden ser primaverales u otoñales. Las primaverales o tardías son las que afectan a los frutales en su proceso reproductivo. Se caracterizan por su intensidad moderada, sin embargo, los daños pueden ser severos dependiendo del estado general de la planta, el estadio fenológico en el que se encuentra la vid y la duración del evento. Los principales daños por heladas ocurren durante la brotación, dado que las temperaturas invernales de las zonas potenciales de producción vitícola no son lo suficientemente bajas para generar daños en las vides en reposo. La yema invernal tiene diversas estrategias para protegerse durante el invierno (Bravo *et al.*, 2020).

Durante este período de bajas temperaturas (endodormancia) las vides satisfacen sus requerimientos de frío y una vez que éstos son satisfechos, las

yemas están aptas para responder al incremento de la temperatura. Sin embargo, mientras las temperaturas son bajas las yemas se mantendrán en un estado de ecodormancia, es decir, las condiciones de crecimiento desfavorables rompen la endodormancia e imponen la ecodormancia (Faust *et al.*, 1997). Cuando se inicia el ascenso de la temperatura en primavera, las yemas y los brotes reiniciarán su hidratación y al mismo tiempo perderán su resistencia al frío o se desaclimatarán. En la Figura n° 1.4. se puede observar la variación de la temperatura a la cuál se destruyen el 50 % de las yemas (LT50) en los períodos de aclimatación, desaclimatación y de máxima resistencia al frío desde comienzos del invierno hasta entrada la primavera para la variedad Riesling. Se observa que la LT50 de las yemas de vid disminuye a principios de otoño con el proceso de aclimatación. Durante la mitad del invierno, los brotes alcanzan el máximo de resistencia y capacidad de sobreenfriamiento, pero cuando aumentan las temperaturas a finales del invierno o principios de la primavera se desaclimatan a un ritmo más rápido de lo que se aclimatan y la temperatura letal se eleva. También podemos observar como en años fríos (A), la capacidad de superenfriamiento es mayor que en años cálidos (B) (Londo & Martinson, 2016).



Figura n° 1.4. - Variación de la temperatura letal (LT50) en yemas para años fríos (A) y años cálidos (B) de la var. Riesling. Adaptado para el hemisferio Sur de (Londo & Martinson, 2016)

Se observa que tanto en la aclimatación como la desaclimatación existen respuestas diferentes según la variedad. Si se considera que el mayor daño de heladas se produce en el momento en que la planta inicia la desaclimatación, factores como su precocidad para salir del receso e iniciar la brotación son más

relevantes que la resistencia al congelamiento. Se registran diferencias en la brotación entre las distintas variedades como se puede observar en la Tabla n° 1.1., por lo tanto al planificar la plantación de un viñedo, se debiera considerar dejar las variedades más tempranas en brotar en aquellos sectores que presentan menos riesgo de heladas primaverales (Bravo *et al.*, 2020). Como consecuencia del cambio climático en determinadas regiones se registran aumentos de las temperaturas mínimas lo que produce el adelanto de las fechas de brotación con el consecuente mayor riesgo de congelamiento de los brotes por heladas tardías debido a que el número de heladas no se modifica. Un ejemplo de esta situación se presenta en el Oasis Este de la provincia de Mendoza con registros de la Estación Meteorológica San Martín (Deis *et. al.* 2015)

Tabla n° 1.1. - Momento de brotación de diferentes variedades de vid tomando como referencia el de Chenin Blanc y Chardonnay, basado en un promedio de 38 años en INRA – Languedoc. (Bravo *et al.*, 2020).

<b>Cultivar</b>	<b>Momento de brotación (días)</b>
Chenin blanc, Chardonnay	0
Gewürztraminer, Viognier	1
Pinot blanc	2
Pinot gris, Pinot noir, Merlot	3
Petit verdot, Tannat	5
Riesling, Cabernet franc, Semillon	6
Grenache, Muscat	7

Para viñedos implantados en regiones de clima templado, sus respuestas a las bajas temperaturas serán variadas y dependerán del estado de desarrollo en que se encuentren, su condición general o la existencia de períodos previos de adaptación. Una vez que las yemas comienzan a desarrollarse y brotar, los efectos de las heladas tienen daños diferentes según el estado fenológico en que las yemas se encuentren y según la intensidad y duración de la helada. La Tabla n° 1.2. resume las temperaturas que destruyen el 10, 50 y 90% de las yemas en diferentes estados fenológicos. Se observa que a medida que la yema se va desarrollando se daña con temperaturas menos intensas y que el diferencial de



temperatura para pasar del 10 al 90% de yemas muertas es menor cuanto mayor es el desarrollo de la yema (Domoto, 2012).

Tabla n° 1.2. - Temperatura crítica (°C) para causar el 10, 50 y 90 % de muertes de yemas en diferentes estados fenológicos. Modificado de Domoto, (2012).

<b>Estado fenológico</b>	<b>10 % muerte (° C)</b>	<b>50% muerte (°C)</b>	<b>90% muerte (°C)</b>
<b>Yema hinchada</b>	-10	-13.9	-19.4
<b>Yema algodonosa</b>	-3.3	-6.1	-12.2
<b>Brotación</b>	-2.2	-3.9	-8.9
<b>1° hoja</b>	-1.9	-2.8	-6.1
<b>2° hoja</b>	-1.7	-2.2	-5.5
<b>3° hoja</b>	-2.2		-3.3
<b>4° hoja</b>	-2.2		-2.8

En cuanto al nivel de pérdida en producción debido a una helada, también existe un componente varietal determinado por la fecundidad de las yemas secundarias (Bravo *et al.*, 2020).

1.2.2.4. – Influencia de las temperaturas elevadas durante el período vegetativo de la vid

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. El límite de temperatura superior del aire para la formación de rendimiento máximo en vides es de 35°C (Huglin, 1978). Las temperaturas por encima de los 40°C, provocan una fuerte disminución de la fotosíntesis debido a la interrupción de la integridad funcional de la maquinaria fotosintética en los cloroplastos (Keller, 2015). Debemos considerar que la temperatura de las bayas expuestas al sol pueden presentar más de 10°C de diferencia con la temperatura ambiente. (Spayd *et al.*, 2002). En términos de composición de flavonoides presentes en la baya se descubrió que la biosíntesis de antocianinas es el más sensible 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 *et. al*, 2018)

Al incrementarse la temperatura ambiente a la que está expuesta la vid entre 10 y 35°C se observa un aumento de la actividad respiratoria (Zufferey, 2000; Palliotti *et al*, 2005) y cambia la partición de carbono para favorecer el crecimiento vegetativo a expensas del crecimiento y maduración de la fruta dando como resultado una pérdida neta de carbono asimilado. La fotorrespiración también es fuertemente dependiente de la temperatura, a 20°C es de aproximadamente 2  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2.\text{S}$ ; a 25°C es 3  $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2.\text{S}$  y se duplica este valor a 35°C. Es por ello que las temperaturas mínimas y máximas determinan la asimilación neta de carbono (Zufferey, 2000).

Esta situación se produce también en días con presencias de nubes ya que mantienen las noches más cálidas por lo que se incrementa la tasa de respiración de toda la planta en detrimento de la acumulación de azúcar en la baya. 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 impacto negativo de las altas temperaturas en la fotosíntesis es más pronunciado a alta intensidad de radiación lumínica, es decir que las hojas son más susceptibles a las olas de calor bajo un cielo despejado y durante períodos con déficit de agua. Breves episodios de calor extremo son peores que períodos más largos de temperatura moderadamente alta. Es por eso que el estrés por calor posterior al envero puede retrasar notablemente 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 afecta el cuajado de frutos, interfiriendo con la maduración y viabilidad del polen, acelera el envejecimiento y senescencia de las hojas, por lo que el contenido de clorofila a menudo disminuye junto con la fotosíntesis (Keller, 2015).

La etapa de la baya más sensible al estrés biótico y abiótico es durante la fase de envero. La temperatura puede causar un desacoplamiento entre la acumulación de azúcar y la síntesis de antocianinas que conducen a una relación antocianinas/azúcares más baja, posiblemente debido a un retraso en el inicio de la síntesis de antocianinas o una reducción de la acumulación de antocianinas durante la maduración. La magnitud de este desacoplamiento térmico depende

del cultivar y también puede variar entre clones de la misma variedad (Rienth *et al.*, 2021).

### 1.2.3. - El clima y su influencia sobre la composición de la baya

La estructura y el sabor del vino son dependientes de los atributos de la uva (Riou 1994; Bindon *et al.*, 2013). Huglin, citado por Riou, 1994, dice que "en regiones vitivinícolas frías y, más en general, allí donde las variedades de uva utilizadas se encuentran al límite de su posibilidad de crecimiento, el contenido de azúcar es el elemento primordial de calidad. En las regiones cálidas, por otro lado, el mantenimiento de una acidez suficiente es a menudo la preocupación dominante".

La calidad es un concepto complejo que es el resultado de muchos componentes. Se consideran cuatro familias químicas presentes en la baya de uva que impactan sobre la calidad del vino: azúcares, ácidos orgánicos, compuestos aromáticos y fenólicos

#### 1.2.3.1. - Azúcares

Estos constituyen normalmente más del 90% de los sólidos solubles de las bayas maduras. Los azúcares que están presentes en estas bayas maduras son las hexosas glucosa y fructosa entre 95-99 % y el resto predominantemente es sacarosa. Independientemente de la temperatura de la baya, la relación glucosa:fructosa es cercana a uno (Kliwer, 1964). La acumulación de azúcar depende de la importación de sacarosa de las hojas fotosintéticas o de los órganos leñosos de almacenamiento y tiende a ocurrir más rápidamente en las bayas que transpiran más rápidamente. Cuando comienzan a cambiar de color, estas generalmente han alcanzado una concentración de sólidos solubles cercano a 10° Brix. Durante la maduración, hay un rápido aumento de hexosas por importación de sacarosa y su posterior hidrólisis por la enzima invertasa. En el mesocarpio, el malato compensa la falta del azúcar como sustrato para la respiración de las bayas. Así, el almacenamiento de hexosa y la descomposición del malato se activan simultáneamente en el envero. Dependiendo de la especie y el cultivo, el contenido natural de azúcar en las bayas de uva puede alcanzar un máximo de aproximadamente 25° Brix, lo que da como resultado una concentración de etanol de aproximadamente el 15% (v/v) en el vino elaborado a partir de tales uvas (Keller, 2015).

La acumulación neta de azúcar en forma de hexosas y sacarosa en las bayas maduras o de almidón en tallos y raíces de la vid es el resultado neto del balance entre la generación por fotosíntesis de sacarosa y su consumo por respiración y fotorespiración. El análisis de los factores que afectan estos procesos como son la radiación solar, el estado hídrico de la planta y la temperatura fueron analizados en el punto anterior.

El contenido de azúcar es un buen indicador del nivel de calidad del vino, porque es una buena evidencia de maduración durante la cual los demás componentes se desarrollan en paralelo (Riou, 1994).

#### 1.2.3.2. – Ácidos orgánicos

La acidez de la baya está principalmente determinada por el ácido tartárico y el ácido málico el cuál es altamente variable su concentración con la añada (van Leeuwen *et al.*, 2004) y con la temperatura ambiente. Las bayas acumulan ácido málico hasta el envero donde sufren un cambio metabólico haciéndolo disponible como una fuente potencial de carbono principalmente para la respiración y la gluconeogénesis. La pérdida neta de ácido málico reduce la acidez titulable de la fruta e influye en el equilibrio azúcar-ácido. Esta pérdida neta como consecuencia del calentamiento del medio ambiente se ha atribuido a una mayor degradación durante la maduración en lugar de a una disminución de la síntesis antes del envero. Bayas de uvas expuestas a temperaturas superiores a las del ambiente, de entre 4 y 10 °C durante 11 días o 2 a 4°C durante 3 semanas, entre el envero y la madurez, mostraron respecto al control mantenido a temperatura ambiente, una reducción significativa en la concentración de ácido málico (Sweetman *et al.*, 2014). El ácido tartárico no es metabolizado por la baya en maduración y por lo tanto su contenido no es afectado por un incremento de la temperatura y representa un rasgo importante para programas de mejoramiento que buscan nuevos cultivares mejor adaptados a condiciones climáticas futuras (Rienth *et al.*, 2021).

#### 1.2.3.3. – Compuestos aromáticos

La exposición a la luz aumenta la concentración de la mayoría de los compuestos aromáticos en las bayas de uva, pero el exceso de luz solar así como su exclusión total inhibe la acumulación de la mayoría de ellos. En bayas de uva, el impacto de la temperatura en la acumulación de compuestos aromáticos es ambiguo. Considerando los cultivares que producen metoxipirazinas, los vinos producidos en regiones más frías tienen concentraciones más altas y muestran un

olor más “vegetal” en Cabernet Sauvignon y Sauvignon Blanc. Por otra parte, en añadas con temperaturas medias más elevadas, recientes investigaciones han caracterizado componentes del aroma que contribuyen a matices aromáticos maduros en uvas y vinos de variedades tintas. Por ejemplo, matices de mermelada de fruta y ciruela en los vinos Merlot y Cabernet Sauvignon. Tales uvas y vinos presentaron una mayor concentración de compuestos químicos pertenecientes a las cetonas, familia de furanonas y lactonas. Esto lleva a la hipótesis de que el aumento de las temperaturas debido al cambio climático aumentaría la percepción de notas afrutadas maduras (Rienth *et al.*, 2021).

#### 1.2.3.4. - Compuestos fenólicos

Las bayas de uva de la variedad Tannat mostraron una variabilidad significativa en su composición que estaría asociada con la temperatura. La concentración de antocianos y polifenoles tuvieron una correlación positiva con la temperatura mínima en el período de cosecha y una correlación negativa con la temperatura máxima y el número de horas a temperaturas mayores de 30°C (Fourment *et al.*, 2017), en concordancia con los obtenidos por (Gouot *et al.*, 2019) para Cabernet Sauvignon. En estudios anteriores, la baja temperatura durante la maduración, en particular por la noche se asoció con una mayor coloración de las uvas, lo que fue confirmado en un reciente experimento donde las bajas temperaturas nocturnas mejoraron acumulación de antocianinas (Rienth *et al.*, 2021). Las bayas de uvas tintas expuestas a temperaturas en el rango de los 30 a 35°C redujeron el contenido de antocianinas lo cual podría ser causado por factores tales como la degradación química o enzimática de estos compuestos así como también por la inhibición de las reacciones de biosíntesis de las antocianinas (Mori *et al.*, 2007). La luz del sol estimula la acumulación de antocianinas en la baya. Se reporta que sobre cinco añadas estudiadas, la que mostró mayor concentración de antocianinas fue aquella en donde hubo más horas de sol entre la floración y el envero, pero en general no se estableció una relación entre el promedio de horas de sol y su calidad. La evaluación de la calidad de estas cinco añadas realizadas por Suckling en 1983 ([www.WineSpectator.com](http://www.WineSpectator.com)) mostró que una en particular estuvo expuesta a más horas de sol y presentó mayor concentración de antocianinas, sin embargo no resultó ser superior al resto en cuanto a su calidad (van Leeuwen *et al.*, 2004).

#### 1.2.4. - Sanidad de la planta

La enfermedad fúngica producida por *Botrytis cinerea* es una seria amenaza para la vid y tiene un impacto negativo en la calidad de la uva y del vino. Las condiciones meteorológicas durante la precosecha (frecuentes precipitaciones, alta humedad relativa, temperaturas suaves y vientos de baja intensidad) son elementos claves para el desarrollo de esta enfermedad (Ferrer *et al.*, 2017). Las condiciones de elevada humedad entre envero y cosecha tienen una correlación positiva con el desarrollo de enfermedades fúngicas (Valdés-Gómez *et al.*, 2008). En la Figura n° 1.5. se observa que a partir de 200 mm de PP en el mes previo de la cosecha se registraron más del 50 % de uvas afectadas por *Botrytis cinerea* (Ferrer *et al.*, 2018).

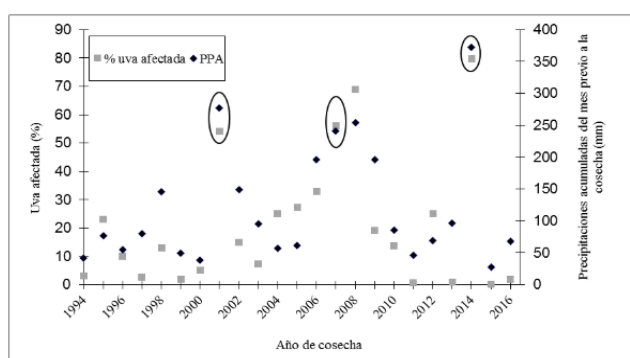


Figura n° 1.5. - Relación entre las PP en el mes previo a la cosecha y el % de uvas afectadas por *Botrytis cinerea* (Ferrer *et al.*, 2018)

Por otra parte, eventos meteorológicos como la caída de granizo pueden producir la rotura de las bayas por el agrietamiento de la cutícula predisponiendo a los racimos a su infección y, junto con las condiciones de humedad, conducir a la expresión de enfermedades (Keller, 2015).

#### 1.2.5. – Zonificación climática vitícola

La zonificación vitivinícola (suelo y clima) puede tener diversos objetivos. El análisis previo de dichas finalidades es un paso indispensable en todo trabajo de zonificación debido a que la metodología aplicada debe ser adecuada con respecto a los objetivos que se persiguen (OIV, 2010).

Se ha mejorado la comprensión de los aspectos técnicos de la producción de uva para vinificar, pero hay menos conocimiento sobre cómo identificar las

situaciones geográficas específicas que favorecen la calidad de la uva (Vaudour, 2002).

Para realizar el análisis espacial del clima y caracterizar las condiciones climáticas de regiones productoras de vino, Bois (2020) analizó 41 referencias de actas de congresos de *terroir* y revistas revisadas por pares. Treinta y seis reportes usaron índices, veintiséis de ellos estaban basados solamente en la temperatura del aire siendo el Índice de Winkler (Amerine & Winkler, 1944) y el Índice Heliotérmico de Huglin (Huglin, 1978) los más utilizados. La Temperatura en la Época de Crecimiento (Jones *et al.*, 2005) fue encontrada en diecinueve trabajos. El Índice de Frescor Nocturno (Tonietto & Carbonneau, 2004) fue usado en dieciocho estudios. Los índices más usados para estudiar las características espaciales de las potencialidades climáticas de regiones vitivinícolas relacionadas al agua fueron el Índice de Sequía (Riou *et al.*, 1994), encontrado en diez de los cuarenta y un reportes estudiados y las Precipitaciones en la Época de Crecimiento (Jones *et al.*, 2005), fue usada en ocho artículos. Estos índices tienen en cuenta los principales elementos del clima que impactan sobre la fisiología de la planta y en el proceso de la maduración de la uva: temperatura del aire, radiación solar y balance hídrico (Ferrer *et al.*, 2007).

#### 1.2.5.1. - Índice Heliotérmico (IH)

Permite estimar las posibilidades fotosintéticas del clima de una región en cuanto a si asegura la maduración de las bayas de vid implantadas en ella (Huglin, 1978). Este índice contempla dos de los principales componentes del clima que impactan sobre la fisiología de la planta y en el proceso de maduración de la uva: temperatura del aire y radiación lumínica (Ferrer, 2007). El componente “helio” de este índice está reflejado en el coeficiente “d” del componente térmico que expresa la duración media del día en relación con la latitud (ver punto 1.2.2.1.) El componente térmico se estima sobre un período de seis meses correspondiente al ciclo vegetativo de la vid (Ver punto 1.2.2.4.) (Tonietto y Carboneau, 2004).

Para que un Clima Vitícola garantice la maduración de la bayas de uva, expresada ésta como concentración de azúcar mínima de 180-200 g/L, (Huglin, 1978) propuso los siguiente valores del IH necesario discriminado por variedad, Tabla 1.3. El límite inferior de posibilidades de cultivo de la vid es de 1500° C, y para valores iguales o superior a 2400° C todos los cepajes encuentran posibilidades heliotérmicas suficientes para garantizar la maduración de la baya (Huglin, 1978)

Tabla n° 1.3. – Necesidades heliotérmicas de algunas variedades de vid para su maduración

IH (° C)	Variedad
1600	Gewurztraminer
1700	Pinot noire, Chardonnay, Riesling
1800	Cabernet franc
1900	Cabernet Sauvignon, Chenin blanc, Merlot, Semillon
2000	Ugni blanc
2100	Syrah

#### 1.2.5.2. - Índice de frescor nocturno (IF)

Indica la frescura 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 (ver punto 1.2.2.3.) (Tonietto & Carbonneau, 2004).

#### 1.2.5.3. - 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 vitícola considerando la demanda climática de un viñedo estándar, evaporación del suelo desnudo, lluvias y una deducción de los milímetros drenados.

#### 1.2.5.4. – Consideraciones sobre las variables climáticas necesarias para el cálculo de los índices

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 *et al.*, 2010). La predicción de valores de temperatura del aire en puntos no medidos pueden 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 métodos basados en información satelital como solución a este problema (Vancutsem *et al.*, 2010).

Los datos de teledetección térmica, como es la Temperatura de la Superficie Terrestre (LST), con alta resolución temporal son una alternativa interesante debido a que el valor de LST se puede recuperar directamente de los datos de radiancia detectados de forma remota (Chuvienco, 1995).

Al calcular las diferencias en los índices bioclimáticos entre la temperatura del aire y el LST, este último tendió a tener valores más altos en todas las resoluciones espaciales y mostró una correlación de Pearson con la temperatura del aire positiva tanto para el LST diario como para el semanal (Morin *et al.*, 2020).

Las precipitaciones (pp) y la evapotranspiración potencial (ET<sub>p</sub>) son datos necesarios para el cálculo del Índice de sequía. Las pp poseen alta variabilidad espacial y temporal, la cual frecuentemente no es registrada por las redes de estaciones meteorológicas existentes. Si bien la medición de las pp en un lugar determinado utilizando instrumentos de superficie es sencilla, la gran variabilidad espacial y temporal de la intensidad, el tipo y la ocurrencia de la precipitación dificultan las mediciones directas y uniformemente calibradas en grandes regiones. Los pluviómetros también 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 espaciotemporales (Ovando *et al.*, 2018).

Uno de los procesos más importantes del ciclo hidrológico es la tasa de evapotranspiración (ET). De hecho, este es el componente más significativo del balance hídrico después de la precipitación, y cobra mayor importancia en zonas áridas y semiáridas. La ET representa el agua removida desde el suelo y la vegetación hacia la atmósfera. La Evapotranspiración de referencia es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua y se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ET<sub>p</sub>. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. Se calcula utilizando el Método de Penman (Penman, 1948) el cuál es un método indirecto que surge por la dificultad de

obtener mediciones de campo precisas, por lo que se valen de diversas ecuaciones empíricas o semi-empíricas para estimar la capacidad de evaporación utilizando datos meteorológicos. Por este motivo, son muy utilizados en los estudios geográficos y medioambientales (Marini *et al.*, 2017). Para grandes áreas del mundo en general y para las Sierras Pampeanas en particular, la densidad de estaciones meteorológicas es baja por lo que una alternativa empírica basada únicamente en información de sensores remotos mejora significativamente la evaluación del balance hídrico en estas zonas (Di Bella *et al.*, 2000).

#### 1.2.5.5. – Clasificación climática multicriterio geovitícola

El Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola es un método de clasificación climática para regiones vitivinícolas basado en la integración de las diferentes clases de tres índices bioclimáticos: IS, IH y IF. Esto establece el clima vitivinícola de cada región y permite que éstas sean clasificadas y agrupadas (Tonietto&Carbonneau, 2004).

Este sistema fue utilizado por diferentes autores para evaluar la potencialidad climática vitícola de diferentes regiones, por ejemplo en Chile (Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2023), la provincia de San Juan en Argentina (Vila *et al.*, 1999), en Argentina (Zanus & Tonietto, 2007), en Uruguay (Ferrer 2007), en la región de Galicia en España (Blanco-Ward, 2008), en Río Negro, Argentina (Gallina *et al.*, 2016), 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)

### 1.3. Hipótesis

La combinación de los índices bioclimáticos: Índice Heliotérmico, Índice de frescor nocturno, Índice de sequía, temperaturas máximas, precipitaciones y fechas de heladas tardías calculados a partir de datos satelitales y procesados en un entorno SIG permite identificar, caracterizar y geolocalizar los climas vitícolas presentes en el área de estudio.

#### 1.4. – Objetivo principal

Zonificar a las Sierras Pampeanas Cordobesas en regiones con climas vitícolas semejantes.

#### 1.5. – Objetivos específicos

- Identificar y determinar los climas vitícolas en el área en estudio utilizando información obtenida mediante datos satelitales en el período 2002-2022.

- Geolocalizar las regiones con Climas Vitícolas semejantes.

- Estimar la mediana de la fecha de ocurrencia de primera y última helada para el período 2002-2022 de cada uno de los Climas Vitícolas encontrados en el área en estudio.

- Estimar la temperatura máxima del aire en el mes previo a la cosecha en los distintos climas vitícolas en el período 2002-2022 para evaluar el riesgo climático asociado al estrés por calor.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. – Zona de estudio

La ubicación geográfica y la descripción climática a través de variables meteorológicas como la clasificación de climas presentes en el área, ubicación de las isotermas, isohietas, análisis del riesgo de caída de granizo y la variación de la Evapotranspiración anual en la región son necesarias para entender las características de esta porción del territorio cordobés donde se realiza la zonificación climática vitícola.

#### 2.1.1. – Ubicación geográfica

La zona de estudio tiene una longitud de 525 km de largo y 176 km en su parte más ancha ocupando una superficie de 50.062 km<sup>2</sup>. Abarca la totalidad de las Sierras Pampeanas Cordobesas y sus piedemontes. En la Figura n° 2.6. se observa su ubicación y relieve con indicación de las alturas de los cordones montañosos presentes en el territorio.

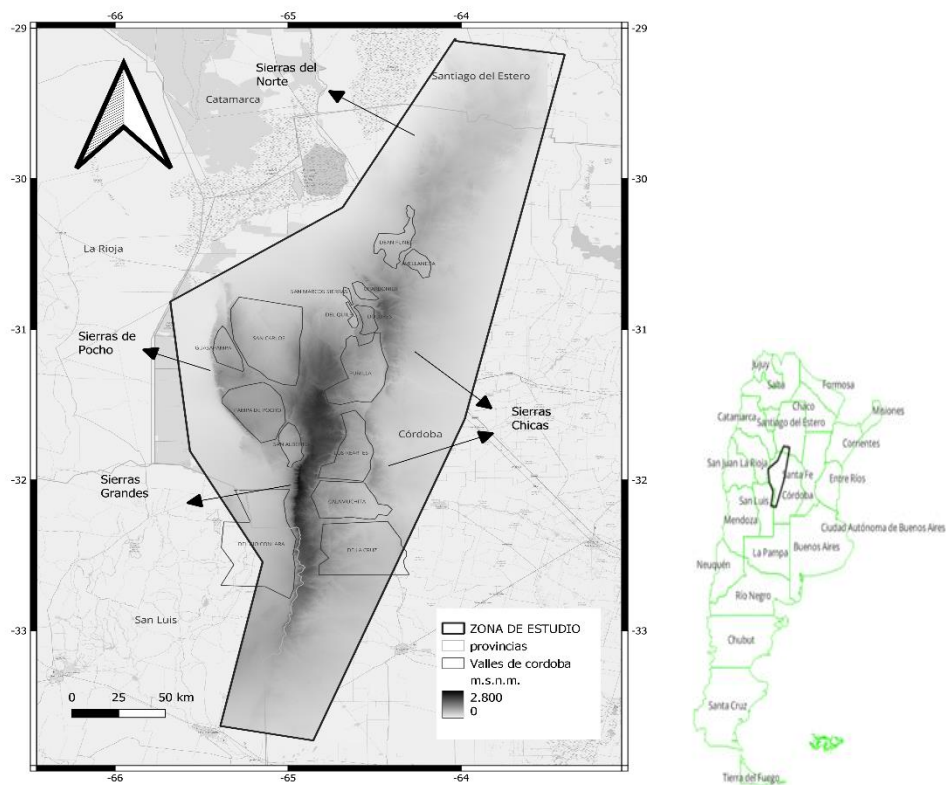


Figura n° 2.6. – Ubicación geográfica de la Zona de estudio con indicación de la altitud, principales cadenas montañosas y valles intermontanos.

En el punto 1.2. se detallan las características geomorfológicas de toda la región a través de la descripción de las regiones naturales presentes en el área de estudio.

## 2.1.2. – Clima

### 2.1.2.1. – Tipos de climas

Como se puede observar en la Figura n° 2.7., la presencia de las Sierras Pampeanas Cordobesas establece un límite entre un clima Subtropical monzónico al centro de la provincia de Córdoba con un tipo Semiárido cálido al Oeste de las Sierras. La variación climática intraserrana está dominada por el incremento de la altitud que provoca una disminución de la temperatura media del aire (Wang *et al.*, 2011) de 0.5 °C cada 100 m de incremento en la altitud. Es por ello que se presentan regiones con climas Subtropical de altura y Semiárido frío en los extremos altitudinales(Beck *et al.*, 2018) .



Figura n° 2.7. - Tipos de clima de Córdoba. Extraído de Köppen-Geiger Mar ARG present.svg. (Beck *et al.*, 2018)

#### 2.1.2.2. – Temperaturas medias anuales

Las temperaturas medias anuales de la Argentina y Córdoba se representan mediante isotermas que se muestran en la Figura n° 2.8. las que oscilan entre 16 y 20 °C, presentando una gradación incremental en la dirección norte-sur (notablemente latitudinal) pero mostrando una disminución de las temperaturas medias en la zona de las Sierras pampeanas cordobesas.

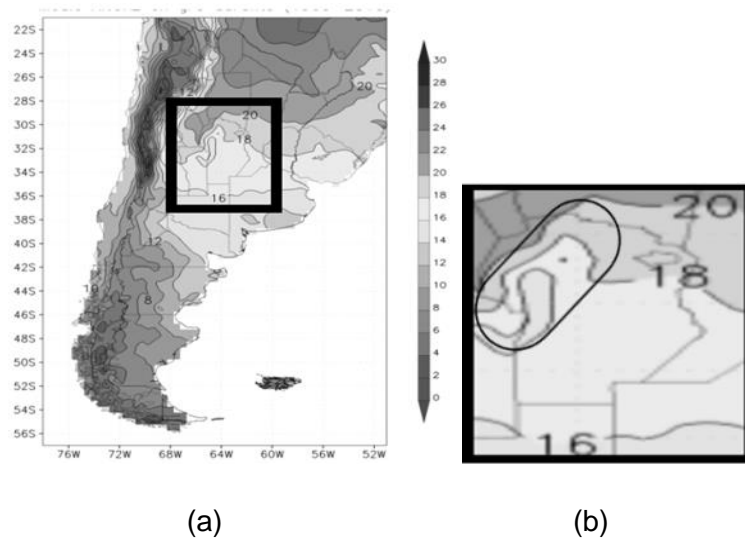


Figura n° 2.8. - Temperatura media anual 1960-2010. (a) República argentina.(b) Provincia de Córdoba señalando el área donde se ubica la zona de estudio. Temperatura en °C. Fuente (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015)

### 2.1.2.3. – Precipitaciones

Se observa en la Figura n° 2.9. como la provincia de Córdoba está atravesada por tres isohietas de precipitación media anual de 800, 600 y 400 mm disminuyendo hacia el oeste (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015)

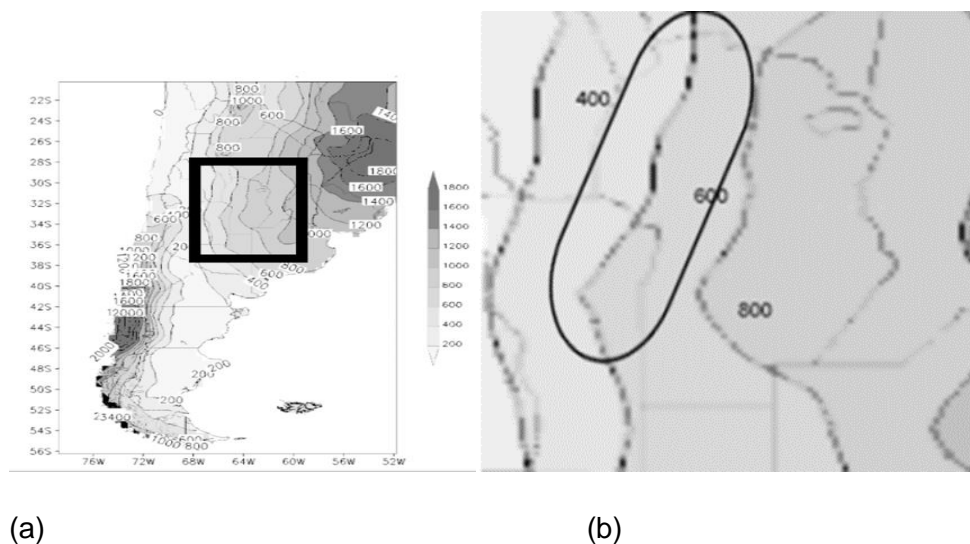
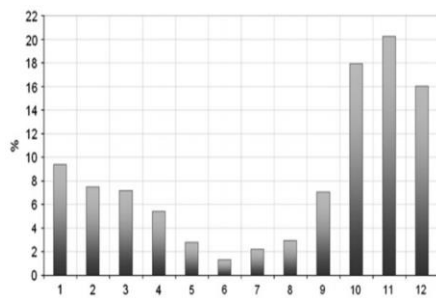


Figura n° 2.9. - Ubicación de las isohietas en (a) Argentina. (b) Provincia de Córdoba señalando el área donde se ubica la zona de estudio. Precipitación media anual (mm), periodo 1960- 2010. (Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015)

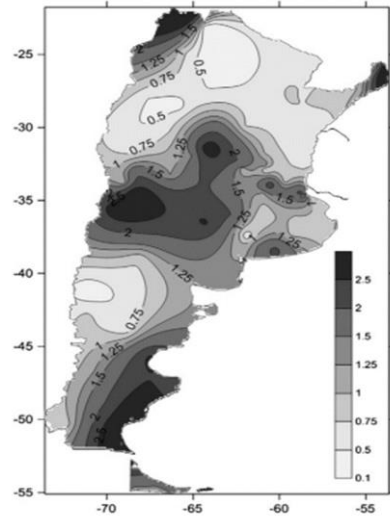
La mayor parte de las precipitaciones en la Provincia de Córdoba ocurren entre octubre y abril denominándose a este régimen climático como de tipo monzónico. (Dasso *et al.*, 2014)

### 2.1.2.4. – Granizo

El riesgo de caída de granizo es mayor en la zona Este de las Sierras Pampeanas Cordobesas con un promedio de 2,7 eventos por año y en el aeropuerto Córdoba con 2,9 eventos por año. Al Oeste de estas montañas, donde el clima es más seco, la frecuencia anual disminuye a 1,4 eventos por año (Mezher *et al.*, 2012). La frecuencia mensual en % de eventos de granizo en Córdoba se muestra en la Figura n° 2.10. donde se observa que más del 50 % del total se precipita en la región entre los meses de octubre y diciembre.



(a)



(b)

Figura n° 2.10. – (a) Frecuencia porcentual de caída de granizos en la provincia de Córdoba. Los números de la abscisa indican los meses del año. (b) Promedio anual de eventos de caída de granizo. (Mezher *et al.*, 2012)

#### 2.1.2.5. – Evapotranspiración potencial anual

La evapotranspiración potencial estimada por el método de Penman fluctúa entre los 880 y los 1.080 mm/año. En la Figura n° 2.11. se puede observar como varía la ETo en Córdoba (Dasso *et al.*, 2014).

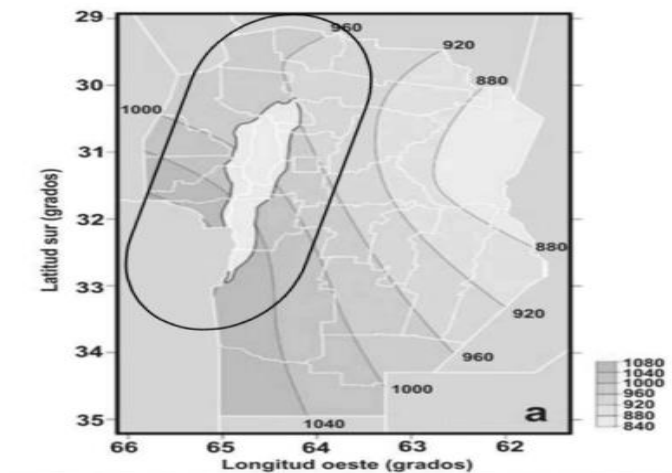


Figura n° 2.11. - ETo anual expresada en mm- Promedio 1961-1990. Tomada de (Dasso *et al.*, 2014)

## 2.2. – Índices bioclimáticos

El Índice Heliotérmico (IH), el Índice de Frescor nocturno (IF) y el Índice de Sequía (IS) se calcularon con datos climáticos obtenidos por teledetección entre los períodos 2002-2003 al 2021-2022. Para IH y IS en el período comprendido entre el 15 de septiembre y el 15 de marzo del año siguiente considerando respectivamente las fechas de brotación y cosecha aproximada en el área de estudio mientras que para el IF entre el 15/02 y el 15/03 considerando el mes previo a la cosecha.

### 2.2.1. - Cálculo del IH y de IF

#### 2.2.1.1. – IH

Se calculó utilizando la fórmula:

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

Donde:

Tmed es la temperatura media diaria del aire (°C)

Tmax la temperatura máxima diaria del aire (°C)

d es el coeficiente largo del día, cuyo valor varía de acuerdo a la latitud a la cual se ubica el viñedo, como se muestra en la Tabla n° 2.1.

Tabla n° 2.3. - Coeficiente “ d “ largo del día de acuerdo a la latitud donde se encuentra la zona de estudio.

Latitud	Coeficiente de largo del día (d)
≤ 40° 00'	1
40°01' - 42°00'	1.02
42°01' - 44°00'	1,03
44°01' - 46°00'	1.04
46°01' - 48°00'	1.05
48°01' - 50°00'	1.06



La zona de estudio se ubica entre la latitud -29.14° S y -33.75° S por lo que el valor de d=1.

Como son veinte los períodos en estudio, se calcula el valor medio utilizando la siguiente fórmula:

$$IH_{prom} = \frac{\sum_1^{20} IH_i}{20}$$

Donde  $IH_i$ : Es el valor del IH de cada uno de los veinte períodos estudiados.

El cálculo del Coeficiente de variación (CV) calculado a partir del  $IH_{prom}$ .

$$CV = DST * \frac{100}{IH_{prom}}$$

En donde DST es la Desviación estándar.

(Tonietto & Carbonneau, 2004) proponen que el resultado obtenido se lo interprete en el marco de clases climáticas vitícolas las cuales representan no solo las diferencias climáticas, sino también las respuestas de la vid, las uvas o sus productos a las condiciones climáticas definidas por el índice considerado. Las clases propuestas en base a la experiencia en la viticultura mundial y fundamentada en el estudio de bases de datos, se muestran a continuación en la Tabla n° 2.4.

Tabla n° 2.4. - Clases de Climas Vitícolas de acuerdo al IH

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

- IH - 3: Clase MUY FRÍO de clima vitícola, incluye las regiones que están en el límite térmico inferior de la vid; bajo estas condiciones sólo las variedades muy tempranas pueden alcanzar la madurez, especialmente las variedades blancas.

- IH - 2: Clase de clima vitícola FRÍO, el potencial heliotérmico permite una gama muy grande de variedades de uvas, blancas o tintas.

- IH - 1: Clase de clima vitícola **TEMPLADO**, en esta clase, las variedades más tardías pueden alcanzar la madurez.

- IH + 1: Clase climática **TEMPLADO CÁLIDO**. En principio no hay limitación heliotérmica para que puedan madurar todas las variedades cultivadas.

- IH + 2: La clase de clima vitícola **CÁLIDO** es caracterizada por un potencial heliotérmico que supera las necesidades para madurar las variedades, incluso las tardías. Puede haber algunos riesgos asociados de estrés.

- IH + 3: En la clase **MUY CÁLIDO** del clima vitícola, no hay limitación heliotérmica para la maduración de las uvas.

#### 2.2.1.2. – IF:

Se calculó, para una temporada, utilizando la siguiente fórmula:

$$IF = \left( \sum_{15/02}^{15/03} T_{min} \right) prom$$

En la zona de estudio se calcula tomando como referencia que la fecha de cosecha promedio de la región es el 15 de marzo.

Como se trata de veinte temporadas en estudio, se utilizó la fórmula.:

$$IF_{prom} = \frac{\sum_{1}^{20} IF_i}{20}$$

Donde  $IF_i$ : Es el valor del IF de cada uno de los veinte períodos estudiados.

El cálculo del Coeficiente de variación (CV) calculado a partir del  $IF_{prom}$ .

$$CV = DST * \frac{100}{IF_{prom}}$$

La clasificación propuesta por Tonietto y Caboneau, 2004 según los valores del IF se presentan en la Tabla n° 2.5.:

Tabla n° 2.5. – Clases de climas vitícolas de acuerdo al Índice de Frescor Nocturno. Extraído de (Tonietto & Carbonneau, 2004)

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

<b>Noches cálidas</b>	> 18	IF -2
-----------------------	------	-------

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: En las noches de clase CÁLIDA, la región vitivinícola se somete a un período de maduración de la uva con altas temperaturas nocturnas para todas las variedades, que pueden afectar al color y potencial aromático de las bayas como se señala en el punto 1.2.3.

- IF - 1: En la clase de clima vitícola de noches TEMPLADAS, las variedades tardías madurarán en condiciones de más bajas temperaturas de la noche que para las variedades tempranas.

- IF +1: Clase de noches FRÍAS, 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, pero de modo que la temperatura nocturna, es favorable para la maduración de cualquier variedad.

- IF + 2: Clase de clima vitícola de noches MUY FRÍAS, con temperaturas nocturnas bajas, que puede 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.

#### 2.2.1.3. – Metodología de cálculo de los índices térmicos

Tanto el IH como el IF son índices térmicos los cuales se calcularon reemplazando, según corresponda, las Temperaturas máximas (TMax), medias (TMed) y mínimas (TMin) del aire por las Temperaturas de la superficie terrestre (LST) máximas (LSTMax), medias (LSTMedia) y mínimas (LSTMin). 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 *et al.*, 2017), Córdoba (Argentina) (Ovando *et al.*, 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, 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 *et al.*, 2019). El sensor MODIS se encuentra a bordo de los satélites TERRA ó EOS-AM lanzado en diciembre de 1999 y AQUA ó EOS-PM lanzado en mayo de 2002. La órbita de ambas plataformas es helio-sincrónica y cuasi-polar con una inclinación de 98.2° y 98°, una altitud media de 708 y 705 Km, respectivamente. Tiene una resolución espacial de aproximadamente 1000m en las Bandas 31 y 32 cuyos centros de bandas son 10.78 a 12.27  $\mu\text{m}$  que se corresponde con el infrarrojo lejano o térmico (<https://lpdaac.usgs.gov>).

En este estudio, utilizamos la colección más nueva de MODIS LST diaria y MODIS LST 8 Dias (colección 6 - C6) a bordo de Terra (MOD11A1) y Aqua (MYD11A1).

- MOD11A1 y MYD11A1

“Los producto *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) TERRA *Land Surface Temperature/Emissivity Daily* (MOD11A1) versión 6.1 y *Moderate Resolution Imaging Spectrorradiometer* (MODIS) AQUA *Land Surface Temperature/Emissivity Daily* (MYD11A1) versión 6.1 proporcionan diariamente la temperatura y la emisividad de la superficie terrestre (LST&E) con una resolución espacial de 1 km. Junto con las bandas de temperatura superficial diurna y nocturna se proporcionan evaluaciones de control de calidad asociadas, tiempos de observación, ángulos cenitales de vista y coberturas de cielo despejado junto con emisividades de las bandas 31 y 32 de los tipos de cobertura terrestre” .

- MOD11A2 y MYD11A2

“Los productos *Moderate Resolution Imaging Spectrorradiometer* (MODIS) TERRA *Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day* (MOD11A2) Version 6.1 y *Moderate Resolution Imaging Spectrorradiometer* (MODIS) AQUA *Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day* (MYD11A2) Version 6.1 proporcionan un promedio de 8 días de *Land Surface Temperature and Emissivity* (LST&E) con una resolución espacial de 1 km. Cada valor de píxel en MOD11A2 es un promedio simple de todos los píxeles LST de MOD11A1 correspondientes recopilados dentro de ese período de 8 días. Se eligió el período de composición de 8 días porque el doble de ese período es el período exacto de repetición de la trayectoria terrestre de las plataformas Terra y Aqua. Junto con las bandas de temperatura superficial diurna y nocturna se proporcionan evaluaciones de control de calidad asociadas, tiempos de observación, ángulos cenitales de vista y coberturas de

cielo despejado junto con emisividades de las bandas 31 y 32 de los tipos de cobertura terrestre” .

Se analizaron veinte períodos desde el año 2002 al 2022. El IH se calcula teniendo en cuenta el período temporal donde ocurre el ciclo del cultivo de la vid en la región en estudio, es decir, comienza el 15 de septiembre y finaliza el 15 de marzo del año siguiente. De cada día, dentro del período en estudio, se obtuvieron cuatro datos de LST diaria que son Terra día (MODD), Terra noche (MODN), Aqua día (MYDD) y Aqua noche (MYDN). Se descargaron las imágenes del área de estudio de los valores de LST diarios a través de los productos M\*DA11A1 y M\*D11A2 de LST diarios y de 8 días respectivamente junto con los valores de calidad asociado a cada imagen. Estos valores clasifican a las imágenes en aquellas que proveen datos de LST de las siguientes características:

- Datos de LST de buena calidad y con un error menor o igual a 1°K entre el LST medido en forma remota respecto al medido en tierra para el mismo punto y en el mismo lugar – Código “0”
- Ausencia de datos de LST por efecto de nubes – Código “2”
- y una serie de imágenes que poseen un error promedio mayor de 1°K en los datos de LST – Códigos “8”, “17”, “65”, “73”, “81”, “129” y “145”.

La utilización de datos de LST de buena calidad – Código “0” muestra mejores resultados en la estimación de la temperatura del aire (Phan *et al.*, 2019)

Los datos MODIS se recopilaron del *USGS Land Processes Distributed Active Centro de Archivo (LP DAAC)* en formato HDF a través del link <https://appears.earthdatacloud.nasa.gov/>

Los datos faltantes por ausencia de imágenes por 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. Con esta metodología se evita la extrapolación como herramienta para estimar el dato faltante en la reconstrucción de la ventana temporal (Morin *et al.*, 2020).

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

TERRA a las 10:08 h (DIA) y a las 22:50 h (NOCHE)

AQUA a las 1:15 h (NOCHE) y a las 14:00 h (DIA)

El valor de LST Mínima de cada día se obtuvo a partir de las imágenes del producto MYD11A1 Noche (1:15 h) promediados con MOD11A1 Día (10:08 h) (Morin et al., 2020). Esta combinación de productos MODIS muestra mejor correlación con respecto a la Temperatura mínima del aire. La razón de este resultado la podemos encontrar en el hecho de que en ese rango horario se da la menor temperatura del aire (Phan et al., 2019)

El valor de LST máxima de cada día se obtuvo a partir de las imágenes del producto MYD11A1 Día(14:00 h) promediados con MOD11A1 Noche (22:50 h)(Morin et al., 2020) . (Phan et al., 2019) evaluaron la influencia de la hora de sobrevuelo respecto a la estimación de la temperatura del aire. Sus resultados muestran que la combinación propuesta de imágenes MYDD-MODN presenta mejor correlación y justifican estos resultados por la incorporación del producto MODN, que es nocturna (22:50 h aprox) por lo que no está influenciada su medición por la radiación solar.

El valor de LST medio se obtuvo promediando LST máximo y LST mínimo de cada día. Como los valores de máximo y mínimo se obtienen utilizando combinaciones de productos MODIS, al promediarlos a ambos para obtener el valor de LST MEDIA se consideran mediciones realizadas a lo largo de todo el día. Con esta combinación de los cuatro productos MODIS se obtuvieron valores de coeficientes de determinación ( $R^2$ ) superiores a 0,93 y valores de RSME menores a 1,29° C para diferentes condiciones de superficie (Phan et al., 2019).

Estas imágenes se procesaron mediante un script en Python de tal forma que aquellos píxeles que tuvieran una calidad de imagen ( $Q_c$ ) diferente a 0, fuesen reemplazados por el valor de su correspondiente píxel del producto promedio de 8 días temporalmente más cercano.

La validación de los productos de LST MODIS son efectuadas por el *Committee on Earth Observation Satellites Working Group on Calibration and Validation Land Product Validation Subgroup* (Guillevic et al., 2017).

En la Figura 2.12. se observa un resumen de información de las horas de sobrevuelo y del cálculo de LST mínima y máxima.

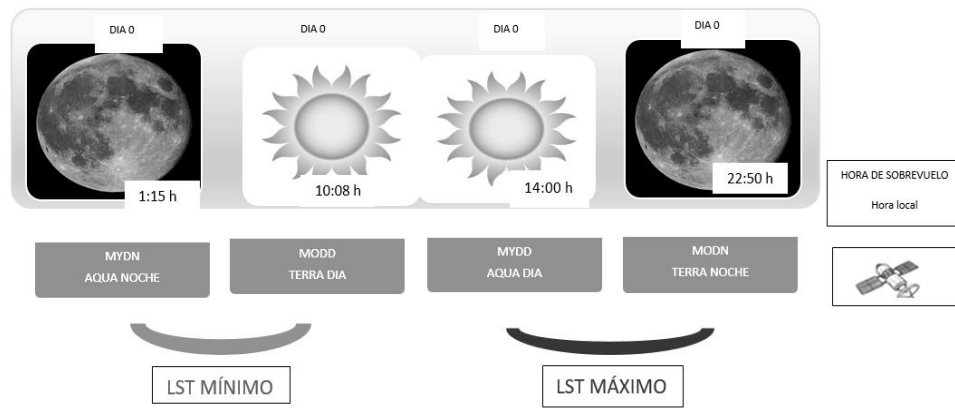


Figura n° 2.12. - Tipos de productos MODIS en los satélites AQUA y TERRA señalando las horas de sobrevuelo en el área de estudio y las imágenes que se promedian para obtener la LST mínima y la LST máxima.

En la Figura n° 2.13. se observa el diagrama de flujo de la información para el cálculo del IH. Con la serie temporal diaria completa de las imágenes de LST mínima y máxima tanto de AQUA como de TERRA para cada día del período en estudio se calcula el IH según la fórmula presentada en 2.2.1.1. mediante un script en Python el cuál devuelve una imagen con los valores del índice cada 1 km<sup>2</sup>. Esta imagen es necesario geolocalizarla, operación ésta que se realiza tomando como referencia otra imagen de la misma zona de estudio ya georeferenciada y por último, y a los efectos de homogeneizar la presentación de los mapas mostrando los rangos de los valores de IH de acuerdo a lo propuesto por (Tonietto & Carbonneau, 2004), se utiliza QGIS versión 3.28, el cual permite visualizar que partes de la zona en estudio presentan los diferentes rangos de valores de IH. Las imágenes son proyectadas estableciendo el SRC del proyecto en WGS 84 /UTM Zone 20s.

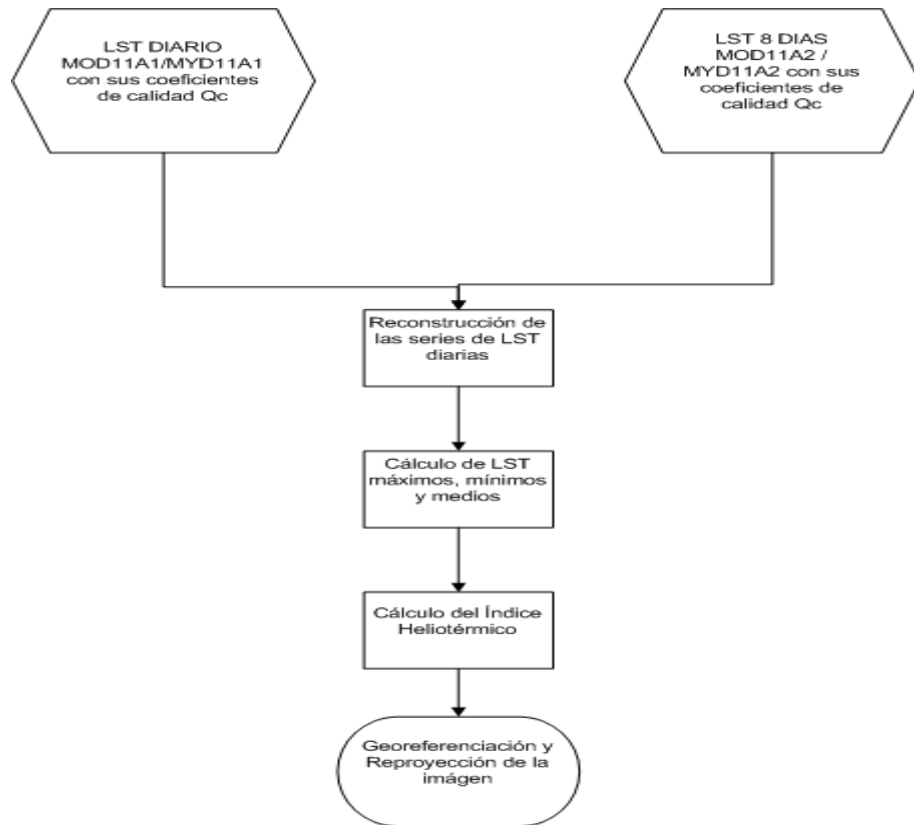


Figura n° 2.13. - Diagrama de flujo para el cálculo del IH

Para el cálculo del IF, Figura n° 2.14, una vez obtenidas las imágenes corregidas de LST mínima tanto de AQUA como de TERRA desde el 15 de febrero al 15 de marzo de cada período en estudio se calcula el Índice de Frescor Nocturno según la fórmula presentada en 2.2.1.2. mediante un script en Python el cuál devuelve una imagen con los valores del índice cada 1 km<sup>2</sup>. Al igual que con el IH, se geolocaliza y gráfica según el procedimiento ya descrito.



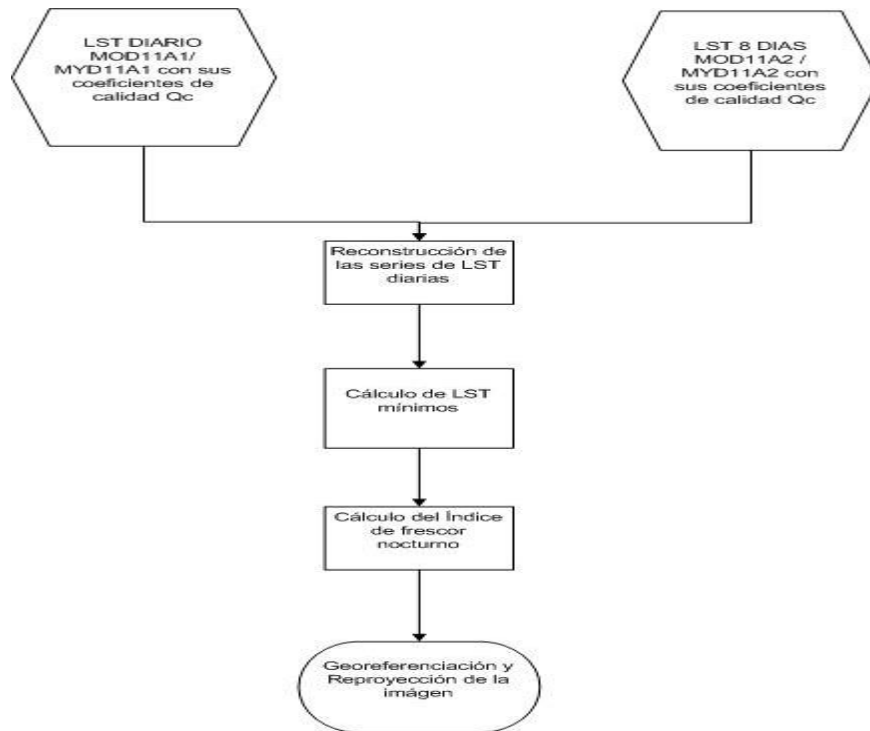


Figura n° 2.14. - Diagrama de flujo para el cálculo del IF

### 2.2.2. – IS

Este índice se calculó de la siguiente manera:

$$IS \text{ (mm)} = W = W_0 + P - T_v - E_s$$

Donde

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

$W_0$ : la reserva inicial de agua útil del suelo, a la que pueden acceder las raíces (mm)

P: es la precipitación (mm)

$T_v$ : la transpiración potencial (mm) en el viña que se calcula de la siguiente manera:

$$T_v = E T_0 . k$$

Donde  $E T_0$  es la evapotranspiración potencial (total mensual en mm), utilizando el método de Penman.

k es el 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.

$E_s$ : Evaporación directa del suelo (mm) y se calcula de la siguiente forma:

$$E_s = E_{T_o} \cdot (1 - k) \cdot J_{Pm} / N$$

Donde N es el número de días del mes

$J_{Pm}$  es el número de días de evaporación efectiva del suelo por mes y se calcula con el valor de precipitación por mes expresado en mm dividido por 5 y se valor debería ser menor o igual a el número de días por mes. En caso contrario se utiliza el valor de N.

El valor de k debe ser adoptado teniendo en cuenta el mes en el que se está calculando el balance hídrico.

$k = 0.1$  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,  $E_{T_o}$ ,  $T_v$  y  $E_s$ .

El valor de W obtenido al momento final y siguiendo lo dicho anteriormente, se denomina Índice de sequía (IS) (Riou et al. 1994)

Para el cálculo del Índice de Sequía se utiliza la fórmula:

$$IS_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^{20} IS_i}{20}$$

Donde  $IS_i$ : Es el valor del IS de cada uno de los veinte períodos estudiados.

El cálculo del Coeficiente de variación (CV) calculado a partir del  $IS_{prom}$ .

$$CV = DST * \frac{100}{IS_{prom}}$$

De acuerdo al valor del Índice de Sequía obtenido, (Tonietto & Carbonneau, 2004) propone la siguiente clasificación que se presenta en la Tabla n° 2.6.

Tabla n° 2.6. - Clasificación según el Índice de Sequía. Extraído de (Tonietto & Carbonneau, 2004)

<b>Clima vitícola</b>	<b>Rango del IS (mm)</b>	<b>Clase</b>
<b>Muy seco</b>	$\leq -100$	IS +2
<b>Moderadamente seco</b>	$-100 < IS \leq 50$	IS +1
<b>Subhúmedo</b>	$50 < IS \leq 150$	IS -1
<b>Húmedo</b>	$> 150$	IS -2

Aparecen dos grandes grupos: regiones húmedas y secas. Estos dos grupos se subdividen en clases cuyas características son:

IS - 2: Clase climática vitivinícola HÚMEDO, esta clase del clima corresponde a "ausencia de sequía", con un alto nivel de disponibilidad de agua en el balance hídrico, lo que puede mermar la calidad, normalmente se obtiene una maduración más óptima de la uva en años menos húmedos.

IS - 1: Clase SUBHÚMEDO del clima vitícola, comparte con el anterior la "ausencia de sequía". Adopta un valor mínimo de 50 mm, siendo éste un valor crítico que indica el haber alcanzado un mínimo de disponibilidad hídrica, con condiciones de restricción en verano.

IS + 1: Clase MODERADAMENTE SECO. Esta clase de Clima Vitícola enfrentará un cierto nivel de sequedad, lo que puede ser favorable a la maduración. En determinados casos se practica el riego.

IS +2: Clase de Clima Vitícola MUY SECO. En el nivel inferior a -100 mm la sequedad potencial ya es marcada, lo que conduce a frecuentes efectos de estrés y en la mayoría de los casos actualmente se practica el riego. El IS inferior a -200 mm caracteriza regiones con una alto déficit de agua disponible en el suelo; estas son las regiones donde el riego es obligatorio y hay una riesgo frecuente de estrés severo si no se riega adecuadamente.

Más detalles respecto al estatus hídrico óptimo para las cada una de las etapas fenológicas de la vid se observan en el punto 1.2.2.2.

### 2.2.2.1. – Metodología de cálculo del IS

Para la variable precipitación, se emplearon los productos satelitales *Integrated Multi-satellite Retrievals para GPM (IMERG) de Global Precipitation Measurement (GPM)* que proporcionan estimaciones de precipitación, incluyendo precipitación sólida y poco intensa, cuasi-globales (60° N – 60° S), a partir del uso combinado de satélites pasivos de microondas (PMW) e infrarrojos (IR) que forman parte de la constelación GPM. El producto IMERG-F (IMERG *Final*), cuyas estimaciones se compara con la información mensual de pluviómetros, son las más precisas 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). Utilizaremos datos de IMERG-DF (Resolución temporal diaria).

Los datos de Evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) se obtuvieron del producto Terra *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) MOD16A2GF* versión 6.1 disponibles en <https://appeears.earthdatacloud.nasa.gov/> . El algoritmo utilizado para la obtención de estos datos de los productos de MOD16 se basan 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/m<sup>2</sup> y con una Resolución espacial de 500 m (Running *et al.*, 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 realiza un remuestreo presentando los datos de precipitación (pp) en una imagen con la misma cantidad de píxeles que la de la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>).

El IS se calculó con base en un período de 6 meses, el mismo utilizado para el IH descrito anteriormente. El valor de  $W$  en el primer momento, es decir al comienzo del período vegetativo es  $W_0$  considerando un valor promedio para los suelos de la región. Con la temporada de lluvias concentradas entre octubre y abril asociado a una disminución en la evapotranspiración hacia finales del verano y la presencia de suelos profundos estructurados por la presencia de bosques naturales permite inferir una buena disponibilidad de agua útil al comienzo del invierno y en consecuencia a comienzos de la primavera. (Sierra *et al.*, 1997) consideraron una disponibilidad de agua útil en el suelo de 100 mm por lo que se utiliza este valor como la reserva inicial de agua útil del suelo, a la que pueden acceder las raíces al comienzo del período vegetativo

En la Figura n° 2.15 se presenta el diagrama de flujo se puede observar el proceso que sufre la información hasta obtener los valores de IS georeferenciados que se presentan para toda el área de estudio.

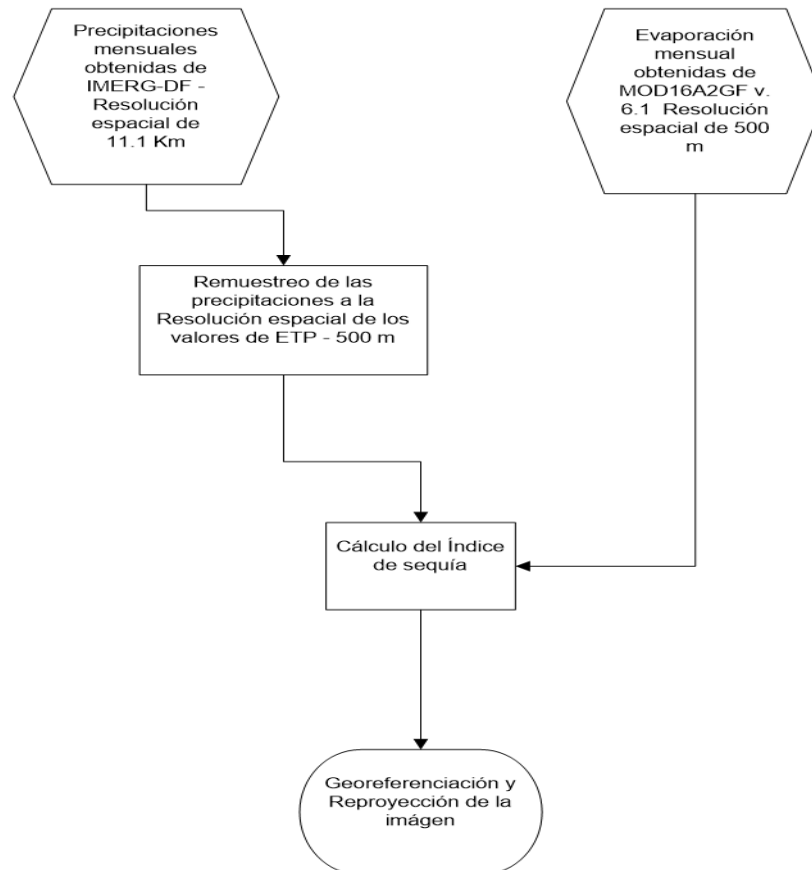


Figura n° 2.15. - Diagrama de flujo del cálculo del IS

### 2.2.3. – Clasificación climática multicriterio geovitícola

A los valores encontrados de IH, IF e IS se los procesó en Phyton donde se obtiene una imagen la que, en un entorno GIS, muestra geolocalizadas las regiones que tienen en común los valores de los índices bioclimáticos tal como se indicó en el punto 1.2.4.5.

#### 2.2.4. – Agrupamiento de los climas vitícolas

A los climas vitícolas encontrados se los agrupa de acuerdo a características climáticas vitícolas comunes:

- Regiones que presentan limitaciones térmicas para la viticultura

En este grupo se incluyen aquellos climas vitícolas que cumplan con alguno de los siguientes criterios:

- a.  $IH < 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Punto 1.2.2.3. y 1.2.4.1.)
- b.  $IF \leq 10^{\circ}\text{C}$  Punto 1.2.2.3. y 1.2.4.2.)
- c. Temperatura máxima promedio en el mes previo a la cosecha  $> 30^{\circ}\text{C}$  (Punto 1.2.2.4. y 1.2.4.1.)

- Regiones con temperaturas mínimas elevadas en el mes previo a la cosecha.

En este grupo se incluyen aquellos climas vitícolas que cumplan con el siguiente criterio:

- a.  $IF > 14^{\circ}\text{C}$  (Punto 1.2.3.4.)

- Regiones con buenas condiciones térmicas.

En este grupo se incluyen aquellos climas vitícolas que cumplan con el siguiente criterio:

- a.  $1500^{\circ}\text{C} < IH < 3000^{\circ}\text{C}$
- b.  $10^{\circ}\text{C} < IF \leq 14^{\circ}\text{C}$

#### 2.2.5. - Variación interanual

Las variaciones interanuales de las condiciones climáticas vitícolas se pusieron de manifiesto a través del análisis de las variables climáticas registradas o calculadas durante las veinte temporadas en estudio. Se consideraron los valores de las siguientes variables: índices bioclimáticos, media de la temperatura máxima del aire, pp y fecha de ocurrencia de las heladas tempranas y tardías. Como estos valores definen las condiciones climáticas vitícolas de la región estudio, al contrastarlos se evidencia si existen cambios en el tipo climático al que están expuestas las vides.

### 2.3. – Riesgo climático asociado con las heladas

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 Night y sus coeficientes de calidad de imagen (Qc) de los productos MODIS MYDA11A1/A2 V.6.1 (Kotikot *et al.*, 2020). Se analizan imágenes desde el año 2002 al 2021 en las fechas comprendidas entre el 15 de marzo hasta el 15 de mayo para las heladas tempranas u otoñales y desde el 1 de septiembre al 30 de octubre para las heladas tardías o primaverales. Estas imágenes se descargan desde el sitio <https://appeears.earthdatacloud.nasa.gov> y se procesan de la manera que se detalla en el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 2.16.

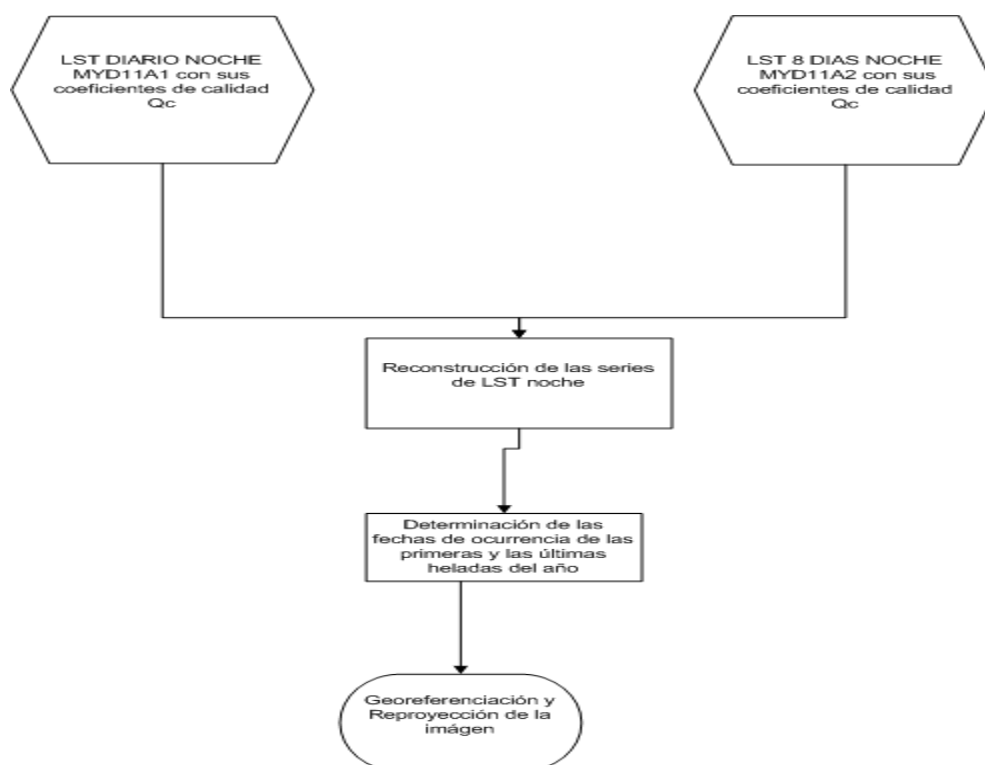


Figura n° 2.16. - Diagrama de flujo para identificar las fechas de ocurrencia de heladas tempranas y tardías.

Con las imágenes obtenidas de los veinte períodos estudiados, se calculó el valor de la mediana por cada píxel de 1 km<sup>2</sup> de la zona de estudio. Se recorta esta imagen por polígonos que representan cada uno de los Climas Vitícolas encontrados en el punto 2.2.3. y sobre este recorte se efectúa el análisis estadístico del cual surge para cada fecha del período analizado si ha ocurrido una helada y la cantidad de píxeles del terreno que han sido censados en esa fecha con temperatura de 0°C o inferior.

#### 2.4. – Riesgo climático relacionado con el calor extremo

Para cada Clima Vitícola se geolocalizaron el promedio de las estimaciones de temperaturas máximas del aire encontradas en los veinte períodos analizados entre septiembre y marzo promediando imágenes obtenidas de la reconstrucción de la serie diaria de los productos LST DIA MOD11A1/A2 y MYD11A1/A2.

#### 2.5. – Riesgo climático relacionado a la ocurrencia de enfermedades criptogámicas

Se calcula y geolocaliza para el período 1 de febrero – 15 de marzo las pp obtenidas de IMERG-F y se relaciona con la temperatura media.

#### 2.6. – Distribución temporal de las precipitaciones y de la evapotranspiración durante el período vegetativo de la vid.

La distribución de la cantidad de lluvia caída entre septiembre y marzo se realiza a partir de las imágenes obtenidas según el diagrama de flujo mostrado en la Figura n° 2.11. y procesadas a los efectos de que cada mes analizado estadísticamente sea el resultado del promedio del mismo mes de los veinte períodos en estudio. Sobre estas imágenes se discriminan las regiones de acuerdo a su Clima Vitícola y se calcula el promedio y la desviación estándar para cada mes estudiado.

#### 2.7. - 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° 2.7. Esta comparación se la realiza 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° 2.7 - Datos de las estaciones del SMN instaladas en el área de estudio

Estación	Latitud	Longitud	Altitud
Córdoba Aero	-31° 18'	-64° 12'	495 m
Villa Dolores Aero	-31° 57'	-65° 8'	566 m

### 3. Resultados

#### 3.1. - Determinación de los climas vitícolas

Al integrar los tres índices bioclimáticos calculados de acuerdo a la metodología expresada en el punto 2.2., se identificaron en el área de estudio veinte Climas Vitícolas. En la Tabla n° 3.8. se presentan los valores medios encontrados de cada uno de los índices para cada Clima Vitícola así como también el área de cada uno de ellos.

Tabla n° 3.8. – Valores calculados de cada uno de los índices bioclimáticos que forman cada Clima vitícola presente en la zona de estudio y el área que ocupa.

Clima vitícola		ISmedio (mm)	IHmedio (° C)	IFmedio (° C)	Área (Km <sup>2</sup> )	%
1	IS+1 IH+2 IF-1	-4	2621	16	20789	41.5
2	IS+1IH+3IF-2	-11	3323	20	12938	25.8
3	IS+1 IH+1IF-1	-3	2330	15	7453	14.9
4	IS+1IH-1 IF-1	-1	2084	15	1190	2.4
5	IS+1 IH+3 IF-1	-10	3064	18	1164	2.3
6	IS-1IH+1 IF-1	51	2186	15	1136	2.3
7	IS-1IH+2 IF-1	47	2520	15	940	1.9
8	IS+1 IH-1 IF+1	-3	1912	13	809	1.6
9	IS+1 IH-3 IF+2	-3	1333	10	563	1.1
10	IS+1 IH+1IF+1	-2	2354	14	548	1.1
11	IS-1 IH-1 IF-1	55	2024	14	480	1
12	IS+1 IH-2 IF+1	0	1727	13	416	0.8
13	IS-1 IH-1 IF+1	44	1918	14	396	0.8

<b>14</b>	IS+1 IH-2 IF+2	-2	1635	12	333	0.7
<b>15</b>	IS-1 IH-3 IF+2	-3	1340	10	300	0.6
<b>16</b>	IS-1 IH-2 IF+1	50	1721	13	201	0.4
<b>17</b>	IS-1 IH-2 IF+2	-2	1507	11	186	0.4
<b>18</b>	IS-1 IH+1 IF+1	51	2354	14	98	0.2
<b>19</b>	IS+1 IH-3 IF+1	-5	1473	14	95	0.2
<b>20</b>	IS+1 IH-2 IF-1	-4	1390	12	27	0.05

3.2. - Valores máximos, medios y mínimo de los índices bioclimáticos en cada clima vitícola

### 3.2.1. - IH

En la Tabla n° 3.9. se observan el valor Medio, Máximo, Mínimo y el coeficiente de variación (CV) del IH para cada Clima Vitícola y en la Figura 3.16. se muestra un gráfico de barras del valor de IH de cada uno de los veinte climas vitícolas contrastados con dos valores de referencias del IH.

Tabla n° 3.9. – Estadísticos descriptivos del IH discriminado por Clima Vitícola

<b>N°</b>	<b>Clima vitícola</b>	<b>Descripción</b>	<b>IHMedio (° C)</b>	<b>IHMáximo (° C)</b>	<b>IHMínimo (° C)</b>	<b>cv (%)</b>
<b>1</b>	IS+1 IH+2 IS-1	Moderadamente seco Cálido Noches templadas	2621	2810	2323	10
<b>2</b>	IS+1 IH+3 IS-2	Moderadamente seco Muy cálido Noches calidas	3320	3533	2924	11
<b>3</b>	IS+1 IH+1 IS-1	Moderadamente seco Templado cálido Noches templadas	2330	2620	2040	12
<b>4</b>	IS+1 IH-1 IF-1	Moderadamente seco Templado Noches templadas	2084	2429	1739	17
<b>5</b>	IS+1 IH+3 IF-1	Moderadamente seco Muy Cálido Noches templadas	3064	3351	2777	9
<b>6</b>	IS-1 IH+1 IF-1	Sub-Húmedo Templado Cálido Noches templadas	2186	2460	1912	13
<b>7</b>	IS-1 IH+2 IF-1	Sub-Húmedo Cálido Noches templadas	2520	2769	2271	10
<b>8</b>	IS+1 HI-1 CI+1	Moderadamenteseco Templado Noches frías	1912	2217	1607	16

9	IS+1 IH-3 IF+2	Moderadamente seco Muy frío Noches muy frías	1349	1521	1123	21
10	IS+1 IH+1 IF+1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches frías	2260	2520	1905	11
11	IS-1 IH-1 IF-1	Sub-Húmedo Templado Noches templadas	2024	2298	1750	14
12	IS+1 IH-2 IF+1	Moderadamente seco Frío Noches frías	1727	2038	1416	18
13	IS-1 IH-1 IF+1	Sub-Húmedo Templado Noches frías	1918	2232	1604	16
14	IS+1 IH-2 IF+2	Moderadamente seco Frío Noches muy frías	1635	1929	1341	18
15	IS-1 IH-3 IF+2	Sub-Húmedo Muy frío Noches muy frías	1340	1595	1085	19
16	IS-1 IH-2 IS+1	Sub-Húmedo Frío Noches frías	1721	2050	1392	19
17	IS-1 IH-2 IF+2	Sub-Húmedo Frío Noches muy frías	1507	1791	1223	19
18	IS-1 IH+1 IF+1	Sub-Húmedo Templado cálido Noches frías	2354	2615	2093	11
19	IS+1 IH+2 IF+1	Moderadamente seco Muy frío Noches frías	1473	1869	1077	27
20	IS+1 IH-2 IF-1	Moderadamenteseco Frío Noches templadas	1390	1736	1044	25

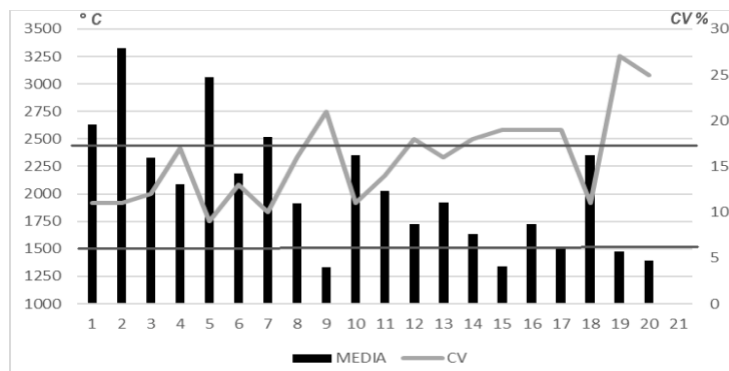


Figura n° 3.17. – IH discriminado por Clima Vitícola.

Referencias: IH= 1500 °C y IH= 2400° C

### 3.2.1.1. - Referencia comparativa

En la Tabla 3.10. se observan los valores del IH, coeficientes de correlación de Pearson y p-valor calculados con datos del SMN respecto a los calculados con sensores remotos

Tabla n° 3.10. - Comparación de IH en dos localizaciones del SMN:

(a) Córdoba aero (b) Villa Dolores aero con respecto a datos MODIS

(a) Córdoba aeropuerto

(b) Villa Dolores aeropuerto

15/09 al 15/03 del período:	IH SMN (° C)	IH sr (° C)	15/9 al 15/3 del período	IH SMN (° C)	IH sr (° C)
<b>02-03</b>	2732	2518	<b>03-04</b>	3231	3178
<b>03-04</b>	2737	2655	<b>04-05</b>	3026	3218
<b>04-05</b>	2704	2437	<b>05-06</b>	2818	2770
<b>05-06</b>	2612	1734	<b>06-07</b>	3253	3124
<b>06-07</b>	2689	2606	<b>07-08</b>	3151	2907
<b>07-08</b>	2682	2629	<b>08-09</b>	3146	2859
<b>10-11</b>	2742	2849	<b>10-11</b>	2735	2772
<b>11-12</b>	2935	2795	<b>11-12</b>	3131	3139
<b>12-13</b>	2640	2665	<b>12-13</b>	3036	3039
<b>13-14</b>	2628	2708	<b>13-14</b>	2941	3051
<b>14-15</b>	2644	2600	<b>14-15</b>	2937	2982
<b>15-16</b>	2540	1719	<b>15-16</b>	2709	2600
<b>16-17</b>	2625	2507	<b>16-17</b>	2876	2784
<b>17-18</b>	2757	2800	<b>17-18</b>	2940	3113
<b>18-19</b>	2627	2800	<b>18-19</b>	2830	2785
<b>19-20</b>	2803	2743	<b>PROMEDIO</b>	2984	2955
<b>20-21</b>	2718	2674			
<b>PROMEDIO</b>	2695	2555			

Coef. de correlación de Pearson: 0.58

Coef. de correlación de Pearson: 0.72

p-valor: 0.015219

p-valor: 0.002463

En la serie de datos del SMN Córdoba aeropuerto falta el período 08-09 y 09-10 y en la serie de datos del SMN Villa Dolores los períodos 20-21.

### 3.2.2. - IF

En la Tabla n° 3.11. se observan para los veinte climas vitícolas, el valor Medio, Máximo, Mínimo y el coeficiente de variación (CV) del IF y en la Figura n° 3.18. se muestran los valores de IF para cada temporada contrastado con dos referencias IF < 10°C e IF > 14°C.

Tabla n° 3.11. – Estadísticos descriptivos de IF discriminado por clima vitícola

N°	Climas vitícolas		IFMedio (° C)	IFMáximo (° C)	IFMínimo (° C)	C V %
1	IS+1 HI+2 IF-1	Moderadamente seco Cálido Noches templadas	16	18	15	12
2	IS+1 HI+3 IF-2	Moderadamente seco Muy Cálido Noches cálidas	20	22	16	10
3	IS+1 IH+1 IF-1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches templadas	15	17	13	13
4	IS+1 IH-1 IF-1	Moderadamente seco Templado Noches templadas	15	17	13	13
5	IS+1 IH+3 IF-1	Moderadamente seco Muy Cálido Noches templadas	18	20	16	11
6	IS-1 HI+1 IF-1	Sub-Húmedo Templado Cálido Noches templadas	15	17	13	13
7	IS-1 IH+2 IF-1	Sub-Húmedo Cálido Noches templadas	15	17	13	13
8	IS+1 IH-1 IF+1	Moderadamente seco Templado Noches frías	13	14	12	8
9	IS+1 IH-3 IF+2	Moderadamente seco Muy Frío Noches muy frías	10	12	8	10
10	IS+1 IH+1 IF+1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches frías	14	16	12	14
11	IS-1 IH-1 IF-1	Sub-Húmedo Templado Noches templadas	14	16	12	14
12	IS+1 IH-2 IF+1	Moderadamente seco Frio Noches frías	13	14	12	8

13	IS-1 HI-1 IF+1	Sub-Húmedo Templado Noches frías	14	16	12	14
14	IS+1 IH-2 IF+2	Moderadamente seco Frío Noches muy frías	12	13	11	8
15	IS-1 IH-3 IF+2	Sub-Húmedo Muy frío Noches muy frías	10	12	8	20
16	IS-1 IH-2 IF+1	Sub-Húmedo Frío Noches frías	13	14	12	8
17	IS-1 HI-2 IF+2	Sub-Húmedo Frío Noches muy frías	11	12	10	9
18	IS-1 IH+1 IF+1	Sub-Húmedo Templado cálido Noches frías	14	16	12	14
19	IS+1 IH-3 IF+1	Moderadamente seco Muy frío Noches frías	14	15	13	7
20	IS+1 IH-2 IF-1	Moderadamente seco Frío Noches templadas	12	14	10	17

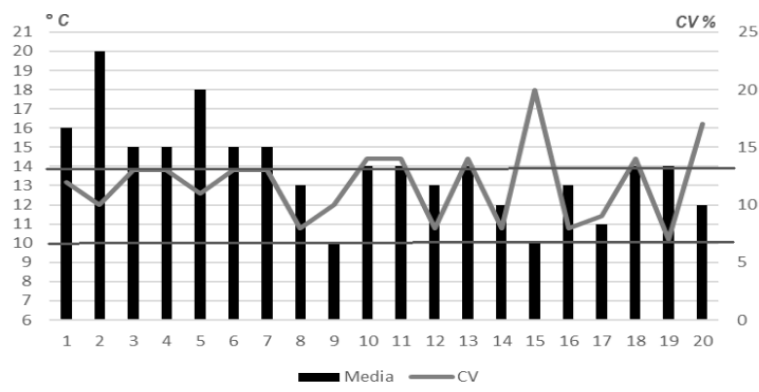


Figura n° 3.18. – IFmedio discriminado por Clima Vitícola. Referencias:  
Líneas contrastadas de IF < 10° C y IF > 14° C

### 3.2.2.1. – Referencias comparativas del IF

En la Tabla 3.12. se observan los valores del IF, coeficientes de correlación de Pearson y p-valor calculados con datos del SMN respecto a los calculados con datos MODIS

Tabla n° 3.12. - Comparación de IF con datos del SMN con respecto a obtenidos con sensores remotos en (a) Villa Dolores aeropuerto y (b) Córdoba aeropuerto

(a) Villa Dolores aeropuerto

(b) Córdoba aeropuerto

<b>15/02 al 15/03 del año</b>	<b>IFsm n (°C)</b>	<b>IFsr (° C)</b>	<b>15/02 al 15/03 del año</b>	<b>IFsm n (° C)</b>	<b>IFsr (° C)</b>
2003	16	18	2003	16	16
2004	16	18	2004	15	14
2005	18	20	2005	17	16
2006	17	18	2006	16	16
2007	17	18	2007	16	16
2008	16	16	2008	17	16
2009	17	18	2010	17	17
2010	18	20	2011	19	19
2011	16	16	2012	14	15
2012	20	20	2013	13	15
2013	16	19	2014	16	17
2014	15	17	2015	16	16
2015	18	20	2016	16	18
2016	17	17	2017	14	16
2017	18	20	2018	16	18
2018	17	18	2019	16	16
2019	17	20	2020	17	16
<b>PROMEDIO</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>16</b>	<b>16</b>

Coef. de correlación de Pearson: 0.71

Coef. correlación de Pearson: 0.64

p-valor: 0.001262

p-valor: 0.005562

### 3.2.3. - IS

En la Tabla n° 3.13. se observa los estadísticos descriptivos de IS discriminado por Climas Vitícolas y en la Figura n° 3.19. se grafican los valores de IS y su CV % contrastando los valores de IS con IS = 50 mm.

Tabla n° 3.13. – Estadísticos descriptivos del IS discriminado por Climas Vitícolas

N°	CLIMAS VITÍCOLAS		ISmedio (mm)	ISmáximo (mm)	ISmínimo (mm)	CV (%)
1	IS+1 IH+2 IF-1	Moderadamente seco Cálido Noches templadas	-4	22	-30	650
2	IS+1 IH+3 IF-2	Moderadamente seco Muy Cálido Noches cálidas	-11	17	-39	255
3	IS+1 IH+1 IF-1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches templadas	-3	25	-31	933
4	IS+1 IH-1 IF-1	Moderadamente seco Templado Noches templadas	-1	28	-30	300 0
5	IS+1 IH+3 IF-1	Moderadamente seco Muy Cálido Noches templadas	-10	15	-35	250
6	IS-1 IH+1 IF-1	Sub-Húmedo Templado Cálido Noches templadas	51	89	13	600
7	IS-1 IH+2 IF-1	Sub-Húmedo Cálido Noches templadas	47	11	83	700
8	IS+1 IH-1 IF+1	Moderadamentesecco Templado Noches frías	-3	25	-31	933
9	IS+1 IH-3 IF+2	Moderadamente seco Muy Frío Noches muy frías	-3	23	-29	867
10	IS+1 IH+1 IF+1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches frías	-2	23	-27	125 0
11	IS-1 IH-1 IF-1	Sub-Húmedo Templado Noches templadas	55	95	15	300
12	IS+1 IH-2 IF+1	Moderadamente seco Frío Noches frías	0	29	-29	900
13	IS-1 HI-1 IF+1	Sub-Húmedo Templado Noches frías	44	8	80	200
14	IS+1 IH-2 IF+2	Moderadamentesecco Frío Noches muy frías	-2	26	-28	140 0



15	IS-1 IH-3 IF+2	Sub-Húmedo Muy frío Noches muy frías	-3	23	-29	867
16	IS-1 IH-2 IF+1	Sub-Húmedo Frío Noches frías	50	89	11	200
17	IS-1 HI-2 IF+2	Sub-Húmedo Frío Noches muy frías	-2	24	-28	130 0
18	IS-1 IH+1 IF+1	Sub-Húmedo Templado cálido Noches frías	51	92	10	200
19	IS+1 IH-3 IF+1	Moderadamente seco Muy frío Noches frías	-5	21	-31	520
20	IS+1 IH-2 IF-1	Moderadamentesecco Frío Noches templadas	-4	20	-28	600

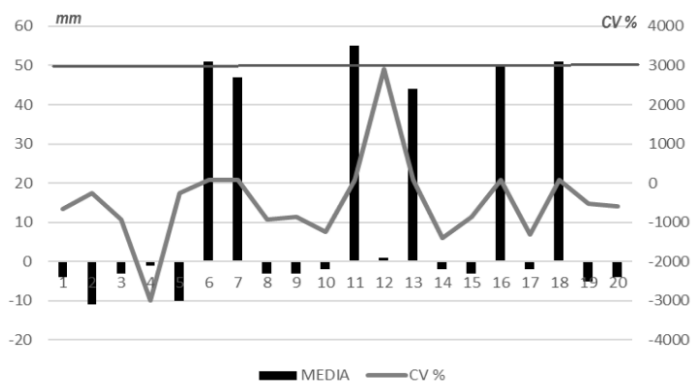


Figura n° 3.19. – IS discriminado por Clima Vitícola.

Referencia: IS = 50 mm

### 3.2.3.1. – Referencia comparativa del IS

Se calcula el coeficiente de correlación de Pearson y el promedio de IS para las estaciones del SMN: Córdoba aeropuerto y Villa Dolores aeropuerto comparados con los obtenidos para ese punto con sensores remotos.

Tabla n° 3.14. - Comparación de Índice de sequía calculado con datos de las localizaciones del SMN (a) Villa Dolores aeropuerto y (b) Córdoba aeropuerto con respecto a datos obtenidos con sensores remotos

(a) Villa Dolores aeropuerto			(b) Córdoba aeropuerto		
15/09 al 15/03 del período:	ISsm n (mm)	ISsr (mm)	15/09 al 15/03 del período:	ISsmn (mm)	ISsr (mm)
02-03	34	15	02-03	144	42
03-04	-0.5	-31	03-04	-3	0
04-05	-36	-15	04-05	4	12
05-06	-10	-7	05-06	-30	-14
06-07	7	-3	06-07	79	4
07-08	60	11	07-08	14	1
08-09	-12	-32	09-10	40	84
09-10	-7	24	10-11	6	-30
10-11	-13	-18	11-12	-30	-27
11-12	-34	-22	12-13	21	41
12-13	-27	-12	13-14	112	92
13-14	90	165	15-16	70	37
15-16	87	26	16-17	-12	-22
16-17	-6	-22	17-18	-38	-38
17-18	-38	-36	18-19	37	55
18-19	13	59	19-20	91	-33
<b>Promedio</b>	7	6	<b>20-21</b>	5	0
			<b>Promedio</b>	30	12

Coef de correlación de Pearson: 0.73

Coef de correlación de Pearson: 0.57

p-valor: 0.001458

p-valor: 0.017907

Para la serie de datos de Villa Dolores aeropuerto se dispone hasta el período 18-19 mientras que para Córdoba aeropuerto el período 14-15 no se consideró por obtenerse un valor fuera de rango.

3.3. – Estadísticos descriptivos de las temperaturas máximas por clima vitícola

En la Tabla n° 3.15. se presentan los valores de los estadísticos descriptivos de la Temperatura del aire máxima discriminadas por Clima Vitícola en el mes previo a la cosecha y en la Figura n° 3.20. se grafican estos resultados con indicación de la temperatura de 30° C.

Tabla n° 3.15. – Media, máximo y mínimos de la Temperatura máxima del aire en el mes previo a la cosecha para cada clima vitícola

N°	Clima vitícola		TMedia (° C)	TMáxima (° C)	TMínima (° C)	CV %
1	IS+1 IH+2 IF-1	Moderadamente seco Cálido Noches templadas	29	32	23	10
2	IS+1 IH+3 IF-2	Moderadamente seco Muy Cálido Noches cálidas	33	36	26	15
3	IS+1 IH+1 IF-1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches templadas	28	31	25	11
4	IS+1 IH-1 IF-1	Moderadamente seco Templado Noches templadas	27	30	24	11
5	IS+1 IH+3 IF-1	Moderadamente seco Muy Cálido Noches templadas	33	36	30	9
6	IS-1 IH+1 IF-1	Sub-Húmedo Templado Cálido Noches templadas	28	31	25	11
7	IS-1 IH+2 IF-1	Sub-Húmedo Cálido Noches templadas	29	32	26	10
8	IS+1 IH-1 IF+1	Moderadamente seco Templado Noches frías	27	30	24	11
9	IS+1 IH-3 IF+2	Moderadamente seco Muy Frío Noches muy frías	24	26	22	8
10	IS+1 IH+1 IF+1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches frías	26	29	23	11
11	IS-1 IH-1 IF-1	Sub-Húmedo Templado Noches templadas	27	30	24	11
12	IS+1 IH-2 IF+1	Moderadamente seco Frío Noches frías	25	28	22	12

13	IS-1 HI-1 IF+1	Sub-Húmedo Templado Noches frías	27	30	24	11
14	IS+1 IH-2 IF+2	Moderadamente seco Frío Noches muy frías	25	28	22	12
15	IS-1 IH-3 IF+2	Sub-Húmedo Muy frío Noches muy frías	24	26	22	8
16	IS-1 IH-2 IF+1	Sub-Húmedo Frío Noches frías	26	29	23	12
17	IS-1 HI-2 IF+2	Sub-Húmedo Frío Noches muy frías	25	27	23	8
18	IS-1 IH+1 IF+1	Sub-Húmedo Templado cálido Noches frías	27	30	24	11
19	IS+1 IH-3 IF+1	Moderadamente seco Muy frío Noches frías	24	27	21	13
20	IS+1 IH-2 IF-1	Moderadamentesecco Frío Noches templadas	23	26	20	13

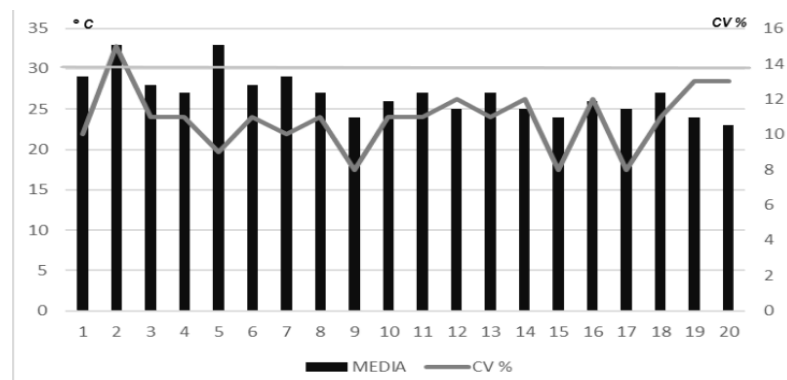


Figura n° 3.20. – Valor medio de la Temperatura máxima del aire con su correspondiente CV de cada clima vitícola.

### 3.3.1. - Referencia comparativa de las temperaturas máximas

Se realiza una comparación entre temperaturas máximas promediadas desde el 15 de febrero y el 15 de marzo medidas en dos estaciones meteorológicas del SMN Córdoba aeropuerto y Villa Dolores aero respecto a datos obtenidos mediante sensores remotos para esa misma localización. Se calculan los coeficientes de correlación de Pearson y el p-valor correspondiente. En la Tabla n° 3.16 (a) y (b) se observan estos resultados.

Tabla n° 3.16. - Temperaturas máximas registradas en SMN Córdoba aeropuerto y Villa Dolores aeropuerto respecto a datos obtenidos mediante sensores remotos

(a) Córdoba Aeropuerto

(b) Villa Dolores aeropuerto

15/02 al 15/03 del año:	TMAXsmn (° C)	LSTsr (° C)	15/02 al 15/03 del año:	TMAX smn (° C)	LSTsr (° C)
03	27	31	03	30	34
04	28	32	04	31	33
05	28	31	05	29	33
06	28	30	06	29	31
07	27	29	07	28	29
08	27	28	08	28	29
09	30	35	09	31	33
10	27	28	10	30	31
11	28	31	11	30	30
12	29	29	12	33	33
13	26	29	13	30	33
14	25	28	14	26	28
15	27	24	15	29	30
16	27	23	16	30	28
17	27	30	17	32	32
18	30	35	18	31	31
19	28	30	19	30	32
20	29	29	PROMEDIO	30	31
21	29	30			
PROMEDIO	28	30			

Coef. de correlación de Pearson: 0.58

Coef. de correlación de Pearson: 0.63

p-valor: 0.006211

p-valor: 0.006415

Para la serie de datos de Villa Dolores aeropuerto se dispone hasta el año 2019.

3.4.- ETo y pp promedios discriminadas por clima vitícola

En la Tabla 3.17. se presentan los valores medios de pp y de ETo (1 de Febrero al 15 de marzo // 2003-2022) y en el Gráfico n° 3.21 se grafican estos resultados..

Tabla n° 3.17. – Estimaciones de pp y ETo discriminado por Clima Vitícola (01/02 a 15/03 // 2003-2022) previo a la cosecha.

Clima vitícola			pp (mm)	ETo (mm)
1	IS+1 IH+2 IF-1	Moderadamente seco Cálido Noches templadas	232	276
2	IS+1 IH+3 IF-2	Moderadamente seco Muy Cálido Noches cálidas	215	285
3	IS+1 IH+1 IF-1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches templadas	242	303
4	IS+1 IH-1 IF-1	Moderadamente seco Templado Noches templadas	244	294
5	IS+1 IH+3 IF-1	Moderadamente seco Muy Cálido Noches templadas	223	329
6	IS-1 IH+1 IF-1	Sub-Húmedo Templado Cálido Noches templadas	258	285
7	IS-1 IH+2 IF-1	Sub-Húmedo Cálido Noches templadas	252	279
8	IS+1 IH-1 IF+1	Moderadamentesecco Templado Noches frias	251	240
9	IS+1 IH-3 IF+2	Moderadamente seco Muy Frío Noches muy frías	261	244
10	IS+1 IH+1 IF+1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches frias	225	246
11	IS-1 IH-1 IF-1	Sub-Húmedo Templado Noches templadas	260	246

<b>12</b>	IS+1 IH-2 IF+1	Moderadamente seco Frío Noches frías	251	238
<b>13</b>	IS-1 HI-1 IF+1	Sub-Húmedo Templado Noches frías	264	253
<b>14</b>	IS+1 IH-2 IF+2	Moderadamente seco Frío Noches muy frías	259	242
<b>15</b>	IS-1 IH-3 IF+2	Sub-Húmedo Muy frío Noches muy frías	266	240
<b>16</b>	IS-1 IH-2 IF+1	Sub-Húmedo Frío Noches frías	264	237
<b>17</b>	IS-1 HI-2 IF+2	Sub-Húmedo Frío Noches muy frías	267	242
<b>18</b>	IS-1 IH+1 IF+1	Sub-Húmedo Templado Cálido Noches frías	247	266
<b>19</b>	IS+1 IH-3 IF+1	Moderadamente seco Muy frío Noches frías	254	244
<b>20</b>	IS+1 IH-2 IF-1	Moderadamente seco Frío Noches templadas	251	241

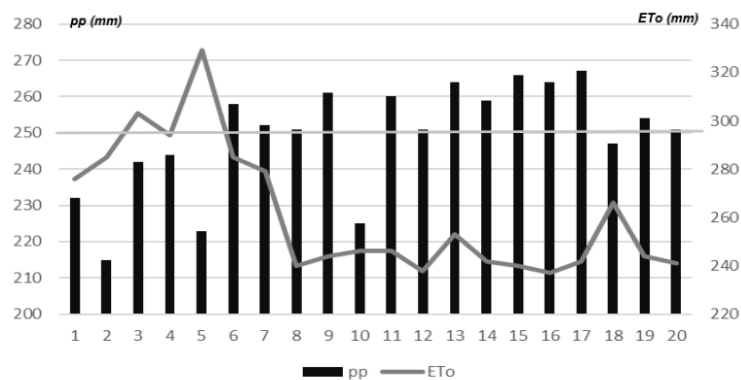


Figura n° 3.21. – Comparación entre la media de la ETo y las pp en el período 01/02 al 15/03. Línea de contraste de 250 mm de pp.

### 3.5. - Agrupamiento de los climas vitícolas

En la Tabla n° 3.18. se presentan las regiones con los climas vitícolas agrupados de acuerdo a los criterios expresados en el punto 2.2.4. identificando las de mayor superficie de cada uno de estos grupos y mostrándose la variación interanual del IH, IF, IS, temperatura máxima en el mes previo de la cosecha, pp y fecha de ocurrencia de heladas tardías y tempranas.

Tabla n° 3.18. – Regiones con climas vitícolas agrupados con indicación de la de mayor área de cada grupo.

Criterio de agrupamiento		Regiones con los climas vitícolas n°	Región de mayor área con el clima vitícola n°
Limitaciones térmicas severas	IH ≤ 1500° C e IF ≤ 10° C	9, 15, 17, 19 y 20	9
	IH > 3000° C, IF > 18° C y T° máx > 30° C en el mes previo a la cosecha	2 y 5	2
Temperatura mínima elevada en el mes previo a la cosecha	IF > 14° C y T° máx < 30° C en el mes previo a la cosecha	1, 3, 4, 6 y 7	1
Buenas condiciones térmicas	1600 < IH < 2100° C y 12 < IF < 14° C	8, 11, 12, 13, 14 y 16	8
	IH ≈ 2400° C y IF ≈ 14° C	10 y 18	10

### 3.5.1. - Regiones con Climas vitícolas con limitaciones térmicas severas

En un área de 15.273 Km<sup>2</sup> (30.5 % del área total en estudio), es posible distinguir dos condiciones ambientales diferentes. Por una parte, los climas vitícolas n° 2 y 5 (Figura n° 3.22.) que se ubican al Oeste de las Sierras de Pocho, del cordón occidental de las Sierras del Norte y la porción de la zona de estudio que ingresa a Santiago del Estero, presentan medias de temperaturas del aire máximas superiores a 30° C en el mes previo a la cosecha, IH +3, IF -2 e IS +1 (Tabla n° 3.8.). La variación interanual del Clima vitícola n° 2, presenta en todas las temporadas analizadas medias de IH +3, IF -2 y temperaturas máximas mayor a 30° C (Figura n° 3.23., 3.24. y 3.25. respectivamente). Por la otra, los climas vitícolas n° 9, 15, 17, 19 y 20 (Figura n° 3.22.) que se ubican en las regiones de mayor altitud de las Sierras Grandes y de las Sierras Chicas presentan IH -3, IF



+2 e IS +1. La variación interanual del Clima vitícola n° 9 muestra en todas las temporadas IH -3 e IF +2 (Figuras n° 3.26. y 3.27.).

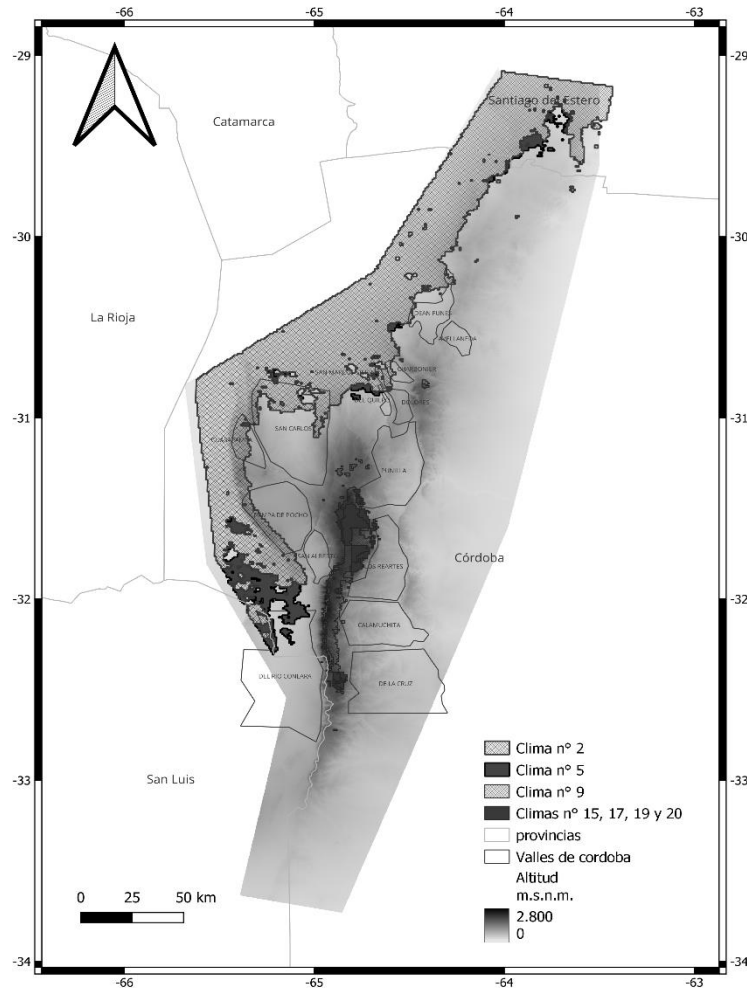


Figura n° 3.22. - Regiones con climas vitícolas n° 2 y 5 (color rojo); 9, 15, 17, 19 y 20 (color azul) con indicación de la altitud y de los valles intermontanos

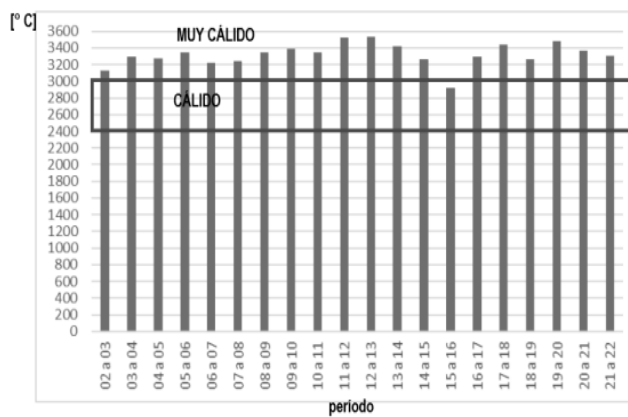


Figura 3.23. - Variación interanual del IH para el clima vitícola n° 2

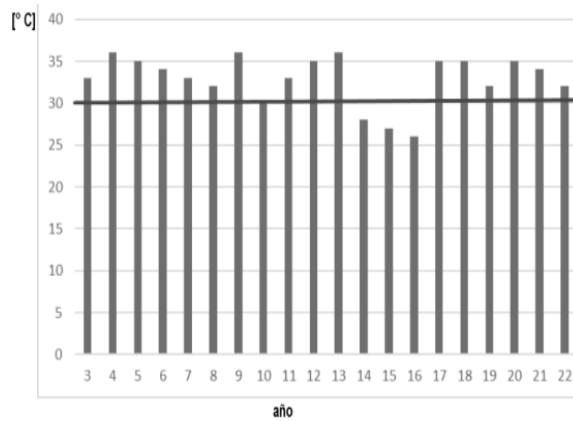


Figura n° 3.24. - Variación interanual de la media de la temperatura máxima en el mes previo a la cosecha para el clima vitícola n° 2

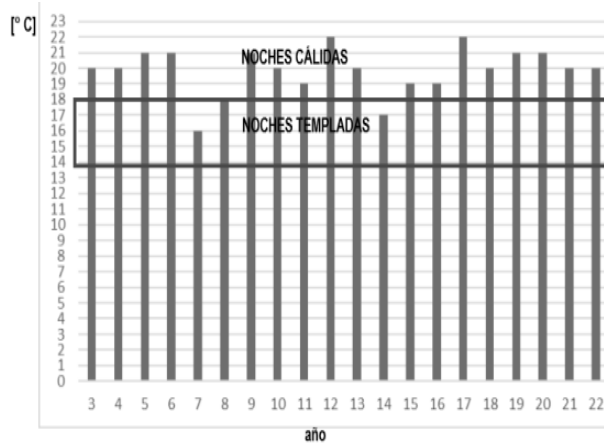


Figura n° 3.25. - Variación interanual del IF para el clima vitícola n° 2

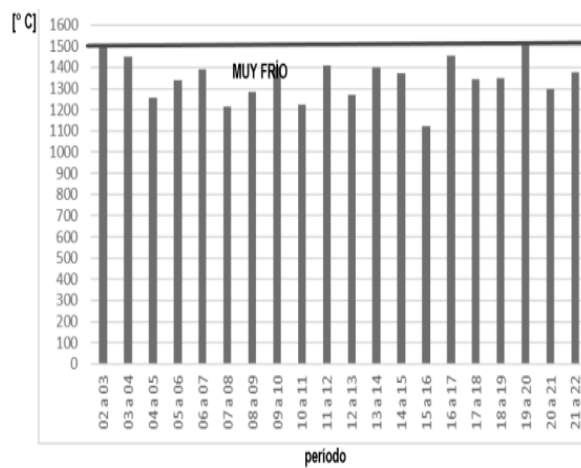


Figura n° 3.26. - Variación interanual del IH del clima vitícola n° 9

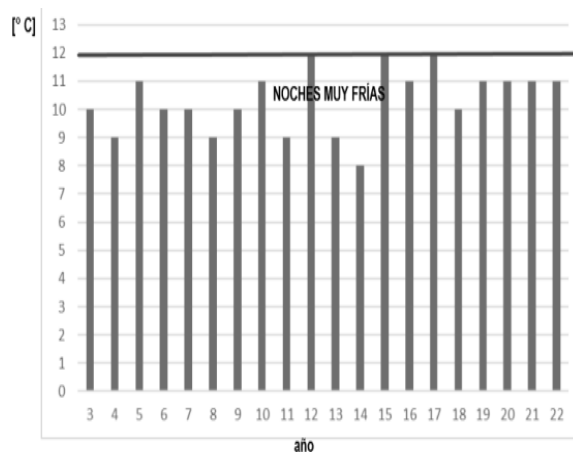


Figura n° 3.27.- Variación interanual del IF del clima vitícola n° 9

3.5.2. - Regiones con Climas vitícolas que presentan temperaturas mínimas elevadas en el mes previo a la cosecha

En un área de 31.508 km<sup>2</sup> (62.9 % del área de estudio) se identifican los climas vitícolas n° 1, 3, 4, 6 y 7 (Figura n° 3.28.) ubicados al Oeste de las Sierras Grandes, valles de San Javier, Nono, San Alberto y San Carlos, Cruz del eje y gran parte de las Sierras del Norte y sus piedemontes, valle de Punilla excepto en sus puntos de mayor altitud (1200 m aproximadamente), Calamuchita y de la Cruz excepto en la ladera oriental de las Sierras Grandes de mayor altitud - 1200 m aproximadamente. Presentan valores medios de IF -1, IH entre IH -1, IH +1 e IH +2, IS +1 (Tabla n° 3.8.), las pp acumuladas en el período 1 de agosto a 15 de septiembre es superior a los 230 mm (Tabla n° 3.17.), la mediana de las fechas de heladas tardías es el 15/09 (Tabla n° 3.20.) y la Amplitud Térmica entre 12 y 14°C (Tabla n° 3.22.) . La variación interanual del Clima Vitícola n° 1 presenta valores de IH +2, IF -1, las pp (1 de agosto - 15 de septiembre) mayoritariamente debajo de la media 191 mm, la media de las temperaturas máximas en general están por debajo de los 30° C pero es de esperar que en algunas temporadas superen este valor y la media de las pp respecto respecto a la ETo presenta valores inferiores en todos los meses estudiados (Figuras n° 3.29., 3.30., 3.31., 3.32. y 3.33. respectivamente).

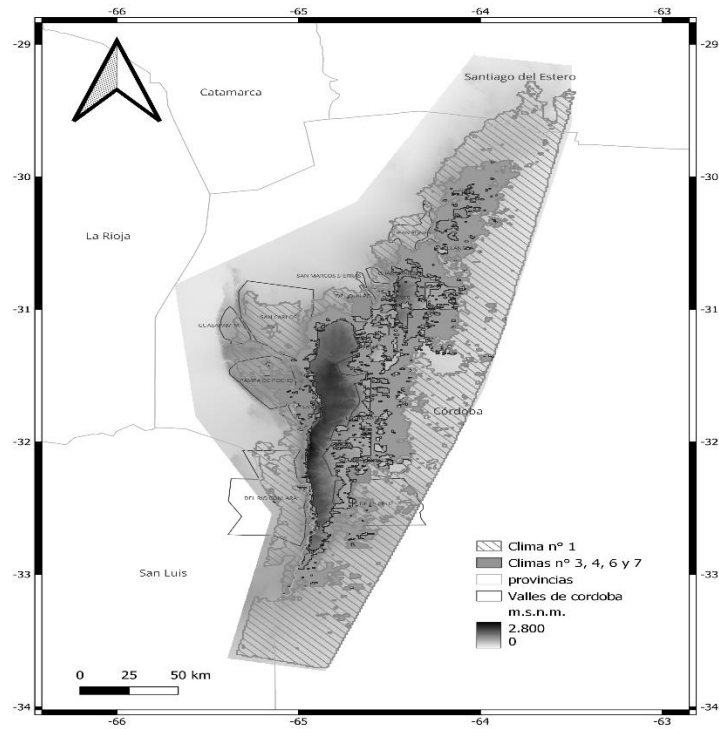


Figura n° 3.28. - Regiones con climas vitícolas n° 1, 3, 4, 6 y 7

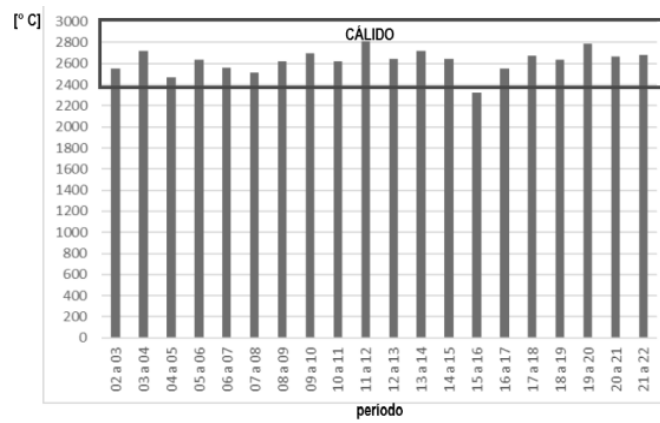


Figura n° 3.29. - Variación interanual del IH del clima vitícola n° 1

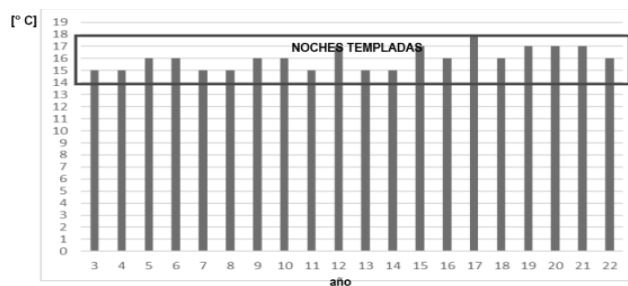


Figura n° 3.30. - Variación interanual del IF del clima vitícola n° 1

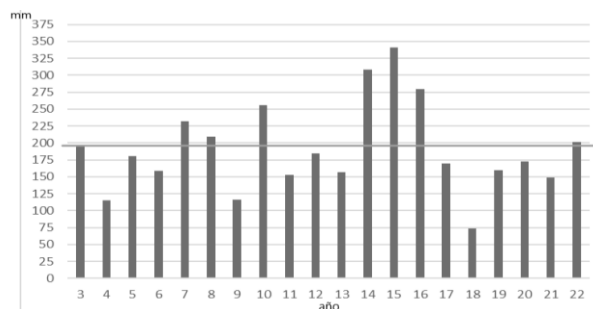


Figura n° 3.31. - Variación interanual de pp del clima vitícola n° 1.

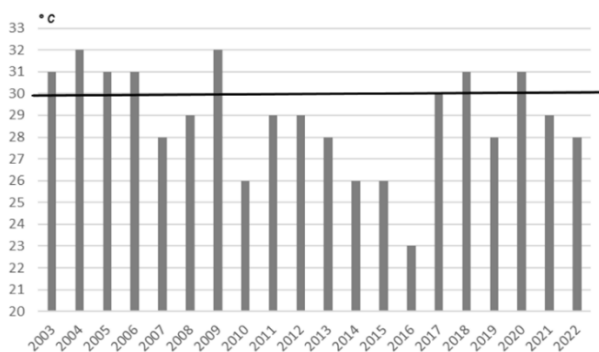


Figura n° 3.32. – La media de la temperatura máxima del aire en el mes previo a la cosecha: Variación interanual del Clima Vitícola n° 1.

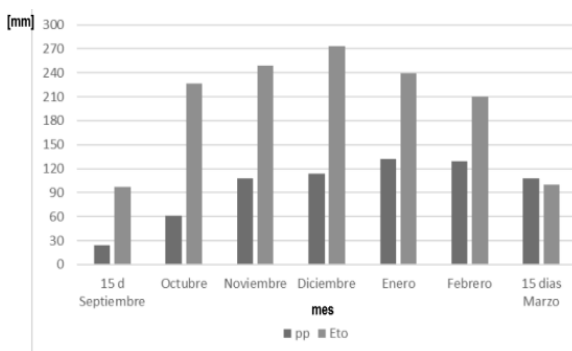
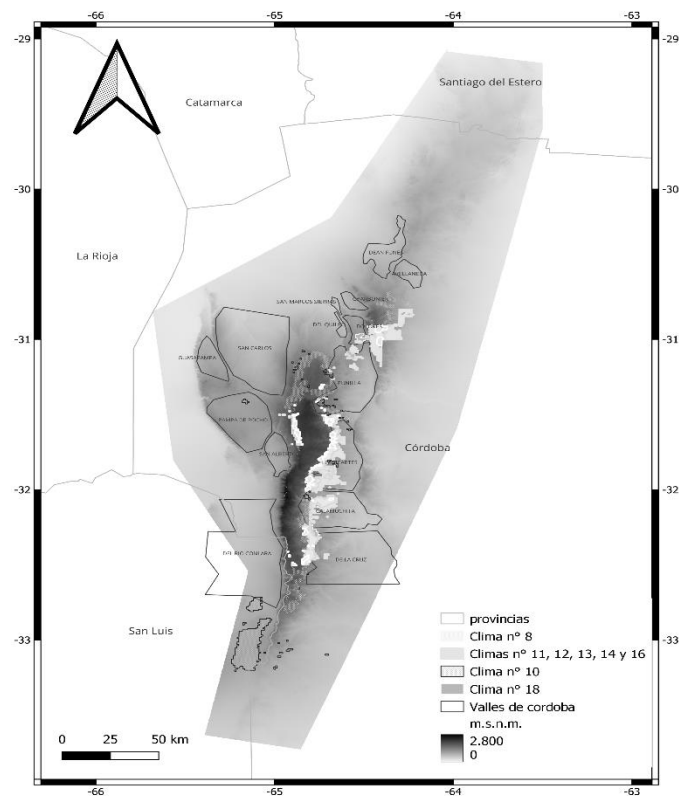


Figura n° 3.33. - Media de la variación mensual de pp vs ETo del clima vitícola n° 1

### 3.5.3. - Regiones que presentan buenas condiciones climáticas para la vitivinicultura

Se presentan dos situaciones diferentes: en un área de 2635 km<sup>2</sup> (5.3 % del área total) se identifican los climas vitícolas n° 8, 11, 12, 13, 14 y 16 ubicados en las laderas orientales de las Sierras Chicas, Pampas de Olaen, San Luis, y en

las zonas de mayor altitud de las Sierras Grandes (Figura n° 3.33.) presentando IH -1 y IH -2, IF +1 (Tabla n° 3.8.), pp 260 mm (Tabla n° 3.17.) y la mediana de las fechas de heladas tardías entre el 15/09 y el 01/10 (Tabla n° 3.20.). El Clima vitícola n° 8 presenta una variación interanual de IH -1, IF +1, pp mayoritariamente debajo de la media 206 mm (Figura n° 3.34, 3.35. y 3.36. respectivamente), las pp menores en cada de los meses estudiados a la ETo (Figura n° 3.38.); mientras que en un área de 646 km<sup>2</sup> (1,3 % del área en estudio) se identifican los climas vitícolas n° 10 y 18 ubicados en el faldeo Este del cerro Los gigantes y de la Cruz en el Valle de Punilla, zonas dispersas en la ladera oriental de las Sierras grandes en el Valle de Calamuchita y al sur del Valle del Río Conlara (Figura n° 3.33.) presentando IH+1, IF+1, temperatura máxima del aire en el mes previo a la cosecha menor a 30° C y las pp promedios en el período 1 de agosto – 15 de septiembre son de 236 mm (Tabla n° 3.17.). La variación interanual del Clima vitícola n° 10, presenta IH +1, IF +1 y las pp mayoritariamente por debajo de la media 197 mm (Figuras n° 3.39., 3.40., 3.41. respectivamente) y para cada uno de los meses se observa menores pp que ETo (Figura n° 3.42.).



• Figura n° 3.34. - Regiones con climas vitícolas n° 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16 y 18

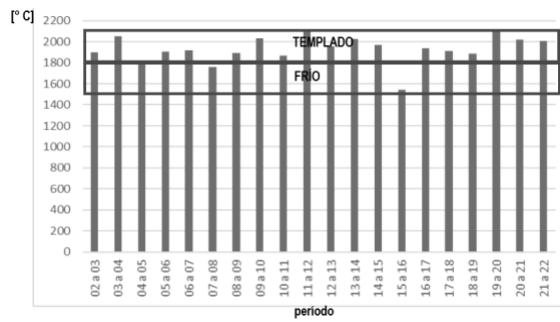


Figura n° 3.35. - Variación interanual del IH en el clima vitícola n° 8

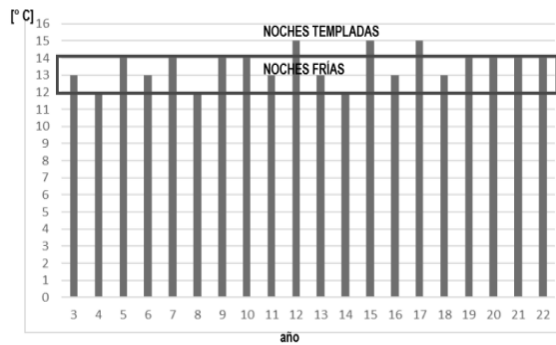


Figura n° 3.36. - Variación interanual del IF en el clima vitícola n° 8

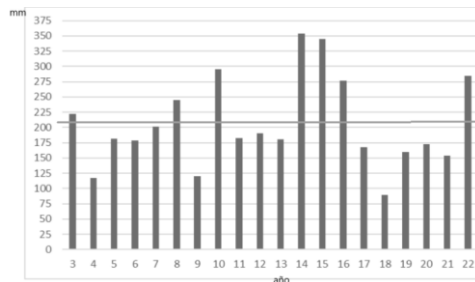


Figura n° 3.37. - Variación interanual de las pp en clima vitícola n° 8

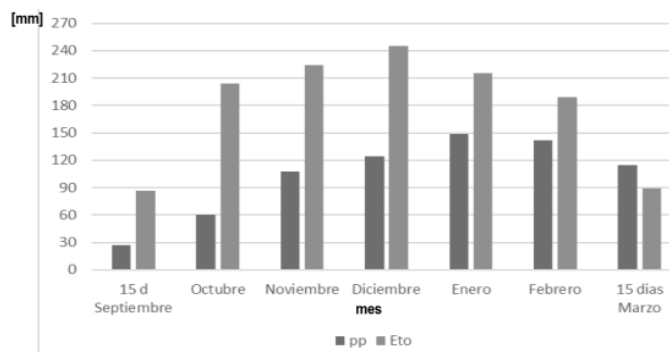


Figura n° 3.38. - Media de la variación mensual de pp vs ETo del clima vitícola n° 8

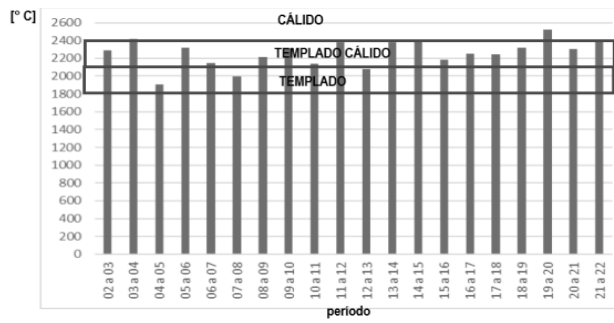


Figura n° 3.39. - Variación interanual del IH en el clima vitícola n° 10

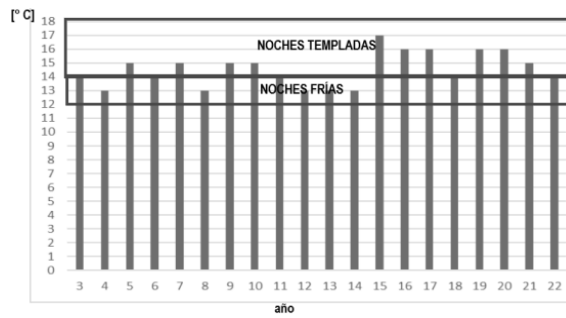


Figura n° 3.40. - Variación interanual del IF del clima vitícola n° 10

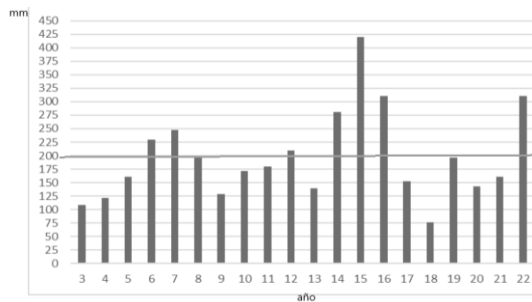


Figura n° 3.41. - Variación interanual de las pp del clima vitícola n° 10

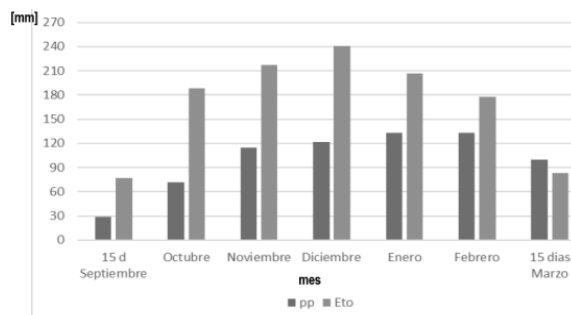


Figura n° 3.42. - Media de la variación mensual de pp respecto a ETo del clima vitícola n° 10



### 3.6. - Heladas tempranas y tardías

Los estadísticos descriptivos para las heladas tempranas y tardías se muestran en la Tabla n° 3.18. y 3.20 respectivamente los cuales indican la mediana, mínimo, máximo y desviación estándar de las fechas en que, en el caso de las primeras heladas u otoñales el sensor MODIS detecta 0° C o menos por primera vez y en el caso de las últimas heladas u primaverales detecta 0° C o menos por última vez en el período temporal analizado.

#### 3.6.1. - Estadísticos descriptivos de las heladas tempranas

Para cada uno de los Climas Vitícolas identificados se muestran en la Tabla n° 3.19. la Mediana, Mínimo, Máximo y Desviación estándar de las fechas de ocurrencia de las primeras heladas obtenidas de acuerdo a lo expuesto en el punto 2.3.

Tabla n° 3.19. - Estadísticos descriptivos de las fechas de ocurrencia de las heladas tempranas (HTem) discriminadas por Clima Vitícola.

N°	Clima vitícola		HTem mediana	HTem Mínima	HTem Máxima	DST
1	IS+1 IH+2 IF-1	Moderadamente seco Cálido Noches templadas	6/5	13/4	15/5	4
2	IS+1 IH+3 IF-2	Moderadamente seco Muy Cálido Noches cálidas	1/5	S/D	15/5	S/D
3	IS+1 IH+1 IF-1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches templadas	6/5	13/4	15/5	4
4	IS+1 IH-1 IF-1	Moderadamente seco Templado Noches templadas	6/5	13/4	15/5	4
5	IS+1 IH+3 IF-1	Moderadamente seco Muy Cálido Noches templadas	8/5	20/4	14/5	4
6	IS-1 IH+1 IF-1	SubHúmedo Templado Cálido Noches templadas	7/5	3/4	15/5	4
7	IS-1 IH+2 IF-1	SubHúmedo	6/5	3/4	11/5	4

		Cálido Noches templadas				
<b>8</b>	IS+1 IH-1 IF+1	Moderadamente seco Templado Noches frías	5/5	16/4	12/5	3
<b>9</b>	IS+1 IH-3 IF+2	Moderadamente seco Muy Frío Noches muy frías	2/5	29/3	10/5	5
<b>10</b>	IS+1 IH+1IF+1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches frías	7/5	26/4	12/5	3
<b>11</b>	IS-1 IH-1 IF-1	SubHúmedo Templado Noches templadas	6/5	24/4	13/5	2
<b>12</b>	IS+1 IH-2 IF+1	Moderadamente seco Frío Noches frías	5/5	21/4	11/5	3
<b>13</b>	IS-1 HI-1 IF+1	SubHúmedo Templado Noches frías	6/5	23/4	12/5	3
<b>14</b>	IS+1 IH-2 IF+2	Moderadamente seco Frío Noches muy frías	4/5	26/4	09/5	2
<b>15</b>	IS-1 IH-3 IF+2	SubHúmedo Muy frío Noches muy frías	S/D	S/D	S/D	
<b>16</b>	IS-1 IH-2 IF+1	SubHúmedo Frío Noches frías	3/5	25/4	12/5	3
<b>17</b>	IS-1 HI-2 IF+2	SubHúmedo Frío Noches muy frías	3/5	19/4	08/5	3
<b>18</b>	IS-1 IH+1 IF+1	SubHúmedo Templado cálido Noches frías	7/5	27/4	10/5	2
<b>19</b>	IS+1 IH-3 IF+1	Moderadamente seco Muy frío Noches frías	3/5	21/4	9/5	4

<b>20</b>	IS+1 IH-2 IF-1	Moderadamente seco Frío Noches templadas	2/5	20/4	8/5	4
-----------	----------------	--	-----	------	-----	---

### 3.6.2. – Estadísticos descriptivos de las fechas de las heladas tardías

Para cada uno de los Climas Vitícolas identificados se muestran en la Tabla n° 3.20. la Mediana, Mínimo, Máximo y Desviación estándar de las fechas de ocurrencia de las heladas tardías obtenidas de acuerdo a lo expuesto en el punto 2.3.

Tabla n° 3.20. – Estadísticos descriptivos de las fechas de ocurrencias de las heladas tardías discriminadas por Clima Vitícola

<b>N°</b>	<b>Clima vitícola</b>	<b>HTard Mediana</b>	<b>HTard Mínimo</b>	<b>HTard Máximo</b>	<b>DST</b>
<b>1</b>	IS+1 IH+2 IF-1 Moderadamente seco Cálido Noches templadas	15/9	2/9	5/10	5
<b>2</b>	IS+1 IH+3 IF-2 Moderadamente seco Muy Cálido Noches cálidas	7/9	S/D	S/D	
<b>3</b>	IS+1 IH+1 IF-1 Moderadamente seco Templado Cálido Noches templadas	15/9	2/9	10/10	4
<b>4</b>	IS+1 IH-1 IF-1 Moderadamente seco Templado Noches templadas	15/9	3/9	4/10	5
<b>5</b>	IS+1 IH+3 IF-1 Moderadamente seco Muy Cálido Noches templadas	9/9	2/9	31/10	5
<b>6</b>	IS-1 IH+1 IF-1 Sub-Húmedo Templado Cálido Noches templadas	15/9	4/9	1/10	4
<b>7</b>	IS-1 IH+2 IF-1 Sub-Húmedo Cálido Noches templadas	14/9	2/9	30/9	6
<b>8</b>	IS+1 IH-1 IF+1 Moderadamente seco Templado Noches frías	16/9	5/9	3/10	4

<b>9</b>	IS+1 IH-3 IF+2	Moderadamente seco Muy Frío Noches muy frías	4/10	12/9	11/11	12
<b>10</b>	IS+1 IH+1 IF+1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches frías	23/9	7/9	6/10	6
<b>11</b>	IS-1 IH-1 IF-1	SubHúmedo Templado Noches templadas	15/9	6/9	27/9	4
<b>12</b>	IS+1 IH-2 IF+1	Moderadamente seco Frio Noches frías	20/9	10/9	7/10	5
<b>13</b>	IS-1 IH-1 IF+1	Sub-Húmedo Templado Noches frías	17/9	11/9	4/10	5
<b>14</b>	IS+1 IH-2 IF+2	Moderadamente seco Frío Noches muy frías	01/10	8/9	2/11	6
<b>15</b>	IS-1 IH-3 IF+2	Sub-Húmedo Muy frío Noches muy frías	16/10	14/9	15/11	14
<b>16</b>	IS-1 IH-2 IF+1	Sub-Húmedo Frío Noches frías	23/9	12/9	25/ 10	6
<b>17</b>	IS-1 IH-2 IF+2	Sub-Húmedo Frío Noches muy frías	29/9	14/9	1/11	8
<b>18</b>	IS-1 IH+1 IF+1	Sub-Húmedo Templado cálido Noches frías	15/9	9/9	28/9	4
<b>19</b>	IS+1 IH-3 IF+1	Moderadamente seco Muy frío Noches frías	24/9	12/9	16/10	8
<b>20</b>	IS+1 IH-2 IF-1	Moderadamente seco Frío Noches templadas	24/9	11/9	6/10	7

### 3.6.2.1. – Referencias comparativas de las fechas de las heladas tardías

Los estadísticos descriptivos para la fecha de ocurrencia de la última helada en la estación del SMN Córdoba aeropuerto y la estimada con datos MODIS se muestran en la Tabla n° 3.20..

Tabla n° 3.21. - Estadísticos comparativos de la fecha de ocurrencia de las HTard en la localización SMN Córdoba aeropuerto respecto a LST MODIS para la misma localización.

Fuente de datos	HTard Mediana	HTard Mínimo	HTard Máximo	DST	Años controlados
<b>SMN</b>	02/10	04/09	15/10	11	18
<b>MODIS</b>	21/09	05/09	05/10	10	9

### 3.7. - Estadísticos descriptivos de la amplitud térmica (AT) y la temperatura media (Tmed) para cada uno de los climas vitícolas

En la Tabla n° 3.22. – Se observa la AT obtenida a partir de la diferencia entre la media de la temperatura máxima y mínima discriminada por Clima Vitícola

Tabla n° 3.22. – ATprom y Tmedia discriminada por clima vitícola

clima vitícola			TMáx (° C)	TMin (° C)	ATmed (° C)	Tmedia (° C)
<b>1</b>	IS+1 IH+2 IF-1	Moderadamente seco Cálido Noches templadas	29	16	13	23
<b>2</b>	IS+1 IH+3 IF-2	Moderadamente seco Muy Cálido Noches cálidas	33	20	13	27
<b>3</b>	IS+1 IH+1 IF-1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches templadas	28	15	13	22
<b>4</b>	IS+1 IH-1 IF-1	Moderadamente seco Templado Noches templadas	27	15	12	21
<b>5</b>	IS+1 IH+3 IF-1	Moderadamente seco Muy Cálido Noches templadas	33	18	15	26
<b>6</b>	IS-1 IH+1IF-1	Sub-Húmedo Templado Cálido	28	15	13	22

		Noches templadas				
7	IS-1 IH+2 IF-1	Sub-Húmedo Cálido Noches templadas	29	15	14	22
8	IS+1 IH-1 IF+1	Moderadamente seco Templado Noches frías	27	13	14	20
9	IS+1 IH-3 IF+2	Moderadamente seco Muy Frío Noches muy frías	24	10	14	17
10	IS+1 IH+1 IF+1	Moderadamente seco Templado Cálido Noches frías	28	14	14	21
11	IS-1 IH-1 IF-1	Sub-Húmedo Templado Noches templadas	27	14	13	21
12	IS+1 IH-2 IF+1	Moderadamente seco Frío Noches frías	25	13	12	19
13	IS-1 HI-1 IF+1	Sub-Húmedo Templado Noches frías	27	14	13	21
14	IS+1 IH-2 IF+2	Moderadamente seco Frío Noches muy frías	25	12	13	19
15	IS-1 IH-3 IF+2	Sub-Húmedo Muy frío Noches muy frías	24	10	14	17
16	IS-1 IH-2 IF+1	Sub-Húmedo Frío Noches frías	26	13	13	20
17	IS-1 HI-2 IF+2	Sub-Húmedo Frío Noches muy frías	25	11	14	18
18	IS-1 IH+1 IF+1	Sub-Húmedo Templado Cálido Noches frías	27	14	13	21
19	IS+1 IH-3 IF+1	Moderadamente seco Muy frío Noches frías	24	14	10	19
20	IS+1 IH-2 IF-1	Moderadamente seco Frío Noches templadas	23	12	11	18

#### 4. Discusión

La identificación de zonas con diferentes potenciales vitivinícolas en las Sierras Pampeanas Cordobesas a través de la aplicación del Sistema de Clasificación Climático Multicriterio está en concordancia con la metodología sugerida por la OIV (OIV, 2012). Esta metodología fue aplicada en países como Chile (Gutierrez-Gamboa *et al.*, 2020), Francia (Morin *et al.*, 2020), España (Guisado, 2016), Uruguay (Ferrer *et al.*, 2007) y Argentina (Gallina *et al.*, 2016) entre otros. En ausencia de estaciones meteorológicas distribuidas en todo el territorio en estudio que proporcionen datos en la cantidad y calidad requeridos, es que se utilizaron datos climáticos medidos a través de sensores remotos instalados en plataformas satelitales. Así obtuvimos información meteorológica a la resolución espacial del sensor: 1000 m para LST y 500 m para ETo y pp (luego de su remuestreo). Esta información pudo ser geolocalizada en un entorno SIG.

Los índices bioclimáticos se calculan desde el 15 de septiembre al 15 de marzo a diferencia de lo propuesto por (Tonietto & Carbonneau, 2004) que comprende desde el 1 de octubre al 31 de marzo. Este ajuste de fechas es a los efectos de adecuarlos al período del ciclo vegetativo en la región en estudio. Por otra parte se ajusta el valor de  $W_o$ , es decir la reserva inicial de agua útil del suelo, a la que pueden acceder las raíces (mm) a un valor estimado promedio de 100 mm de acuerdo a lo expresado por (Sierra *et al.*, 1997.)

Con esta metodología fué posible identificar y delimitar en la región de estudio, a escala regional, veinte zonas con diferentes climas vitícolas homogéneos. El agrupar estos veinte climas vitícolas por características climáticas comunes permitió identificar tres grupos bien diferenciados.

- El de mayor superficie formado por los Climas vitícolas n° 1, 3, 4, 6 y 7 que presentaron valores de IF que revelan condiciones térmicas que no favorecen la síntesis de antocianos y la preservación de compuestos aromáticos terpénicos en la baya (Mori *et al.*, 2007; Tonietto & Carbonneau, 2004), además de que al incrementarse la respiración en toda la planta hay menos carbono disponible para el crecimiento, producción de frutos y maduración (Palliotti *et al.*, 2005; Keller, 2015). No presentan limitaciones heliotérmicas en cuanto a variedad a implantar (Huglin, 1978), sus temperaturas máximas son menores a 30° C con buenas AT y pp que indican el riesgo de ocurrencia de enfermedades criptogámicas principalmente durante la maduración de las bayas (Ferrer *et al.*, 2018). Al analizar la variación interanual del Clima vitícola n° 1, se observa que estas condiciones

se mantienen en todas las temporadas (Figuras n° 3.29 a 3.33) por lo que es de esperar vinos de intensidad cromática limitada en variedades tintas y con intensidad aromática limitada principalmente en variedades blancas además de la necesidad de control de Botrytis cinerea principalmente.

- Las regiones con climas que presentan limitaciones térmicas severas son factibles de clasificarlas en dos subgrupos:

- Los climas vitícolas n° 2 y 5 que registran temperaturas máximas del aire en el mes previo a la cosecha mayores a 30° C lo que hace suponer que las bayas alcanzarán temperaturas superiores a los 35° C (Spayd *et al.*, 2002). En Cabernet Sauvignon estas condiciones produjeron una disminución del 50% en el total de antocianinas (Gouot *et al.*, 2019; Mori *et al.*, 2007), resultado éste en concordancia con lo informado por Fourment (Fourment *et al.*, 2017) en Tannat quién reportó valores de correlación negativos entre la temperatura y la concentración de polifenoles. Además, la cantidad de ácido málico en la baya disminuye al aumentar su temperatura (Sweetman *et al.*, 2014) y el aparato fotosintético de las hojas se ve afectado a temperaturas superiores a los 35° C (Keller, 2015). Se observa un incremento de la actividad respiratoria con el aumento de la temperatura ambiente cambiando la partición de carbono para favorecer crecimiento vegetativo a expensas del crecimiento y maduración de la fruta dando como resultado una pérdida neta de carbono asimilado (Palliotti *et al.*, 2005). La variación interanual del Clima n° 2 muestra un comportamiento similar a lo descrito en todas las temporadas (Figuras n° 3.23 a 3.25).

- Las regiones de mayor altitud de la zona de estudio con los climas vitícolas n° 9, 15, 17, 19 y 20, presentan condiciones heliotérmicas que no aseguran la madurez de la baya debido a los requerimientos específicos que presentan las diferentes variedades (Huglin, 1978). Además, climas vitícolas con  $IF \leq 10^\circ C$  no son viables considerando el daño que le produce a la planta el estrés por frío que afecta su capacidad de fotosintetizar durante las horas de luz y perjudica la maduración de la baya (Keller, 2015). La variación interanual del Clima n° 9 muestra un comportamiento similar a lo descrito en todas las temporadas (Figuras n° 3.26 y 3.27).

- El tercer grupo está formado por regiones que presentan buenas condiciones climáticas para la vitivinicultura pudiéndose diferenciar dos condiciones diferentes:



- El primer subgrupo formado por los climas n° 8, 11, 12, 13, 14 y 16 que presentan potencialidades heliotérmicas limitadas que requieren elección de variedades con requerimientos adecuados a esas condiciones (Huglin, 1978), temperaturas nocturnas estivales óptimas para la síntesis de antocianos y preservación de aromas principalmente terpénicos, AT adecuada, el 40 % de este territorio presenta IS -1 (Tabla n° 3.8.), registros medios de pp que predispone al desarrollo de enfermedades fúngicas (Ferrer *et al.*, 2018) y en consonancia a lo expresado por Valdés-Gómez *et al.* (2008) por lo que se hace necesario la realización de prácticas vitícolas preventivas para controlar esta situación, como por ejemplo, elegir sistemas de conducción que permitan una mayor aireación e insolación en la canopia, realizar podas en verde, deshoje, así como aplicación preventiva de fungicidas (Arrillaga *et al.*, 2021; Cucchi & Becerra, 2008), los que dejan residuos en el vino afectando la salud humana y ambiental por lo que es recomendable el uso de factores bióticos y abióticos que inducen en la vid resistencia a *Botrytis cynerea* (Jacometti *et al.*, 2010).

- El segundo subgrupo formado por las regiones con climas vitícolas n° 10 y 18 los que no presentan restricciones heliotérmicas (Huglin, 1978), las temperaturas nocturnas estivales son adecuadas para la síntesis de polifenoles y la preservación de aromas terpénicos. Por otra parte, el 85 % de la superficie de este grupo se presenta como IS +1 (Tabla n° 3.8.) y con registros de pp (Tabla n° 3.17. y Figura n° 3.41) que obligan a realizar seguimiento de la sanidad del viñedo. Del análisis de las pp vs ETo de los climas vitícolas n° 1, 8 y 10 (Figuras n° 3.33, 3.38. y 3.42. respectivamente) se observa déficit hídrico en una época en que las vides se encuentran en un estado fenológico donde esta situación no es conveniente (Ojeda, 2007) lo que estaría indicando la necesidad de aplicación de riego.

En la región en estudio, la vid se encuentra entre brotación y brotes de 10 cm (4 y 12 según la escala de Eichhorn y Lorenz (Coombe, 1995) para las fechas de las Heladas Tardías (Tabla n° 3.20.). Cuanto más avanzada está la brotación, más severo es el daño por helada en los tejidos vegetales con la consecuente pérdida de rendimiento en la planta por muerte de yemas o por brotación de las yemas secundarias. Cabernet Sauvignon y Pinot Noir 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). En estas situaciones, en la etapa de planificación de implantar un viñedo,

se debe considerar la elección de variedades de brotación tardía, plantas con troncos de mayor altura y plantaciones en laderas altas porque se verifican menores daños por heladas en viñedos instalados en esas localizaciones (Jones *et al.*, 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 (Bravo *et al.*, 2020).

## 5. Conclusiones

Con esta metodología se logró identificar, caracterizar y agrupar los climas vitícolas de las Sierras Pampeanas Cordobesas. El conocer estas diferentes aptitudes vitícolas climáticas permitirá seleccionar variedades adecuadas a implantar, optar por prácticas vitícolas acordes a las condiciones ambientales además de que al actualizar la información periódicamente permitirá advertir su variación en un contexto de cambio climático.

Si bien fueron veinte los climas vitícolas encontrados en el área de estudio, el agruparlos en función del valor de los indicadores bioclimáticos calculados permite generar tres conjuntos de climas vitícolas bien diferenciados entre sí: con limitaciones térmicas severas, con temperaturas mínimas elevadas en el mes previo a la cosecha y con buenas condiciones térmicas.

Las comparaciones realizadas de LST así como los valores calculados de IH, IF e IS obtenidos con datos de sensores remotos comparados con mediciones y cálculos de índices realizados con datos obtenidos por estaciones meteorológicas de superficie del Servicio Meteorológico Nacional permiten 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 ( $\alpha$ : 0.05) por lo 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 el que debería abordar la confirmación de las diferencias climáticas vitícolas identificadas a través de

relevamientos de la fenología de las vides allí implantadas y la caracterización de los vinos obtenidos en las diferentes regiones identificadas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Agencia Córdoba D.A.C.yT. - Dirección de ambiente. (2003). Regiones Naturales de la Provincia de Córdoba.

Alados, I., Olmo, F. J., Foyo-Moreno, I., & Alados-Arboledas, L. (2000). Estimation of photosynthetically active radiation under cloudy conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 102(1), 39-50. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00091-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00091-5)

Allen R., Pereira L., Raes D., & Smith M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Organización de la Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación.

Amerine, M. & Winkler A. (1944). Composition and quality of musts and wines of California grapes. *A Journal of Agricultural Science published by the California Agricultural Experiment Station*, 15(6).

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/oenone.2012.46.3.1515>

Arrillaga, Echeverría, Izquierdo, Rey, Pallante, & Ferrer. (2021). Response of Tannat (*Vitis vinifera* L.) to pre-flowering leaf removal in a humid climate. *International Viticulture and Enology Society*, 251-266.

Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Veropolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, 5(1), 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

Bindon, K., Varela, C., Kennedy, J., Holt, H., & Herderich, M. (2013). Relationships between harvest time and wine composition in *Vitis vinifera* L. cv.

Cabernet Sauvignon 1. Grape and wine chemistry. *Food Chemistry*, 138(2-3), 1696-1705. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.09.146>

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

Bois, B. (2020, noviembre 17). Viticulture and climate:from global to local. XIIIth International Terroir Congress, Congreso Virtual - Adelaide, Australia.

Bravo, R., Muñoz, M., & Quintana, J. (2020). Heladas. Factores atmosféricos, tendencias y efectos en frutales y vides. *BOLETIN INIA*, 17, 102.

Carignano, C., Kröhling, D., Degiovanni, S. & Cioccale, M. (2014). Geomorfología. *Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino, Córdoba*. 747-821

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(2), 104-110. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1995.tb00086.x>

Cucchi & Becerra. (2008). Peronóspora de la vid. *Manual de tratamientos fitosanitarios para vid*.

Dasso, C. M., Piovano, E. L., Pasquini, A. I., Córdoba, F. E., Lecomte, K. L., & Guerra, L. (2014). *Recursos hídricos superficiales*.

Deis, L., de Rosas, M., Malovini, E., Cavagnaro, M. & Cavagnaro, J. (2015). Impacto del cambio climático en Mendoza. Variación climática en los últimos 50 años. Mirada desde la fisiología de la vid. *Rev. FCA UNCUYO*. 2015. 47(1): 67-92

de la Casa, A. C., Ovando, G. G., & Díaz, G. J. (2019). Interannual variability of seasonal rainfall in Cordoba, Argentina, evaluated from ENSO and ENSO Modoki signals and verified with MODIS NDVI data. *SN Applied Sciences*, 1(12), 1624. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1650-6>

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>

Domoto, P. (2012). An Early Assessment of Frost Injury on Grapes. Recuperado de <https://yardandgarden.extension.iastate.edu/article/2012/4-18/grapes.html>

Faust, M., Erez, A., Rowland, L. J., Wang, S. Y., & Norman, H. A. (1997). Bud Dormancy in Perennial Fruit Trees: Physiological Basis for Dormancy Induction, Maintenance, and Release. *HortScience*, 32(4), 623-629. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.32.4.623>

Fermaud, Calonnec, Roudet, Gary, & Valdez-Gomez. (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.

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., & Quéno, 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>

Gallina M., Rodriguez A., & Muñoz A. (2016). Índices bioclimáticos para la vid en Contraalmirante Guerrico, Río Negro. *Boletín de Divulgación técnica*, 51.

Gouot J., Smith J., Holzapfel B., Walker A. & Barril C. (2018). Grape berry flavonoids: a review of their biochemical responses to high and extreme high temperatures (2019). *Journal of Experimental Botany*, Vol. 70, No. 2 pp. 397–423, 2019 doi:10.1093/jxb/ery392

Guillevic P, Göttsche F, Nickeson J, Hulley G, Ghent D, Yu Y, Trigo I, Hook S, Sobrino J, Remedios J, Román M, & Camacho F. (2017). *Land Surface Temperature Product Validation Best Practice Protocol*. <https://doi.org/10.5067/DOC/CEOSWGCV/LPV/LST.001>

Guisado, F. H. (2016). *Caracterización y zonificación vitícola de España mediante análisis multivariante de variables bioclimáticas* [Doctorado]. Universidad de Extremadura.

Gutiérrez-Gamboa, Verdugo-Vásquez, Contreras Cortez, & Jara. (2023). *Viticultura andina: Caracterización edafoclimática de viñedos establecidos en el Valle de Codpa*. 10(28), 26-40.

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. (1978). *Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole*. (p. 1117-1126). Académie d'Agriculture de France.

Huglin, M. (1983). Possibilités d'appréciation objective du milieu viticole. *Bulletin de l' O.I.V.*, 56(634), 823-833.

Instituto Nacional de Vitivinicultura (2023). Informe Anual de Superficie 2022. Recuperado de [www.inv.gob.ar](http://www.inv.gob.ar)

Jacometti, M. A., Wratten, S. D., & Walter, M. (2010). Review: Alternatives to synthetic fungicides for *Botrytis cinerea* management in vineyards. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16(1), 154-172. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2009.0067.x>

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>

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, G. V., White, M. A., Cooper, O. R., & Storchmann, K. (2005). Climate Change and Global Wine Quality. *Climatic Change*, 73(3), 319-343. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-4704-2>

Keller, M. (2015). *The science of grapevines: Anatomy and physiology* (Second edition). Elsevier/AP, Academic Press is an imprint of Elsevier.

Kliewer, M. (1964). Influence of Environment on Metabolism of Organic Acids and Carbohydrates in *Vitis Vinifera*. I. Temperature. *Plant Physiology*. Vol.39 n° 6.

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>

Londo, J. P., & Martinson, T. (2016). Grapevine Winter Survival and Prospects in an Age of Changing Climate. *Appellation Cornell*.

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.

Mania, E., Petrella, F., Giovannozzi, M., Piazzzi, M., Wilson, A & Guidoni, S. (2021). Managing Vineyard Topography and Seasonal Variability to Improve Grape Quality and Vineyard Sustainability. *Agronomy*, 11, 1142. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061142>

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>

Mezher, R. N., Doyle, M., & Barros, V. (2012). Climatology of hail in Argentina. *Atmospheric Research*, 114-115, 70-82. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.05.020>



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., & QuénoI, 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>

Morin, G.; Le Roux, R.; Sturman, A.; QuénoI, H. (2018). Évaluation de la relation entre températures de l'air et températures de surface issues du satellite MODIS: Application aux vignobles de la vallée de Waipara (Nouvelle-Zélande). *Climatologie*, 15, 62–83.

Neethling, E., Barbeau, G., Coulon-Leroy, C., & QuénoI, H. (2019). Spatial complexity and temporal dynamics in viticulture: A review of climate-driven scales. *Agricultural and Forest Meteorology*, 276-277, 107618. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107618>

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. (2010). *Resolución OIV/VITI 333/2010*.

OIV (2012). *Resolución OIV/VITI 423/2012*.

O.I.V. (2017). *Los datos sobre la Coyuntura Vitivinícola Mundial*. <https://www.oiv.int/public/medias/5682/es-communicu-depresse-octobre-2017.pdf>

Ojeda, H. (2007). *Riego cualitativo de precisión en vid*. INRA

Ovando, G., Sayago, S., & Bellini, Y. (2018). Evaluación del desempeño de productos satelitales para estimar precipitación en Córdoba (Argentina). *Congreso*

*Argentino de Agroinformática*; 2018 septiembre 3-9; CABA. ISSN: 2525-0949 p 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

Papalini, E. (2016). *La invisibilidad de la Decadencia de los vinos de Córdoba*. Villa María. Universidad Nacional Villa María

Penman, L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. recuperado de <https://royalsocietypublishing.org/> on 18 June 2024

Poca, M., Cingolani, A. M., Gurvich, D. E., Whitworth-Hulse, J. I., & Saur Palmieri, V. (2018). La degradación de los bosques de altura del centro de Argentina reduce su capacidad de almacenamiento de agua. *Ecología austral*, 28(1),235-248.  
[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1667-782X2018000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1667-782X2018000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

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), 5544-5562.  
<https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1580789>

*Resolución OIV - VITI 423-2012*. (2012).

Rienth, M., Vigneron, N., Darriet, P., Sweetman, C., Burbidge, C., Bonghi, C., Walker, R. P., Famiani, F., & Castellarin, S. D. (2021). Grape Berry Secondary Metabolites and Their Modulation by Abiotic Factors in a Climate Change Scenario—A Review. *Frontiers in Plant Science*, 12, 643258. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.643258>

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>

Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. (2015). *3Com-Resumen-Ejecutivo-de-la-Tercera-Comunicacion-Nacional.pdf*. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/tercera-comunicación>

Sierra E., Marchiri H., Giorgini H., & Giorgini D. (1997). Disponibilidad actual de agua edáfica para los cultivos de granos en la argentina. *Revista de la Facultad de agronomía de la UBA*, 17, 37-42.

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>

Tachini, R., Bonnardot, V., Ferrer, M., & Fourment, M (2023). Topography interactions with the Atlantic Ocean and its impact on *Vitis vinifera* L. 'Tannat' *VITIS: Vol. 62 No. 4, 163–177 (2023) | DOI: 10.5073/vitis.2023.62.163-177*

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

Tonietto, J., & Carbonneau, A. (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>

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*

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.

van Leeuwen, C., Friant, P., Choné, X., Tregoat, O., Koundouras, S., & Dubourdieu, D. (2004). Influence of Climate, Soil, and Cultivar on Terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 55, 207-217. <https://doi.org/10.5344/ajev.2004.55.3.207>

van Leeuwen, C. & Seguin, G. (2006). The concept of terroir in viticulture. *Journal of Wine Research*, 17(1), 1-10. <https://doi.org/10.1080/09571260600633135>

Vaudour, E. (2002). The Quality of Grapes and Wine in Relation to Geography: Notions of Terroir at Various Scales. *Journal of Wine Research*, 13(2), 117-141. <https://doi.org/10.1080/0957126022000017981>

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

Wang, K., Sun, J., Cheng, G., Jiang, H. (2011). Effect of altitude and latitude on surface air temperature across the Qinghai-Tibet Plateau. *J. Mt. Sci.* 8: 808–816. <https://doi.org/10.1007/s11629-011-1090-2>

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 ibero-americanas*. Embrapa Uva e Vinho. Bento Gonçalves, Brasil. 64 pp

Zhao, Y., Liu, S., & Shi, H. (2021). Impacts of dams and reservoirs on local climate change: A global perspective. *Environmental Research Letters*, 16(10), 104043. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac263c>

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





