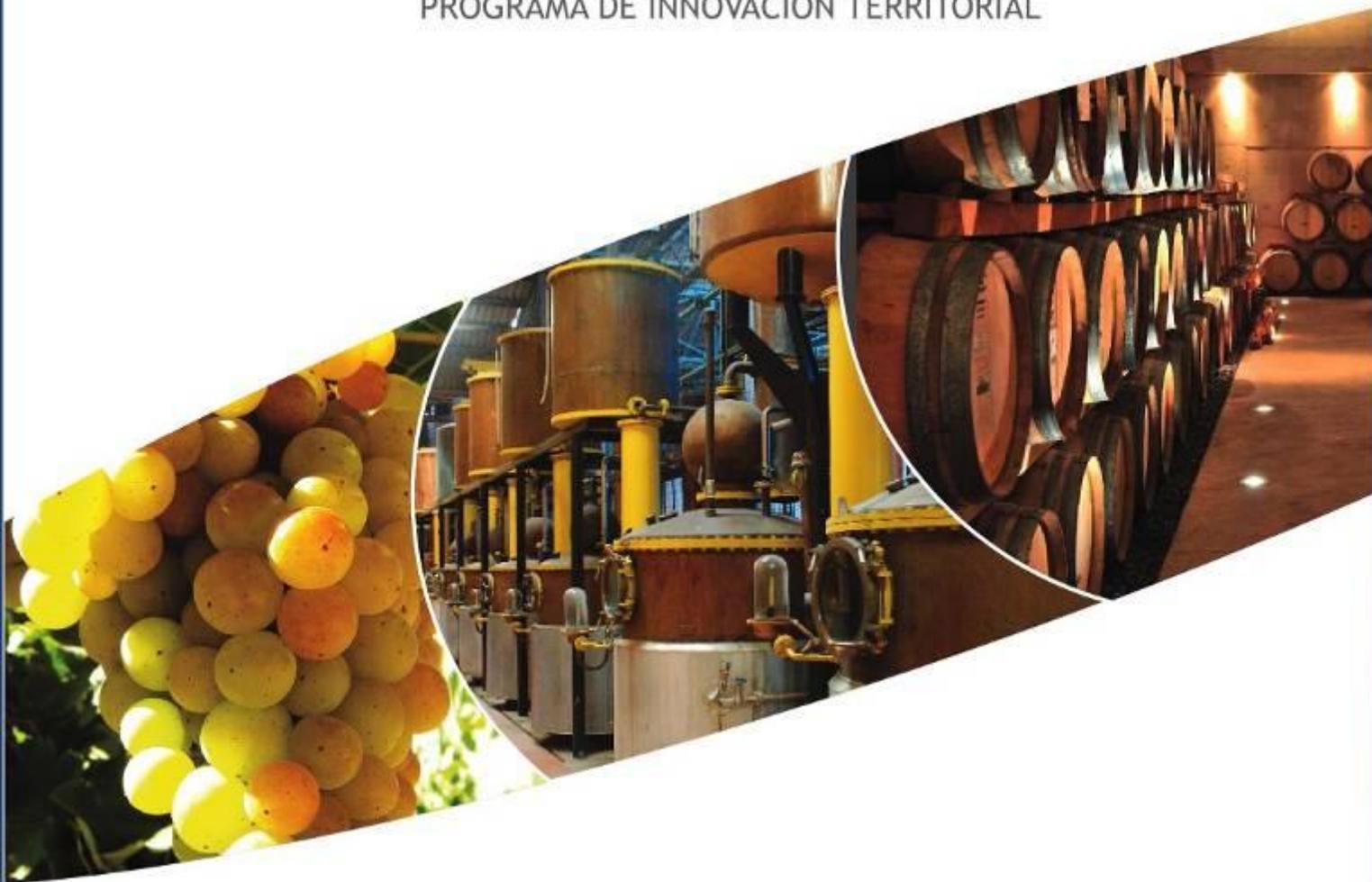




PROGRAMA DE INNOVACION TERRITORIAL



INFORME FINAL DEL ESTUDIO

Zonificación del territorio de la denominación de origen Pisco

**Desarrollado por:
Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA
Centro Regional de Investigación Intihuasi
Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, CEAZA**

2010

Ejecución del proyecto

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), CRI Intihuasi

Antonio Ibacache, Ingeniero Agrónomo M. Sc., Viticultura

Leoncio Martínez, Ingeniero Agrónomo Ph. D., Riego

Carina Sturla, Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA)

Carlo Montes, Ingeniero Agrónomo, Agroclimatología

Consultores Internacionales

Alain Carbonneau, Profesor de Viticultura

Montpellier SupAgro, Francia

Jorge Tonietto, Ingeniero Agrónomo Ph. D., Zonificación Vitivinícola

Centro Nacional de Investigación de la Uva y el Vino

EMBRAPA, Brasil

Índice

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes generales	2
2.1.	Características de la zona y variedades de uva pisquera	2
2.2.	El clima y el crecimiento de las vides	4
2.2.1.	Efectos de la temperatura	4
2.2.2.	Efectos de la radiación	7
2.3.	Fenología de la vid	8
2.3.1.	Ciclo anual de la vid	8
2.3.2.	Ocurrencia y definición de estados fenológicos	8
2.4.	El suelo y su importancia en el desarrollo de la vid	9
2.4.1.	El rol del suelo en el crecimiento de las raíces	9
2.4.2.	Textura y estructura	9
2.4.3.	Profundidad	9
2.4.4.	Humedad	10
2.4.5.	Aireación	10
2.4.6.	Nutrición mineral	10
2.4.7.	Propiedades químicas del suelo limitantes para el desarrollo de la vid	11
2.4.8.	Efecto del suelo sobre la calidad de la fruta	11
2.4.9.	Factores biológicos	11
2.5.	Zonificación climática	12
2.5.1.	Índices climáticos vitícolas	14
2.5.2.	Sistema de Clasificación Climática Multicriterio (CCM)	15
2.5.3.	Índices climáticos complementarios	15
3.	Metodología	17
3.1.	Área de estudio	17
3.2.	Información meteorológica	17
3.3.	Cálculo de índices climáticos vitícolas	19
3.4.	Análisis estadístico, tratamiento y representación cartográfica de los datos	22
3.5.	Información geográfica	22
3.6.	Información fenológica de campo	26
4.	Resultados	28
4.1.	Clasificación climática según índices del sistema CCM	28
4.1.1.	Índice Heliotérmico (IH)	28
4.1.2.	Índice de Frío Nocturno (IF)	32
4.1.3.	Índice de Sequía (IS)	34
4.1.4.	Relación entre índices climáticos	35
4.2.	Representación espacial de los índices climáticos	38
4.3.	Índices climáticos complementarios	46
4.4.	Caracterización del suelo y su relación con el clima	51
5.	Conclusiones y consideraciones finales	66
6.	Bibliografía consultada	68
7.	Anexos	71

Índice de Cuadros

Cuadro 1.	Superficie plantada con vides para pisco	2
Cuadro 2.	Superficie con variedades pisqueras	3
Cuadro 3.	Clases de clima vitícola y sus intervalos	15
Cuadro 4.	Ubicación de localidades para el estudio de fenología en la Región de Coquimbo.....	26
Cuadro 5.	Índice heliotérmico (clase IH) de localidades de estudio en la Región de Coquimbo.....	30
Cuadro 6.	Ocurrencia de estados fenológicos en variedad Moscatel de Alejandría	31
Cuadro 7.	Ocurrencia de estados fenológicos en variedad Moscatel Rosada	31
Cuadro 8.	Ocurrencia de estados fenológicos en variedad Moscatel de Austria	31
Cuadro 9.	Ocurrencia de estados fenológicos en variedad Pedro Jiménez	32
Cuadro 10.	Valores de IH, IS e IF y su respectiva clase de clima	35
Cuadro 11.	Matriz de correlaciones entre los índices climáticos y la posición de cada estación.....	36
Cuadro 12.	Matriz de saturación (correlación entre variables y ejes)	36
Cuadro 13.	Número promedio de días cálidos para las estaciones de los valles de Huasco, Elqui y Limarí.....	50

Índice de Figuras

Figura 1.	Mapa de la zona en estudio indicando los valles de producción de uvas. Barra de colores en m.s.n.m.	17
Figura 2.	Posición de las estaciones meteorológicas a utilizar en el estudio. Valles de Huasco, Elqui, Limarí y Choapa.....	19
Figura 3.	Mapa de exposición de la zona en estudio	23
Figura 4.	Mapa de pendiente de la zona en estudio	23
Figura 5.	Mapa de distancia a la costa de la zona en estudio	24
Figura 6.	Clases de clima vitícola para el Índice Heliotérmico (IH).....	29
Figura 7.	Clases de clima vitícola para el Índice de Frío Nocturno (IF)	33
Figura 8.	Clases de clima vitícola para el Índice de Sequía (IS).....	34
Figura 9.	Posición de los índices pertenecientes al Sistema CCM en relación a las dos primeras componentes principales y círculo de correlación de las variables. Los grupos representan estaciones con igual clasificación de cada índice climático. (H= Huasco, E= Elqui, L= Limarí).....	37
Figura 10.	Índice Heliotérmico para el Valle de Huasco. Clasificación basada en Sistema CCM	40
Figura 11.	Índice Heliotérmico para el Valle de Huasco. Clasificación detallada	40
Figura 12.	Índice Heliotérmico para el Valle de Elqui. Clasificación basada en Sistema CCM	41
Figura 13.	Índice Heliotérmico para el Valle de Elqui. Clasificación detallada	41
Figura 14.	Índice Heliotérmico para el Valle de Limarí. Clasificación basada en Sistema CCM	42
Figura 15.	Índice Heliotérmico para el Valle de Limarí. Clasificación detallada	42
Figura 16.	Índice de Sequía para el Valle de Huasco. Clasificación basada en Sistema CCM	43
Figura 17.	Índice de Sequía para el Valle de Huasco. Clasificación detallada.....	43
Figura 18.	Índice de Sequía para el Valle de Elqui. Clasificación basada en Sistema CCM	44
Figura 19.	Índice de Sequía para el Valle de Elqui. Clasificación detallada	44
Figura 20.	Índice de Sequía para el Valle de Limarí. Clasificación basada en Sistema CCM	45
Figura 21.	Índice de Sequía para el Valle de Limarí. Clasificación detallada	45
Figura 22.	Estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo de los índices de radiación solar. (H= Huasco, E= Elqui, L= Limarí)	46
Figura 23.	Radiación solar global promedio acumulada en la temporada para estaciones de Huasco, Elqui y Limarí.....	47
Figura 24.	Histogramas de frecuencia del Índice de Claridad del cielo para las estaciones del valle de Huasco.	48
Figura 25.	Histogramas de frecuencia del Índice de Claridad del cielo para las estaciones del valle de Elqui	48
Figura 26.	Histogramas de frecuencia del Índice de Claridad del cielo para las estaciones del valle de Limarí	49
Figura 27.	Estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo de la frecuencia de días cálidos. (H= Huasco, E= Elqui, L= Limarí).	50
Figura 28.	Curvas de humedad relativa a las 14:00 horas para las estaciones del valle de Huasco, Elqui y Limarí.	51
Figura 29.	Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja y media del valle de Huasco.	53
Figura 30.	Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte alta del valle de Huasco.	53

Figura 31.	Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja del valle de Elqui	54
Figura 32.	Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta del valle de Elqui.....	54
Figura 33.	Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja del valle de Limarí.	55
Figura 34.	Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta norte del valle de Limarí.	55
Figura 35.	Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta sur del valle de Limarí.....	56
Figura 36.	Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja y media del valle de Huasco.	57
Figura 37.	Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte alta del valle de Huasco.	57
Figura 38.	Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja del valle de Elqui.	58
Figura 39.	Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta del valle de Elqui.....	58
Figura 40.	Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja del valle de Limarí.	59
Figura 41.	Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta norte del valle de Limarí	59
Figura 42.	Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta sur del valle de Limarí.	60
Figura 43.	Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja y media del valle de Huasco.	61
Figura 44.	Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte alta del valle de Huasco.	61
Figura 45.	Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja del valle de Elqui.	62
Figura 46.	Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta del valle de Elqui.	62
Figura 47.	Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja del valle de Limarí.	63
Figura 48.	Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta norte del valle de Limarí.....	63
Figura 49.	Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta sur del valle de Limarí.....	64

1. Introducción

El clima ejerce una fuerte influencia sobre la calidad de los racimos de vides, los vinos y los productos destilados que de ellos se obtengan. Es así que los diferentes climas de las regiones vitícolas del mundo son responsables en gran medida de la diversidad de variedades cultivadas, de productos vitícolas y de la calidad y tipos de vinos y destilados.

En general, las regiones climáticas han sido clasificadas según índices térmicos durante el ciclo de crecimiento de las vides. Esto debido a que la temperatura influencia la composición y la calidad de la fruta. En California (USA) el Índice Térmico de Winkler ha permitido clasificar el territorio en cinco grandes regiones, de acuerdo con diferentes categorías de días-grado establecidas por el índice térmico. Estas regiones representan muy bien la calidad de los racimos y algunas de las características de los vinos como resultado de la influencia climática de cada zona. Posteriormente se incluyó un nuevo índice para separación de regiones climáticas. Se trata del Índice Heliotérmico de Huglin que considera el largo del día y las temperaturas diarias, pues ambos parámetros muestran una buena relación con el contenido potencial de azúcar en los racimos. Sin embargo, ambos índices mencionados utilizan esencialmente la temperatura durante el ciclo de crecimiento de las plantas y no consideran otros factores climáticos que también afectan la calidad de la fruta.

Durante el período de maduración la temperatura del aire juega un rol determinante en la acumulación de azúcares en las bayas, pero la temperatura nocturna tiene una mayor influencia en el color y en el contenido de compuestos aromáticos. También diferentes niveles de humedad en el suelo afectan la calidad de la fruta y la calidad de los vinos y destilados. En regiones con alta pluviometría la capacidad de maduración de los racimos es inferior a la esperada según los índices térmicos. Por otro lado, un déficit moderado de agua durante el período de maduración, junto con temperaturas apropiadas, puede mejorar la calidad de la fruta.

La producción de pisco en el país puede llevarse a cabo, por ley, solamente en el territorio que comprende las Regiones de Atacama y Coquimbo. Los cinco valles que conforman el territorio presentan diferentes características climáticas, especialmente en la orientación oeste-este (mar a cordillera) que influyen principalmente la época de cosecha (acumulación de azúcar) y la composición química de los racimos de las diversas variedades utilizadas para la elaboración de pisco. Un estudio de zonificación climática permite definir áreas de producción de acuerdo con épocas de cosecha, establecer áreas climáticas apropiadas para el establecimiento de variedades según la longitud de su ciclo anual de crecimiento y ser la base para estudios más profundos, que generen el argumento técnico necesario para la comercialización de productos específicos asociados a un terroir.

El presente estudio, denominado “Zonificación del territorio de denominación de origen pisco” tiene como objetivo general realizar una zonificación del área de cultivo de vides pisqueras en la zona de denominación de origen Pisco, utilizando para ello el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio (CCM), que a diferencia de estudios anteriores incluye, además de la temperatura diaria, otros índices que también influyen en la calidad de los productos que se obtengan. Con los resultados del estudio se pretende caracterizar la zona en función de las condiciones climáticas, de cultivo y manejo agronómico y definir zonas homogéneas de producción.

2. Antecedentes generales

2.1. Características de la zona y variedades de uva pisquera

La Denominación de Origen Pisco existe, legalmente, desde el año 1931. Originalmente la denominación no consideró el valle de Choapa. El Decreto 2753 del 26 de junio de 1979, en su artículo 15, amplió la denominación de origen a todas las provincias de las Regiones de Atacama y Coquimbo.

La zona pisquera se extiende entre los paralelos 27°15' y 32°10' latitud sur. En esta vasta región el cultivo de la vid está concentrado en cinco valles que de norte a sur son: Copiapó, Huasco, Elqui, Limarí y Choapa.

De acuerdo con la resolución 1652 del 11 de octubre de 1979, el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) establece la lista de variedades a partir de las cuales se puede elaborar pisco. La lista incluye las siguientes variedades: Moscatel de Alejandría, Moscatel Rosada, Moscatel de Austria, Moscatel Amarilla, Moscatel Blanca temprana, Moscatel de Hamburgo, Moscatel de Frontignan, Moscatel Negra, Musque Vrai, Muscat Orange, Moscato de Canelli, Torontel y Pedro Jiménez.

Según el Catastro Vitícola Nacional (SAG, 2007) en la zona pisquera existen 9.982 ha con vides para pisco, de las cuales 576 ha se ubican en la Región de Atacama y 9.406 en la Región de Coquimbo. La superficie plantada por provincia y comuna se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Superficie plantada con vides para pisco

Provincia	Comuna	Superficie (ha)
Copiapó	Copiapó	124
	Tierra Amarilla	14
Husco	Vallenar	108
	Husco	3
	Alto del Carmen	327
Elqui	Vicuña	1.177
	Paihuano	667
Limarí	Ovalle	3.617
	Río Hurtado	303
	Monte Patria	1.256
	Combarbalá	59
	Punitaqui	816
Choapa	Illapel	202
	Salamanca	1.309
Total		9.982

La distribución de superficie por variedades se indica en el cuadro 2.

Cuadro 2. Superficie con variedades pisqueras

Variedad	Atacama (ha)	Coquimbo (ha)	Total (ha)
Moscatel Rosada	28	2.540	2.568
Moscatel de Alejandría	224	1.567	1.791
Moscatel de Austria	148	2.125	2.273
Pedro Jiménez	146	2.322	2.468
Torontel	1	775	776
Moscatel Amarilla	-	58	58
Moscatel Blanca temprana	-	19	19
Otras	29		29
Total	576	9.406	9.982

Moscatel Rosada es una variedad cuyas plantas tienen un alto vigor en suelos de textura franca y franco-arenosa y menor vigor en suelos de textura fina (arcillosos). Los racimos presentan un problema morfológico denominado millerandaje (presencia de pocas bayas semilladas de tamaño normal y numerosas bayas pequeñas sin semilla) de modo que en su condición natural los racimos son de bajo peso. Para superar este problema se realizan aplicaciones de ácido giberélico en dosis de 30-35 ppm en el estado fenológico de término de flor-inicio de cuaja para estimular el crecimiento de las bayas sin semilla y así incrementar el peso de los racimos. Esta variedad puede alcanzar producciones de 20 a 35 toneladas por hectárea.

Las plantas de Moscatel de Austria pueden crecer vigorosamente en suelos francos y franco-arenosos. Contrariamente, en suelos arcillosos el vigor se restringe. Los racimos son compactos y las bayas tienen una piel delgada; ambas condiciones predisponen a los racimos al ataque de hongos como botritis. Esta variedad puede alcanzar producciones de 30 a 50 toneladas por hectárea.

En suelos de textura franca y franco-arcillosa las plantas de la variedad Moscatel Alejandría son capaces de crecer vigorosamente; en cambio en suelos franco-arenosos el crecimiento de los brotes se restringe significativamente. De allí que el nivel de producción esté estrechamente ligado al tipo de suelo. En condiciones de alto vigor se pueden obtener producciones de 40 a 60 toneladas por hectárea y en plantas con crecimiento restringido el rendimiento difícilmente supera las 30 toneladas por hectárea.

Pedro Jiménez y Torontel son variedades vigorosas que pueden alcanzar producciones de 30 a 50 toneladas por hectárea. Crecen bien en suelos de textura franca a franco-arcillosa (especialmente Torontel).

El sistema de conducción mayormente usado en las variedades pisqueras es el parrón español, con distancia de plantación que varían entre 3x3 m y 3x1,5 m (1.111 y 2.222 plantas/ha, respectivamente). En parrones tecnificados el riego por goteo es el más usado, mientras que en parrones antiguos se continúa utilizando sistemas tradicionales como el riego por surcos. Las enfermedades más comunes en las variedades pisqueras corresponden a aquellas provocadas por los hongos *Uncinula necator* (oidio) y *Botrytis cinerea* (pudrición gris). La primera se manifiesta principalmente en condiciones climáticas de temperaturas moderadas a altas y baja humedad relativa, y la segunda en condiciones de alta humedad ambiente y temperaturas moderadas. Las principales plagas corresponden a chanchito blanco (*Pseudococcus* sp.), burrito de la vid (*Naupactus xantographus*), algunos ácaros y trips. También puede ser importante en daño en raíces por nematodos, especialmente en suelos de textura franco-arenosa.

En general, para una misma condición edafoclimática la primera variedad en madurar es Moscatel de Austria y Pedro Jiménez la última. El índice de madurez utilizado por la industria pisquera es el contenido potencial de alcohol en el jugo de uva, expresado como grados de alcohol probable (GAP). El Reglamento de Denominación de Origen Pisco señala en su artículo N°7 que: “no se permitirá la elaboración de pisco con uva de grado de alcohol potencial inferior a 10,5 GAP”. Sin embargo, para disponer de materia prima de mejor calidad, comercialmente todas las uvas recibidas por las plantas elaboradoras de pisco se convierten en kilos de 12 GAP (kilogramos).

El pisco es un destilado elaborado a partir de variedades aromáticas de uva, de allí la importancia de conocer el contenido de compuestos aromáticos de las principales variedades utilizadas. En un estudio llevado a cabo en los años 90 por la Pontificia Universidad Católica de Chile, el INIA y el INRA de Francia, se determinó que las variedades con mayor contenido de compuestos aromáticos (terpenoles), son Moscatel de Alejandría y Moscatel Rosada (1.295 y 1.150 µg/L de jugo, respectivamente), seguidas de Torontel (865 µg/L), Moscatel de Austria (158 µg/L) y Pedro Jiménez (35 µg/L). También se determinó que la relación de aromas es dependiente de la variedad. En Moscatel de Alejandría el compuesto predominante es el terpenol denominado Geraniol, mientras que en Moscatel Rosada es Linalol.

2.2. El clima y el crecimiento de las vides

El crecimiento de las vides puede ser influenciado por la temperatura y la radiación, entre otros factores climáticos. Esta influencia puede ser significativa y será un factor crítico para la elección de variedades y el manejo técnico del viñedo.

2.2.1. Efectos de la temperatura

En general, si las temperaturas durante el período de crecimiento de las vides (primavera-verano) son altas, el crecimiento de los brotes será rápido y los racimos serán cosechados más temprano.

Una vez finalizado el receso invernal las yemas inician el proceso de brotación cuando las temperaturas exceden un cierto límite, generalmente entre 7°C y 11°C. Luego de la brotación, el crecimiento de los brotes es muy sensible a la temperatura, tanto diurna como nocturna. Temperaturas cálidas de hasta 25°C estimulan el crecimiento pero temperaturas sobre 30°C lo limitan. Esto último debido a un efecto limitante de las altas temperaturas sobre el proceso de fotosíntesis. La reducción del crecimiento de los brotes hacia mediados de verano se debe a la presencia de altas temperaturas y a la competencia interna con el crecimiento de las bayas. La prolongación del crecimiento de los brotes es una característica de zonas y/o temporadas con alta humedad en el aire. Por otro lado, la detención del crecimiento es acelerada por las bajas temperaturas de fines de otoño.

Acumulación de calor o días-grado

Diversos estudios han demostrado que la temperatura es el factor climático que mayormente influencia el crecimiento de los brotes y la maduración de los racimos. Es así como la acumulación de calor, expresada en días-grado, ha sido usada como índice para establecer la aptitud de una zona específica para la producción de vides. Los días-grado se calculan restando el valor base 10 a la temperatura media de un mes y multiplicando la diferencia por el número de días del mes. Así, si la temperatura media de octubre fue 18°C entonces la cantidad de días-grado de ese mes será 248 $((18-10) \times 31 = 248)$. La cantidad de días-grado para una temporada agrícola será la suma de los siete meses (octubre a abril) en los que se producen los estados fenológicos de brotación y cosecha.

Se considera 10°C como la temperatura base ya que se asume que el crecimiento de los brotes no ocurre o es muy lento bajo ese umbral de temperatura. Sin embargo, algunos estudios sugieren que otras temperaturas base pueden ser más apropiadas. Se ha encontrado que 8°C es una mejor temperatura base para predecir el intervalo entre los estados fenológicos de brotación y floración y 13°C mejor para el intervalo entre floración y pinta. En general, en zonas de clima frío se requiere de variedades de maduración temprana mientras que en climas cálidos las variedades de maduración tardía tienen tiempo suficiente para alcanzar la maduración completa de los racimos.

Quemadura de racimos

Respuestas específicas a la temperatura también son importantes. Una brusca elevación de la temperatura ambiente en primavera o inicio de verano puede provocar severos daños en racimos (especialmente en las bayas) que se encuentran en la etapa de crecimiento. El problema ocurre en algunas áreas de Australia y Estados Unidos, en donde se conoce como “heat injury”. Este fenómeno no es de ocurrencia normal en nuestro país; sin embargo, en el norte chico ha provocado pérdidas significativas en la producción de vides. Los síntomas se caracterizan por el marchitamiento y desecación de bayas individuales, partes del racimo o racimos completos. En las bayas afectadas se producen áreas con depresiones que adquieren un color café o negro y parte de la baya, o la baya completa, se deshidrata y muere. El daño ocurre tanto en racimos expuestos como en racimos parcial o totalmente sombreados. Un incremento repentino de la temperatura (sobre 35°C), luego de un período de clima moderado hacia fines de primavera, es la causa de este desorden. El brusco cambio de temperatura provoca un fuerte desequilibrio (estrés fisiológico) entre la absorción de agua por las raíces y la alta tasa de transpiración requerida por las hojas y racimos. La temperatura de la pulpa de las bayas se eleva por sobre el nivel de muerte termal, provocando la necrosis y/o desecación de los tejidos.

Polinización

Un clima frío durante el período de floración afecta negativamente a la polinización. La temperatura es el factor que más limita la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico. Temperaturas inferiores a 15°C durante el período de floración afectan negativamente la cuaja de los racimos y de esta forma la producción comercial. Lo mismo ocurre con lluvias y fuertes vientos durante la floración.

Crecimiento de las bayas

La temperatura y la luminosidad (radiación) inciden en el crecimiento de las bayas y pueden ser la causa, especialmente la temperatura, de la obtención de bayas de bajo calibre en algunas temporadas. El efecto del clima sobre el tamaño de las bayas implica contar con una mayor o menor cantidad de hollejos y semillas en relación con la pulpa de las bayas. Como consecuencia habrá un mayor o menor contenido de aromas, taninos, antocianinas, azúcares y ácidos.

El desarrollo de las bayas de la vid se divide en dos etapas principales de crecimiento, separadas por una fase de reposo. Durante la etapa I se produce un rápido crecimiento, primero debido a un activo proceso de división celular y luego, hacia el final del período, debido a la expansión de las células. La etapa II se considera de reposo ya que el crecimiento de las bayas es muy lento. Con el inicio de la etapa III se reanuda un rápido crecimiento como resultado de la expansión de las células (principalmente por acumulación de agua y carbohidratos).

Desde el punto de vista del tamaño final de las bayas la etapa I es la más importante, pues en ella se establece el potencial de crecimiento dado por la cantidad de células generadas. Una adecuada nutrición y humedad en las plantas estimulará el proceso de división celular, pero además se requiere que la temperatura ambiente y la luminosidad estén en niveles adecuados para optimizar el proceso de fotosíntesis y así contar con una suficiente cantidad de carbohidratos en las plantas.

La etapa I de crecimiento tiene una duración aproximada de 35 días desde el momento en que se produce la cuaja de los racimos. Durante ese período la temperatura óptima para el crecimiento de las bayas es de alrededor de 25°C. Temperaturas superiores a 30°C o inferiores a 15°C pueden reducir significativamente el número de células en las bayas. Por otro lado, una condición de baja luminosidad también puede reducir la cantidad de células de las bayas en crecimiento. Sin embargo, esa condición no se presenta normalmente en el área de producción del norte chico.

Composición química de las bayas

El desarrollo de las bayas después del período fenológico de “pinta” incluye la acumulación y metabolismo de diversos compuestos. Ambos procesos son influenciados por varios factores que incluyen:

- Variedad: el genotipo determina el momento en que ocurren los estados fenológicos y los tipos y cantidades de compuestos presentes.
- Clima: influencia el desarrollo del follaje con sus consecuentes efectos sobre el desarrollo de las bayas. Estas pueden ser afectadas directa o indirectamente por factores climáticos que incluyen temperatura, radiación, lluvia y viento.
- Suelo: el tipo de suelo influye en la disponibilidad de agua, la nutrición y el desarrollo de las raíces, todo lo cual afecta el crecimiento vegetativo.
- Crecimiento de brotes: la vid integra todos los factores ambientales para que se desarrollen los brotes y racimos. El vigor de los brotes, la carga frutal y la exposición de la fruta afectan la composición y el desarrollo de las bayas. Una alta carga frutal disminuye el contenido de azúcares y el contenido de compuestos aromáticos.

El agua es el mayor componente de la baya (70-80%) y su cantidad está estrechamente relacionada con el tamaño de la baya. De los compuestos sólidos solubles la mayoría corresponde a azúcares (90%). Los restantes corresponden a ácidos orgánicos, polisacáridos, pectinas, potasio, proteínas y otros compuestos. Alrededor del 99% de los azúcares son glucosa y fructosa, los que incrementan su concentración durante la maduración de manera que al momento de la cosecha alrededor de la cuarta parte del peso de la baya consiste en azúcares. Los ácidos tartárico y málico son los principales componentes ácidos en el jugo de las bayas. Luego de la pinta la acidez declina gradualmente hasta la cosecha.

El potencial aromático de las bayas está formado por sustancias volátiles libres directamente accesible a la mucosa olfatoria. Estas comprenden esencialmente a terpenoles, tales como linanol, geraniol y nerol. Estos compuestos aromáticos han sido encontrados en todas las variedades usadas por la industria pisquera, aunque en cantidades muy superiores en las variedades aromáticas (Moscatel de Alejandría y Moscatel Rosada), en comparación con variedades menos aromáticas (Pedro Jiménez).

El clima influye significativamente en la composición química de las bayas. Temperaturas cálidas invariablemente resultan en bayas con altos contenidos de azúcares. Diversos estudios muestran que la acumulación de azúcar es mayormente influenciada por la temperatura en las dos primeras etapas de

crecimiento de las bayas (etapas I y II), y que en la última fase de crecimiento (etapa III) tiene sólo un pequeño efecto en la concentración final de azúcar. Aunque las temperaturas cálidas normalmente apuran el crecimiento y la maduración, existe un límite máximo sobre el cual la asimilación es reducida. El proceso de fotosíntesis es 90% a 100% eficiente entre 15°C y 30°C, disminuyendo marcadamente a medida que temperatura se mueve arriba o abajo de esos niveles.

Las temperaturas nocturnas también tienen un rol clave en la acumulación de azúcares en las bayas. Las noches frescas (menos de 10°C) tienden a frenar el crecimiento de los brotes, permitiendo que los carbohidratos excedentes se acumulen en las bayas. Por otro lado, altas temperaturas en la noche estimulan el crecimiento de los brotes, provocando una competencia con el desarrollo de los racimos y reduciendo así la acumulación de azúcares.

El mayor efecto del incremento de la temperatura durante el período maduración es la gran disminución de la acidez del jugo de las bayas, especialmente del ácido málico. También la mayor temperatura tiene un efecto positivo sobre la formación de compuestos aromáticos.

Color de bayas

El color en las variedades es parcialmente dependiente de la temperatura. Temperaturas muy frías o muy cálidas se asocian con falta de color. La temperatura óptima para la síntesis de antocianinas está en el rango entre 17°C y 26°C. En general, con temperaturas superiores a 30°C no se produce una coloración apropiada, independiente de la temperatura nocturna.

Daño por heladas

Las heladas (temperaturas inferiores a 0°C) no son un fenómeno de ocurrencia normal en la zona pisquera. Sin embargo, en algunos inviernos pueden provocar importantes daños en la agricultura. Afortunadamente, las variedades inician la brotación a mediados de septiembre en las zonas más tempranas en el territorio de producción de pisco, época en la que el riesgo de heladas es mínimo. De hecho, no se conoce de pérdidas de producción en vides pisqueras por causa de heladas.

2.2.2. Efectos de la radiación

Las vides pueden recibir hasta $2.500 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ de radiación fotosintéticamente activa (PAR) bajo condiciones de cielos limpios y entre 300 y 1.000 en condiciones de nubosidad. Un valor PAR de $700 \mu\text{Em}^{-2}\text{s}^{-1}$ es óptimo para la fotosíntesis, y 15 a 30 es el punto de compensación de luz bajo el cual las hojas consumen igual cantidad de carbohidratos que los que producen.

En general altos niveles de radiación, tanto en intensidad como en duración, incrementan el rendimiento y el contenido de sólidos solubles. Altas radiaciones también aumentan la temperatura, especialmente de las hojas y bayas expuestas, permitiendo una mayor actividad fotosintética y metabólica. En un estudio realizado en la zona pisquera se concluyó que la máxima concentración de compuestos aromáticos se obtuvo con una luminosidad intermedia alrededor de los racimos. En racimos muy sombreados existió una baja concentración de terpenoles, con ausencia de tipicidad moscatel.

2.3. Fenología de la vid

Fenología es el estudio de los fenómenos naturales que ocurren periódicamente en las plantas y de la relación de estos fenómenos con el clima. La fenología describe las causas de la variación en el tiempo a través de correlaciones entre índices climáticos y las fechas de eventos particulares de crecimiento y de los intervalos entre ellos. Tal información ayuda a entender la forma en que las plantas reaccionan al clima y a predecir su comportamiento en nuevos ambientes. En el caso de la vid el mayor énfasis está dado por su crecimiento y desarrollo durante cada ciclo anual.

La información de fenología es esencial para tomar decisiones apropiadas en el manejo de la vid, por ejemplo: seleccionar un sitio adecuado de plantación y determinar el mejor momento para realizar las prácticas de campo como riego, fertilización, control de plagas y enfermedades, etc.

2.3.1. Ciclo anual de la vid

En zonas de clima templado la vid ha desarrollado las características de las especies frutales de hoja caduca. El ciclo se inicia con un crecimiento lento de los brotes luego de la brotación, el que se transforma en un crecimiento vegetativo intenso hacia fines de primavera el que se ha definido como “el gran período de crecimiento”. La elongación de los brotes disminuye (o se detiene) a mediados de verano a causa de las altas temperaturas y principalmente, por la competencia interna con el crecimiento de las bayas en los racimos.

La vid difiere de los árboles de hoja caduca en que el período de crecimiento activo de raíces ocurre algunas semanas después de la brotación y no antes de ella. Adicionalmente, el ciclo reproductivo muestra algunas características distintivas: la inducción de yemas, la floración y la cuaja de las bayas se producen a fines de primavera durante el gran período de crecimiento de los brotes. El hecho que estos dos eventos, inducción de yemas y floración, ocurren al mismo tiempo significa que el intervalo entre ellos ocupa un año completo, es decir, la floración culmina un largo y lento desarrollo de las inflorescencias cuyas yemas fueron inducidas un año antes.

La cuaja de las bayas da comienzo al período de desarrollo de la fruta, el que tiene una duración de 10 a 20 semanas. El desarrollo de las bayas tiene dos ciclos distintivos: en el primero, que coincide con la parte final del crecimiento activo de los brotes, existe una multiplicación celular activa dentro de las bayas; durante el segundo ciclo, que se inicia con la pinta, ocurre el proceso de maduración. Mientras las bayas maduran, los brotes se lignifican, las yemas entran en dormancia y algunas hojas basales caen. Luego los tejidos leñosos (tronco y raíces) aumentan su diámetro y se produce un segundo período de crecimiento activo de raíces. Finalmente, las hojas caen a medida que se aproxima el invierno.

2.3.2. Ocurrencia y definición de estados fenológicos

Todos los eventos de desarrollo mencionados arriba están sujetos a variaciones en el tiempo de acuerdo con la variedad, región y temporada. Algunos de ellos están interrelacionados y una buena forma de conocer el desarrollo de una variedad en un lugar específico, es mediante el registro de eventos claves como la brotación, floración, pinta y cosecha. Estos eventos o estados se definen de la siguiente forma:

- Brotación: 50% - 60% de las yemas en estado algodonoso.
- Floración: 50% - 75% de flores abiertas en la mayoría de los racimos.
- Pinta: cambio de color en las bayas; éstas comienzan a ablandarse y a acumular azúcar.
- Cosecha: cuando el jugo de muestras de bayas alcanza los 22° Brix (12 GAP).

4.4. El suelo y su importancia en el desarrollo de la vid

El suelo juega un rol relevante en la creación y mantenimiento de un ambiente favorable para el crecimiento y funcionamiento óptimo de las vides, tanto en el corto como en el largo plazo. Las propiedades importantes del suelo son aquellas que influyen el suministro adecuado de oxígeno, agua y minerales a las raíces, además de la ausencia de factores físicos, químicos y biológicos adversos en la zona de raíces.

2.4.1. El rol del suelo en el crecimiento de las raíces

Un sistema radicular vigoroso y sano es esencial para el desarrollo de la vid ya que existe una importante interdependencia entre las raíces y el crecimiento de los brotes. Las raíces absorben agua y nutrientes desde el suelo y estos, junto con diversos compuestos orgánicos sintetizados en el ápice de las raíces, son distribuidos a través de la planta, particularmente hacia los brotes. El tejido leñoso de raíces, tronco y brotes almacena alimentos de reserva (derivados principalmente del proceso de fotosíntesis) que contribuyen positivamente en la longevidad y producción sustentable de las vides.

Además de agua y minerales, el sistema radicular provee de anclaje a la vid. Para cumplir con estas funciones, las raíces deben ser capaces de crecer libremente en el perfil del suelo, produciendo ramificaciones y formando nuevos ápices de crecimiento. Diversos factores afectan el desarrollo de las raíces, afectando positiva o negativamente el crecimiento y la función tanto de brotes como del sistema radicular.

2.4.2. Textura y estructura

Suelos de textura liviana, como arenosos y franco-arenosos, favorecen el crecimiento de las raíces pues ellos crecen fácilmente entre partículas de tamaño grande. Texturas más finas, como las arcillosas, restringen el crecimiento de las raíces debido a que los poros entre las partículas son pequeños. La porosidad del suelo (tamaño y extensión de los poros) es considerada el factor más importante que controla la distribución y crecimiento de las raíces de vid. La estructura del suelo se define como la asociación de partículas en agregados que dan origen a poros que contienen aire y agua. Una arcilla bien estructurada es más favorable para el crecimiento de las raíces que la arena, en la que las partículas están dispersas. Esto se debe a que las arcillas estructuradas tienen una alta proporción de macroporos que permite la difusión de oxígeno, el almacenaje de agua y el desplazamiento de las raíces.

2.4.3. Profundidad

En general, las raíces de la vid se desarrollan mayoritariamente en los primeros 100 cm de suelo. Sin embargo, algunas raíces individuales pueden penetrar hasta 6 metros o más de profundidad. Las raíces laterales, que comprenden la mayor parte de la superficie de absorción, se concentran en la estrata superficial (5-60 cm). La profundidad de las raíces se restringe si el perfil del suelo contiene capas limitantes como pie de arado, napas freáticas, arcillas densas, carbonatos duros. Además, tanto el crecimiento de las raíces como de los brotes disminuye a medida que aumenta la compactación del suelo. Aunque no hay un valor crítico sobre el cual el crecimiento de las raíces se restringe completamente, un buen suelo para el desarrollo de la vid debiera tener un valor de densidad aparente inferior a $1,5\text{g/cm}^3$.

2.4.4. Humedad

La infiltración del agua en el suelo está determinada por la presencia de poros estables y espacios en la superficie del suelo. Una distribución uniforme de espacios y poros grandes desde la superficie hacia abajo es necesaria para el movimiento del agua a través del perfil del suelo. La tasa de movimiento del agua está determinada por el tamaño de los poros, siendo más rápida a través de poros con tamaño superior a 0,5 mm de diámetro, y más lenta a través de poros inferiores a 0,08 mm de diámetro. Agregados de suelo de tamaño mediano a grande proveen de poros relativamente grandes. Sin embargo, en suelos con arcillas dispersas pequeñas partículas pueden sellar los espacios porosos entre los agregados y así restringir la infiltración.

La capacidad de retención de humedad es una propiedad del suelo que influye en la disponibilidad de agua para la absorción por las raíces. Los suelos de textura arenosa tienen una baja capacidad de agua disponible que alcanza a $0,08 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, mientras que suelos con texturas más arcillosas tienen valores de alrededor de $0,15 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. La elongación en profundidad de las raíces principales se ve favorecida en suelos moderadamente secos. En suelos más húmedos se favorece la ramificación de las raíces (densidad) en la medida que no haya restricción de aire. La habilidad de la vid para enfrentar de buena forma condiciones de sequía se debe a su capacidad para explorar un gran volumen de suelo con un sistema de raíces profundas, más que a una condición de tolerancia genética a suelos secos.

2.4.5. Aireación

La aireación de las raíces de las plantas ocurre por difusión gaseosa a través de los poros del suelo. Se requiere de alrededor de 10% de los poros con aire para un óptimo crecimiento de las raíces. El sistema radicular tiene escaso desarrollo en una condición de saturación hídrica del suelo, no solo porque hay menos difusión de oxígeno hacia la zona de raíces, sino también por una acumulación de etileno y dióxido de carbono que tienen un efecto inhibitorio sobre el crecimiento de las funciones de la raíz.

La saturación hídrica del suelo, por compactación y/o presencia de estratas impermeables, provoca una falta de aireación en la zona de raíces que restringe severamente el crecimiento y las funciones del sistema radicular. Si la falta de oxígeno (condición de anoxia) persiste por un tiempo prolongado, los iones minerales se mueven devuelta desde la epidermis de la raíz hacia el suelo. Se considera que un suelo está saturado cuando más del 90% de la porosidad total está ocupada por agua. Las vides son más sensibles a la saturación durante el período inicial de crecimiento de brotes y en los períodos de crecimiento activo de raíces. La acumulación de etileno en la zona de raíces durante la saturación es la causa del pobre crecimiento y actividad de las raíces. Concentraciones de etileno tan bajas como 1 mg/kg pueden afectar adversamente la extensión de las raíces de la vid e inhibir la absorción de hierro.

2.4.6. Nutrición mineral

Se considera que la vid tiene una adaptabilidad al suministro variable de nutrientes en el suelo mayor que otros cultivos hortícolas. Sin embargo, síntomas de deficiencia o exceso de nutrientes ocurren con frecuencia. El impacto del suelo sobre la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento de raíces es relevante, especialmente el efecto del pH del suelo. En suelos alcalinos, propios del norte chico, existe una baja disponibilidad de nitrógeno, manganeso, hierro, cobre y zinc. Como ocurre en la mayor parte de las especies frutales, el incremento en densidad del sistema radicular de las vides es altamente dependiente de los niveles de nitrógeno y fósforo disponibles.

2.4.7. Propiedades químicas del suelo limitantes para el desarrollo de la vid

La presencia de carbonatos blandos en el suelo, especialmente carbonatos de Ca, afecta la disponibilidad de algunos nutrientes (hierro), provocan síntomas de clorosis inducidas y reducen la permeabilidad del suelo. En suelos con altos contenidos de carbonatos y libres de Na el pH del suelo no excede de 8,5 pero donde el Na está presente el pH alcanza 9 e incluso 10.

Con estos valores de pH nutrientes como P, Fe, Zn y Mn no están disponibles para las plantas y se desarrollan síntomas de clorosis en variedades susceptibles. Para que las plantas de vid se desarrollen normalmente se requiere de suelos con bajos contenidos de carbonatos (menos de 5%) en los primeros 45 cm de profundidad.

Una alta concentración de sales solubles en el suelo puede limitar el crecimiento de las plantas al crear un potencial osmótico tan alto que las plantas tienen dificultad para obtener agua y nutrientes desde la solución del suelo. En general, el NaCl representa dos tercios o más de las sales solubles, y bicarbonatos, sulfatos y otras sales conforman el resto. La salinidad es un problema cuando la superficie del suelo tiene 0,15% o más de sales solubles totales.

La permeabilidad del suelo está fuertemente influenciada por el contenido de iones sodio (Na), que si es suficientemente alto provoca la dispersión de las partículas de arcilla y bloquea el paso del agua a través de los poros del suelo. El porcentaje de sodio intercambiable es una medida del contenido de sodio, o modicidad de un suelo. Porcentajes de sodio intercambiable de 6 o más indican que el suelo es sódico y 15 o mayores que el suelo es fuertemente sódico. Suelos con superficies sódicas o fuertemente sódicas generalmente no son aptos para el crecimiento de las vides.

2.4.8. Efecto del suelo sobre la calidad de la fruta

El posible efecto del suelo sobre la composición de las bayas y la calidad de los vinos o destilados es más difícil de evaluar que el efecto del clima. Sin embargo, es generalmente aceptado que en suelos fértiles se obtiene mayores producciones pero con fruta de calidad media a baja (la composición química de las bayas es poco balanceada). Inversamente, suelos menos fértiles son más apropiados para variedades de uva de mesa y de vino de alta calidad.

2.4.9. Factores biológicos

El suelo es residencia de una variada población biológica (flora y fauna) que interactúa fuertemente con las raíces de la vid, directa o indirectamente, positivamente y negativamente. Los organismos representan una gran biomasa que requiere de nutrientes para sobrevivir. Al mismo tiempo, esta biomasa influencia la disponibilidad de nutrientes para las raíces (parte del nitrógeno de la materia orgánica es convertido en iones nitrato disponibles para las plantas).

La absorción de fósforo y zinc es incrementado con la presencia de micorrizas (hongos) en la superficie de las raíces. Cierta fauna degrada el material orgánico en beneficio de la estructura del suelo. Es el caso de las lombrices que construyen túneles y reciclan nutrientes y partículas de suelo en el perfil, mejorando así el movimiento de aire y agua y la penetración de las raíces. También existe una población biológica en el suelo que es patógena para las raíces de la vid: p.ej. nematodos, larvas de insectos, hongos como phytophthora y verticillium.

Finalmente, las raíces de otras plantas pueden afectar las raíces de las vides en forma indirecta al alterar o competir por los recursos del suelo (agua, minerales) o en forma directa mediante la liberación de compuestos tóxicos (alelopatía).

2.5. Zonificación climática

Una de las riquezas de la producción vitícola mundial está dada por la gran diversidad de ecosistemas que la componen. Esta variabilidad en las condiciones ambientales hacen que prácticamente cada región productora constituya una situación particular, ya sea por el clima, el suelo o por la interacción de estos dos componentes del medio geográfico. Es sabido que la diversidad existente a nivel mundial en cuanto a las características de tipicidad y calidad de los productos obtenidos de la vitivinicultura se debe en gran parte a la diversidad en las condiciones climáticas en las cuales las uvas fueron producidas.

El conocimiento y la valorización de los factores naturales existentes en las regiones vitícolas permiten mejorar la producción de destilados desde el punto de vista de la calidad. Para aquellas regiones que poseen una menor tradición productora, por ejemplo las del denominado “nuevo mundo”, o aquellas en las cuales los productos no se encuentren bien diferenciados, la valorización de los ecosistemas aún constituye un desafío. Un paso importante en este aspecto lo constituye el posicionar al territorio de denominación de origen pisco en un contexto comparativo con otras regiones más conocidas, para distinguir así su potencial para la elaboración de productos de calidad, para lo cual se necesita considerar aquellos factores diferenciadores.

De manera general, todos los procesos fisiológicos de las plantas están influenciados por un conjunto de factores abióticos: radiación solar, temperatura, humedad del aire, agua en el suelo, etc.; siendo principalmente las adaptaciones varietales las que regulan las respuestas de las plantas. Entre los factores que intervienen en la tipicidad de los vinos se encuentran el clima, el suelo, la variedad y portainjerto, y las prácticas de cultivo y enológicas, factores que en su conjunto se conocen como terroir. Por ejemplo, las temperaturas diurnas y nocturnas, además de la radiación, influyen sobre la evolución de la composición de la uva: acumulación de azúcares, degradación de los ácidos y aumento del pH, síntesis y degradación de compuestos fenólicos y evolución de los aromas.

Los estudios agroclimáticos han sido ampliamente utilizados para caracterizar el potencial de producción agrícola de una región. La gran mayoría de los trabajos relacionados con el estudio espacial y temporal del clima en viticultura se apoyan en la utilización de índices agroclimáticos, los que intentan traducir directamente el efecto del clima sobre el desarrollo de las plantas y la maduración de las bayas. Estos índices se basan en los efectos conocidos de los elementos del clima sobre el ciclo vegetativo y reproductivo de la vid.

El clima y las correlaciones entre sus factores y la producción de cada variedad, la composición de la uva y el crecimiento vegetativo de la vid, son la base de la individualización de la aptitud vitícola de una zona en función de los objetivos productivos que se pretenden alcanzar. La búsqueda de índices climáticos capaces de diferenciar y delimitar zonas vitícolas ha sido un desafío para los países del llamado “nuevo mundo”. Estos índices son el punto de partida para la identificación de los terroirs, los que deben ser diferenciables desde el punto de vista de la respuesta de la planta a las condiciones del medio, que permitan su explotación comercial.

Una primera aproximación a la zonificación vitícola consiste en la delimitación de regiones climáticamente homogéneas, denominadas zonas de clima vitícola, mediante la utilización de diferentes

índices agroclimáticos. Estos índices toman en cuenta los principales factores climáticos: temperatura, balance hídrico, radiación solar, entre otros.

El clima vitícola corresponde al clima de una parcela, localidad, de un viñedo o de una región más o menos extensa, clasificada según uno o más índices climáticos. Su estudio puede ser abordado a diferentes escalas (macro, meso y microescala) y expresado por diferentes índices que toman en cuenta las necesidades de la vid.

En los estudios agroclimáticos suelen distinguirse tres escalas de trabajo. La denominación macroclima es aplicada a una zona muy extensa, por ejemplo un país, y para su caracterización se hace necesaria la utilización de datos provenientes de un número importante de estaciones meteorológicas distribuidas sobre el territorio a estudiar. El mesoclima corresponde a una condición particular del macroclima, como por ejemplo al considerar la influencia de un río y la configuración topográfica de un valle, pero su escala espacial puede variar de manera considerable. El microclima responde a las condiciones climáticas que se encuentran sobre una superficie reducida. En este punto, se han propuesto dos niveles de estudio: el microclima natural para referirse a una escala de 10 a 100 metros y el microclima de la planta, en el que las mediciones deben realizarse en el cultivo. En el presente estudio se utilizó el mesoclima como escala de trabajo.

La situación actual del territorio pisquero es que las plantaciones se han realizado sin considerar la relación clima-variedad. Por esta razón, en áreas costeras con clima frío las variedades allí establecidas difícilmente alcanzan (o no alcanzan) el grado de madurez mínimo requerido por la industria. La importancia de un estudio de zonificación climática radica en la posibilidad de acceder a mayor información para establecer las variedades en una condición apropiada, de acuerdo con las características de calidad del producto que se quiera obtener.

Algunos estudios se han realizado en el territorio pisquero para definir zonas climáticas y para determinar la influencia del clima sobre el comportamiento productivo de las variedades y la calidad de los alcoholes.

En los años 70 el INIA desarrolló el estudio "Efectos de la altitud y latitud en la calidad pisquera de cuatro cultivares de vid". Se utilizaron las variedades Moscatel de Alejandría, Moscatel Rosada, Moscatel de Austria y País establecidas en los valles de Huasco, Elqui, Limarí y Choapa. Las principales conclusiones del estudio fueron: a) la obtención del grado de madurez óptimo (en este caso 13 GAP) fue más rápida mientras mayor es la altitud y más al norte se encuentren los parrones, b) los piscos de mejor calidad correspondieron a un grado de madurez de la uva de 13 a 15 GAP y c) la degustación mostró que Moscatel de Alejandría produjo el pisco de mayor aceptación, seguido de Moscatel Rosada, País y Moscatel de Austria. Aunque el estudio no consideró el uso de información climática (probablemente porque no había o era muy escasa), en forma indirecta los resultados muestran un efecto del clima sobre la maduración. Esta fue más rápida en la zona interior de los valles (mayor altitud) que presenta temperaturas elevadas durante el ciclo de crecimiento de las vides.

Una interesante descripción del clima de la zona pisquera se lleva a cabo en la publicación de la Pontificia Universidad Católica de Chile (1981) "Antecedentes sobre la vitivinicultura de la zona pisquera". En el capítulo de clima se muestran datos de temperatura y humedad relativa de diversas localidades y se hace un análisis de la relación entre el clima y el comportamiento fenológico y fisiológico de las vides.

Las cooperativas pisqueras Capel y Control financiaron el estudio “Zonificación agroclimática de la IV Región”, el cual fue ejecutado por la Universidad de Chile. Uno de los productos del estudio fue la elaboración de un mapa de distritos agroclimáticos (diciembre, 1986), el que caracteriza 32 distritos en base a variables térmicas (temperatura máxima y mínima de enero y julio, período libre de heladas, horas de frío, días-grado, radiación solar en enero y julio) y variables hídricas (humedad relativa en enero y julio, evapotranspiración potencial, precipitación).

En el 57° Congreso Agronómico de Chile (año 2006) se presentó el estudio “Zonificación agrotopoclimática de la IV Región de Coquimbo”, el cual fue realizado por investigadores del Departamento de Física de la Universidad Tecnológica Metropolitana y de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. La zonificación fue realizada mediante un método multivariante sobre 17 variables agroclimáticas, tanto térmicas como hídricas y radiactivas. Como resultado se obtuvieron 37 distritos agrotopoclimáticos en los que se aprecia la influencia orográfica en la distribución espacial y temporal de las variables climáticas de la Región.

Otro trabajo reciente fue llevado a cabo por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), en el marco del proyecto “Alternativas productivas frutícolas en la IV Región”, ejecutado entre los años 2004 y 2007. Uno de los objetivos del proyecto fue la realización de una zonificación edafoclimática de aptitud frutícola potencial para las especies mandarino, limonero, palto, nogal y olivo en diversas localidades de los valles de Elqui, Limarí y Choapa.

2.5.1. Índices climáticos vitícolas

Existe en vitivinicultura una serie de índices destinados a estimar las potencialidades climáticas de un lugar determinado para asegurar la maduración de la uva de diferentes variedades o para definir aspectos relacionados con el balance hídrico y la calidad de los racimos. Los índices utilizados en el presente estudio son los indicados en el sistema de clasificación climática propuesto por Tonietto y Carbonneau (2004), el que considera tres índices climáticos sintéticos y complementarios entre ellos, los que permiten una clasificación de carácter multicriterio. Estos índices han sido desarrollados en función de las necesidades de las distintas variedades, la calidad de las uvas (azúcar, acidez, color, aroma) y en la tipicidad de los vinos. Aunque los tres índices del sistema de clasificación de multicriterio consideran su efecto sólo en la calidad de la fruta y de los vinos, su influencia sobre la calidad del pisco es directa ya que éste es un producto destilado a partir de vinos elaborados con variedades específicas utilizadas por la industria pisquera. Los tres índices son:

a) Índice Heliotérmico de Huglin (IH): este índice relaciona las temperaturas medias y máximas diarias durante el período activo de vegetación y un coeficiente de longitud del día que varía según la latitud, proporcionando según las distintas variedades una mejor idea del potencial de azúcar que las sumas térmicas clásicas. Su razonamiento está basado en el hecho de que las temperaturas medias por sí solas no pueden dar cuenta de la actividad fotosintética de la planta y que es necesario tomar en cuenta las condiciones térmicas durante el período diurno donde la fotosíntesis efectivamente tiene lugar. En combinación con el Índice de Frío Nocturno (IF, presentado más adelante), este índice permite realizar una mejor discriminación del clima de una región con respecto a las condiciones heliotérmicas globales durante el ciclo vegetativo del viñedo y las condiciones de frío nocturno durante el período de maduración de la fruta.

b) Índice de Frío Nocturno (IF): es sabido que las temperaturas nocturnas son un factor que favorecen procesos como la acumulación de compuestos relacionados con la calidad organoléptica de las uvas. Este índice corresponde a una variable que toma en cuenta las temperaturas medias mínimas nocturnas durante el período en el cual ocurre la maduración. También se sabe que si bien la acumulación de

azúcares está fuertemente determinada por la luminosidad, el destino de éstos depende del régimen térmico, especialmente de las temperaturas nocturnas. Las noches frescas tienden a frenar el crecimiento de los brotes, favoreciendo la generación de excedentes de carbohidratos acumulables en los frutos. Contrariamente, las noches cálidas favorecen el crecimiento continuo de los brotes, compitiendo fuertemente con los frutos.

c) Índice de Sequía (IS): existe una gran cantidad de modelos de balance hídrico, pero pocos han sido adaptados para la vid. Entre las dificultades para su elaboración se puede citar la falta de conocimiento de la profundidad del sistema de raíces o la distinción entre la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. El Índice de Sequía permite caracterizar la componente hídrica del clima de una región vitícola tomando en cuenta la demanda atmosférica, la evaporación del suelo y la precipitación, sin considerar escurrimiento superficial ni drenaje interno del suelo. Indica la presencia o ausencia de sequía potencial de una región.

2.5.2. Sistema de Clasificación Climática Multicriterio (CCM)

El Sistema de Clasificación Climática Multicriterio (CCM) corresponde a un sistema de clasificación climática para las regiones vitivinícolas basado en la integración de los tres índices climáticos antes descritos (IH, IS, IF). Este sistema establece el clima vitícola de cada región y permite su clasificación y agrupamiento, permitiendo la identificación de zonas homogéneas. Para cada uno de los tres índices climáticos el sistema CCM define diferentes clases de clima vitícola, las que son presentadas en el cuadro siguiente.

Cuadro 3. Clases de clima vitícola y sus intervalos

Índice	Clase de clima vitícola	Sigla	Intervalo
Índice Heliotérmico	Muy cálido	IH + 3	> 3000
	cálido	IH + 2	> 2400 ≤ 3000
	Temperado cálido	IH + 1	> 2100 ≤ 2400
	Temperado	IH – 1	> 1800 ≤ 2100
	Frío	IH – 2	> 1500 ≤ 1800
	Muy frío	IH – 3	≤ 1500
Índice de Frío Nocturno (°C)	Noches muy frías	IF + 2	≤ 12
	Noches frías	IF + 1	> 12 ≤ 14
	Noches templadas	IF – 1	> 14 ≤ 18
	Noches cálidas	IF – 2	> 18
Índice de Sequía (mm)	Sequía fuerte	IS + 2	≤ -100
	Sequía moderada	IS + 1	≤ 50 > -100
	Sub-húmedo	IS – 1	≤ 150 > 50
	Húmedo	IS – 2	> 150

2.5.3. Índices climáticos complementarios

El clima del territorio de denominación de origen pisco es considerado como semiárido. Esto significa que en algunas áreas pueden presentarse condiciones extremas que afectarán negativamente, tanto el crecimiento del follaje como la calidad de la producción. Entre las variables climáticas que pueden provocar irregularidades en el comportamiento vegetativo y productivo de las vides se destacan la

radiación solar, las temperaturas iguales o superiores a 30°C, la nubosidad y la humedad relativa. De allí la importancia de cuantificar estas variables.

La actividad fotosintética de las vides es el factor principal que permite el crecimiento y la producción, y ella depende fuertemente de los niveles de radiación solar y de la temperatura. Ambientes muy luminosos, asociados a temperaturas elevadas (sobre 30°C), reducen o detienen el proceso fotosintético disminuyendo de esta forma la tasa de crecimiento de los brotes y el peso de los racimos. La nubosidad afecta la cantidad de radiación total que reciben las plantas en un área determinada. Es conocido que en las áreas costeras el grado de nubosidad es mayor que en las áreas localizadas al interior de los valles. Por último, la humedad relativa sigue un patrón similar al de la nubosidad. En las áreas interiores de los valles, con baja humedad relativa y altas temperaturas, la demanda hídrica es alta. Lo contrario ocurre en las áreas cercanas a la costa.

3. Metodología

3.1. Área de estudio

El estudio se realizó en la zona de denominación de origen pisco, que comprende las regiones de Atacama y Coquimbo. La Región de Atacama concentra el 6% de la superficie de uvas destinadas a la elaboración de pisco, mientras que la Región de Coquimbo posee un 94% del total. El cultivo de las vides pisqueras se realiza principalmente en cuatro valles: Huasco (Atacama), Elqui, Limarí y Choapa (Coquimbo), los cuales se muestran en la figura 1.

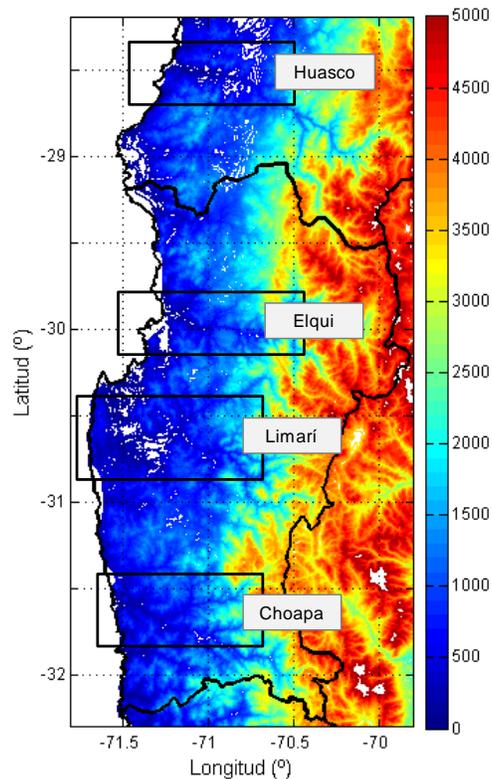


Figura 1. Mapa de la zona en estudio indicando los valles de producción de uvas. Barra de colores en m.s.n.m.

Considerando que tanto las plantaciones como la información necesaria para el estudio se concentran en los valles mencionados, el área de estudio se acotó a dicho territorio. Estos valles son parte de los llamados valles transversales, los que se caracterizan por presentar gradientes térmicos, de radiación solar, etc., que siguen una orientación oeste-este. Otra característica climáticamente importante es la topografía compleja de la zona, la que influye tanto en la variabilidad espacial de los elementos del clima, como en la dificultad impuesta en el tratamiento espacial de las variables atmosféricas.

3.2. Información meteorológica.

La información meteorológica utilizada en el estudio provino, en el caso de los valles de Huasco y Elqui, de la red de estaciones¹ pertenecientes al Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA). La red

¹ <http://www.ceazamet.cl>

estuvo constituida por 5 estaciones meteorológicas en Huasco y 7 en Elqui, a las que se sumaron estaciones de la Dirección General de Aguas y de productores particulares, sumando un total de 11 estaciones en Huasco y 16 en Elqui.

En el valle del Limarí se utilizó la información generada por el proyecto Sistema Interactivo de Apoyo al Riego (SIAR)², por la Dirección General de Aguas y por productores, con un total de 27 estaciones meteorológicas. En el valle del Choapa las estaciones utilizadas fueron 6, 4 de productores y 2 del CEAZA.

Las variables meteorológicas utilizadas fueron las siguientes:

- Temperatura del aire
- Humedad relativa del aire
- Precipitación
- Radiación global
- Velocidad del viento
- Evapotranspiración potencial (método de Penman-Monteith)

Cabe señalar que no todas las variables señaladas estuvieron disponibles en cada estación meteorológica, por esta razón no se presenta información de los índices climáticos complementarios en el valle de Choapa. En este lugar las estaciones meteorológicas con mayor cantidad de sensores (las del CEAZA) fueron establecidas en el año 2009, eso significa que la información disponible es limitada. Debido a que la agricultura en los valles se realiza mayoritariamente en las zonas medias y bajas de éstos, las estaciones meteorológicas se concentran en dichos lugares. La figura 2 muestra la posición de las estaciones utilizadas en el estudio en los valles de Huasco, Elqui, Limarí y Choapa.

² <http://www.siar.cl>

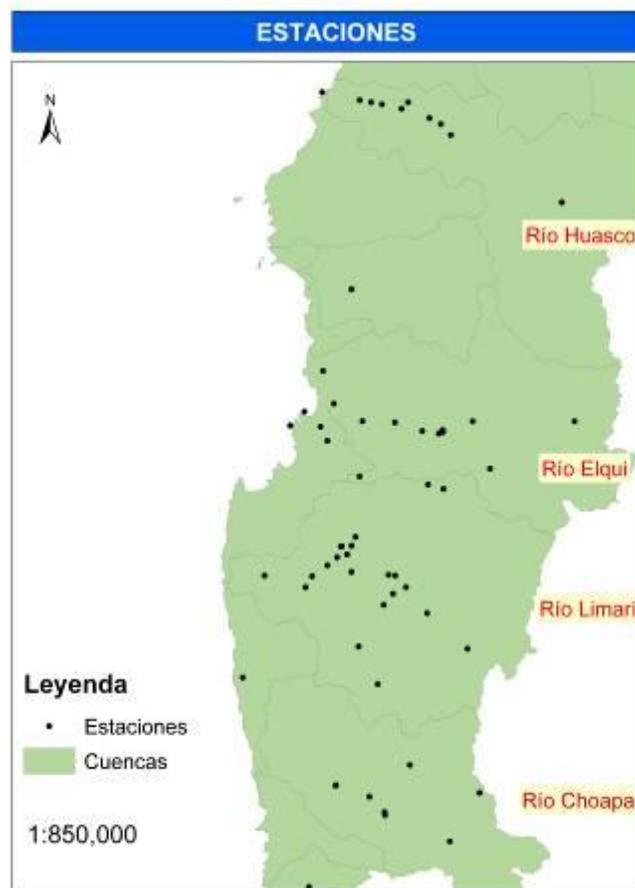


Figura 2. Posición de las estaciones meteorológicas a utilizar en el estudio. Valles de Huasco, Elqui, Limarí y Choapa

3.3. Cálculo de índices climáticos vitícolas

- a) **Índice Heliotérmico de Huglin (IH):** el cálculo se realizó utilizando datos climáticos mensuales para el período de crecimiento activo de la planta. El cálculo es el siguiente:

$$IH = \sum_{01-sep}^{31-mar} \frac{[(T - 10) + (Tx - 10)]}{2} d$$

Donde: T corresponde a la temperatura media del aire ($^{\circ}C$), Tx a la temperatura media máxima del aire ($^{\circ}C$) y d a un coeficiente de duración del día que varía desde 1,02 a 1,06 entre los 40° y 50° de latitud (no considerado en este estudio). El período de cálculo se adaptó al ciclo vegetativo promedio de las variedades de uva pisquera (7 meses), comprendido entre el 1 de septiembre y el 31 de marzo. Originalmente el índice considera el período comprendido entre octubre y marzo.

- b) **Índice de Frío Nocturno (IF):** el cálculo de este índice se realizó de la forma siguiente:

IF = Temperatura media mínima del aire del mes de marzo en $^{\circ}C$

Para el estudio de un mesoclima en particular, el período de cálculo para IF debe ajustarse al período de 30 días en que ocurre la maduración de la uva. Para el presente estudio se consideró el período promedio en el cual las uvas maduran bajo las condiciones locales.

c) Índice de Sequía (IS): el cálculo del índice de sequía es el siguiente:

$$W = W_0 + P + T_c + E_s$$

Donde: W es la estimación de la reserva hídrica del suelo al final del período considerado; W_0 la reserva hídrica inicial del suelo, posible de ser extraída por las raíces; P es la precipitación; T_v la transpiración potencial del viñedo; E_s la evaporación directa a partir del suelo. T_v y E_s se calculan, mes a mes, como:

$$T_v = ETP * k$$

Donde: ETP es la evapotranspiración potencial (total mensual), calculado por el método FAO56-Penman-Monteith; y k corresponde a un coeficiente de absorción de la radiación por el follaje, el cual relaciona la transpiración con la arquitectura de la planta: $k=0,1$ para octubre; $k=0,3$ para noviembre; y $k=0,5$ para noviembre a marzo. Dado que este coeficiente ha sido creado para viñedos conducidos en espaldera, su valor será modificado en función de la arquitectura de los parrones usados en uvas pisqueras y las etapas fenológicas de cada variedad.

$$E_s = \frac{ETP}{N} (1 - k) J P m$$

Donde: N es el número de días del mes, $J P m$ es el número de días de evaporación efectiva desde el suelo, y corresponde a la quinta parte de la precipitación total mensual ($P/5$), el que debe ser menor o igual al número de días del mes.

El valor final de W se denomina IS adoptando un W_0 inicial de 200 mm, valor que corresponde a un promedio de una gama de suelos. Para el presente estudio, el período considerado fue el mismo de IH (septiembre a marzo), y la reserva inicial del suelo se obtuvo de la capacidad de retención de agua en función de la información de series de suelo disponibles, considerando aquellas unidades cartográficas dominantes.

d) Índices Climáticos Complementarios: una de las variables importantes desde el punto de vista vitícola es la **radiación solar**. Para el estudio se utilizó información de radiación global de manera directa, acumulada durante la temporada de crecimiento de las vides, considerando el mismo período de cálculo de los índices IH e IS. La radiación global acumulada se calculó de la manera siguiente:

$$RGac = \frac{\int_{T_1}^{T_2} \int_1^{24} Rg(h) dh}{dT}$$

Donde: $Rg(h)$ corresponde a la radiación global ($W m^{-2}$) registrada a la hora h ; T_1 y T_2 al 01 de septiembre y 31 de marzo, respectivamente.

Otro factor de amplio conocimiento en cuanto a su variabilidad es la **nubosidad**, sobre todo en sectores más cercanos a la costa. Las redes de monitoreo ambiental de las regiones en estudio no poseen

observaciones ni estimaciones de cobertura nubosa, por lo que este factor se derivó indirectamente del Índice de Claridad del cielo (IC), que es un indicador de las condiciones de transmisión atmosférica de un punto dado, y que relaciona la radiación global con la radiación extraterrestre (tope de la atmósfera). Por ejemplo, en un día completamente nublado los valores de IC son cercanos a 0,1-0,3, y en un día completamente despejado (día claro) los valores de IC pueden llegar a 0,7-0,8. Este índice se define como:

$$IC = \frac{I}{I_o}$$

Donde: I es la radiación solar global promedio diaria e I_o es la radiación solar extraterrestre promedio diaria, ambos en un plano horizontal. La I_o es calculada por la siguiente relación:

$$I_o = \frac{24 * 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega)]$$

Donde: I_o es la radiación extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$); G_{sc} la constante solar ($0,082 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$); d_r la distancia relativa inversa Tierra-Sol; ω_s el ángulo de radiación a la puesta del sol (rad); φ la latitud (rad); y δ el ángulo de declinación solar (rad). La distancia inversa Tierra-Sol, d_r , y la declinación solar, δ , están dadas por:

$$d_r = 1 + 0,033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right)$$

$$\delta = 0,409 * \sin\left(\frac{2\pi}{365}J - 1,39\right)$$

Donde: J es el número del día en el año entre 1 (1 de enero) y 365 (31 de diciembre). El ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol, ω_s , está dado por:

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left[\frac{-\tan(\varphi) \tan(\delta)}{X^{0,5}} \right]$$

Donde:

$$X = 1 - [\tan(\varphi)]^2 [\tan(\delta)]^2$$

Con $X = 10^{-5}$ si $X \leq 0$.

Otro elemento importante utilizado como variable discriminadora del clima de la región en estudio fue la **frecuencia de días cálidos**, calculada, para los meses de enero y febrero, como el número de días con **temperaturas iguales o superiores a 30°C**. Unido a este factor térmico se cuantificó la **humedad relativa** a las 14:00 horas, como un indicador de la posible situación de estrés en las cuales se encuentren las plantas.

3.4. Análisis estadístico, tratamiento y representación cartográfica de los datos

Para la identificación de los principales factores de la variabilidad espacial del clima en los valles en estudio, los índices climáticos calculados se analizaron mediante dos métodos estadísticos multivariantes. El primer paso fue la utilización de un Análisis de Componentes Principales (ACP), para luego realizar una un Análisis de Clusters (AC) Jerárquico al grupo de estaciones meteorológicas, utilizando la Distancia Euclidiana como coeficiente de distancia y el método de Ward como algoritmo de clasificación.

3.5. Información geográfica

Tratamiento de información para los índices

Para trabajar con Sistemas de Información Geográfica (SIG) se debe tener especial cuidado con el tipo de información que se superpone, pues al utilizar distintos sistemas de referencia ocurren errores a escala espacial. Por lo anterior, primero se ubicaron espacialmente las estaciones seleccionadas y se homogenizó la información en un mismo sistema de referencia, esto debido a que las estaciones provenientes de las diversas fuentes de información están referenciadas bajo distintas proyecciones y husos cartográficos. Para este estudio se utilizó el Datum WGS84 en coordenadas geográficas.

La representación cartográfica de los índices climáticos se realizó mediante el uso de una regresión lineal múltiple como método de interpolación, utilizando la información directa de cada punto (latitud, longitud, altitud) del Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés), y otra derivada de éste (pendiente, exposición, distancia al mar).

Para calcular las variables topográficas pendiente, exposición y altura de la zona de estudio, se descargó el DEM del sensor remoto Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) del satélite TERRA de la NASA³. El DEM se presenta en cuadrículas de 1x1 grados de latitud-longitud, por lo cual fue necesario realizar una unión de las dieciocho cuadrículas presentes en el área de estudio. El DEM cuenta con una resolución espacial de 30 metros y el tamaño de píxel corresponde a una escala 1:50.000 – 1.250.000, que es comúnmente utilizada en análisis de carácter comunal.

En base al DEM se obtuvo la exposición (figura 3) y la pendiente (figura 4) mediante el procesamiento con un SIG.

^{3 3} <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>

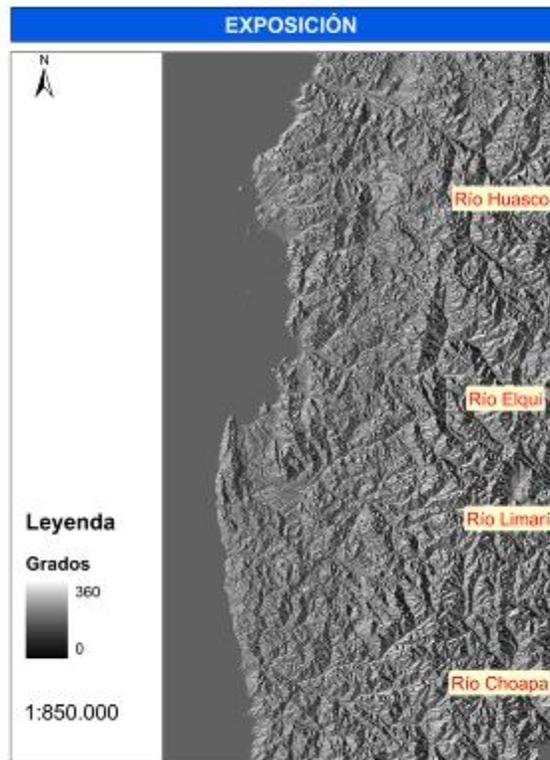


Figura 3. Mapa de exposición de la zona en estudio

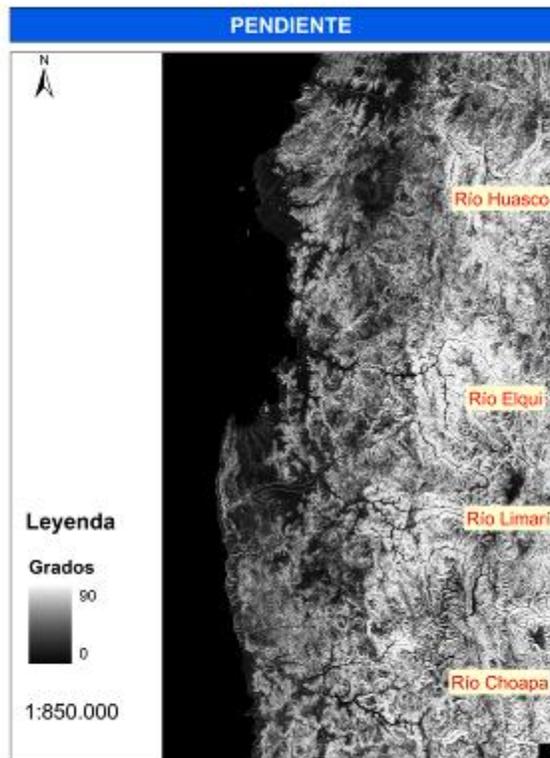


Figura 4. Mapa de pendiente de la zona en estudio

Para calcular la distancia a la costa, se descargó la base de datos “distancia a la costa” de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)⁴. Luego, se comparó con los límites de costa de la Comisión Nacional de Riego. Como fueron coincidentes, se creó una imagen raster con la información de distancia a la costa (figura 5).

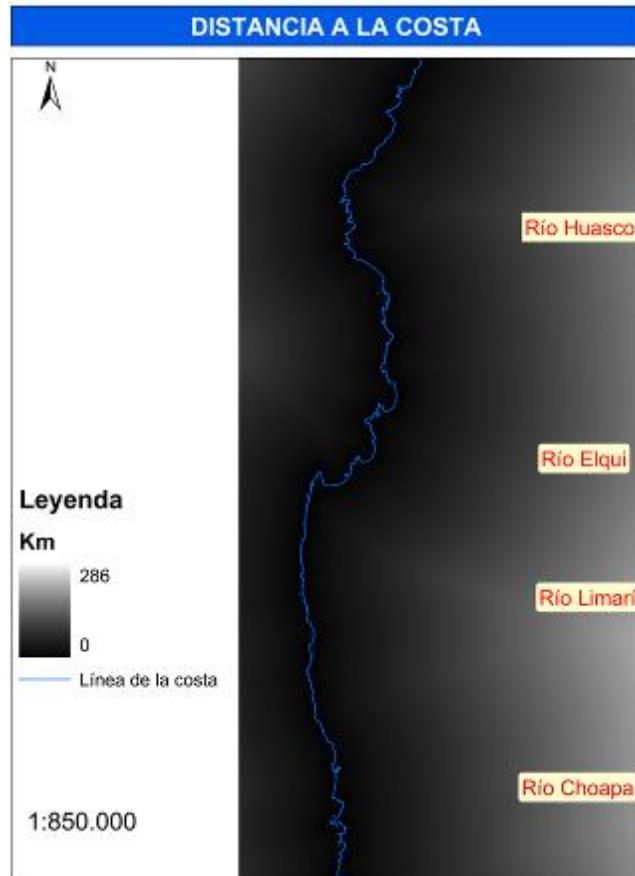


Figura 5. Mapa de distancia a la costa de la zona en estudio

Luego, se extrajeron las características de pendiente, exposición y distancia al mar de cada estación, para ser usados en el análisis estadístico.

Las regresiones lineales múltiples utilizadas fueron:

$$IH = 1632,656 + 0,0128 * \text{distancia a la costa} - 0,32349 * \text{altitud}$$

$$IS = -73,3635 - 0,0025 * \text{distancia a la costa} + 0,1176 * \text{altitud}$$

Con el mismo programa se clasificaron las imágenes. Primero, utilizando el sistema CCM ya descrito. Segundo, se buscaron valores medios para observar con mayor gradualidad el cambio espacial de cada índice; para IH se definió cada 100 y para IS cada 25.

⁴ <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/noamrdvs.html>

Dado que el objetivo fue observar los patrones de los índices climáticos en el área agrícola, se acotó el área de cada índice para los valles de Huasco, Elqui, Limarí y Choapa, y se superpuso el DEM para visualizar el relieve. Además, para apoyar la orientación espacial se superpuso la información de los mapas con los pueblos y ciudades de la Dirección General de Aguas (DGA).

Tratamiento de información de suelos

Para el trabajo cartográfico se utilizó información digital formato “shape” provista por el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) y de la DGA. La cual corresponde a las series de suelo y las cuencas, respectivamente.

Las variables seleccionadas para cartografiar fueron textura, profundidad y humedad aprovechable. Para obtener dichas variables, primero se asignó información de los Estudios Agrológicos de la Región de Atacama y de Coquimbo realizados por CIREN a las coberturas digitales de CIREN. Luego, se trabajó cada una por separado.

Textura: se determinó con el programa del United States Department of Agriculture (USDA)⁵, y cuando la información presentó errores se utilizó criterio experto.

Profundidad: la profundidad total de las series de suelo se clasificó en menor a 60 cm, entre 60 y 100 cm y mayor a 100 cm., en base a la relación vid-profundidad expuesta en los antecedentes generales.

Humedad aprovechable: se estimó mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$HA = \frac{(CC - PMP)}{100} * D_{apa} * Hi * \frac{(100 - P)}{100}$$

Donde:

HA = Humedad aprovechable (cm).

CC = Humedad a capacidad de campo (%).

PMP = Humedad a punto de marchitez permanente (%).

D_{apa} = Densidad aparente (g/cm³).⁶

Hi = Profundidad del suelo (cm).

P = Pedregosidad (%).

En base a análisis estadístico, se clasificó en: 0-4, 4-6, 6-11 y >11.

Dado que el objetivo fue representar la distribución de las clasificaciones de suelo en la zona agrícola, se dividió en dos los valles de Huasco y Elqui, y en tres el valle del Limarí, y se superpuso con el IH clasificado basado en Sistema CCM. También se generaron dichos mapas, sin divisiones, para la cuenca del río Choapa.

Para apoyar la orientación espacial se superpuso la información de los mapas con los pueblos y ciudades de la DGA.

⁵ http://soils.usda.gov/technical/aids/investigations/USDA_Soil_Texture_Calculator.xls

⁶ Cuando la información no estaba disponible en el estudio de CIREN, se calculó con SPAW.

Además, mediante un programa de SIG se calcularon las áreas de cada clase por variable de suelo para cada valle. En paralelo se calculó la superficie de cada tipo de textura para cada valor de IH en cada uno de los valles. Para ello, se generó una cobertura para cada valor de IH, luego se acotó el área de IH para cada valle y se delimitó la textura para cada valor de IH. Finalmente se calculó la superficie de cada tipo de textura de suelo por valle y por cada clase de IH.

Software utilizado

- a) **Arcview:** corresponde a una herramienta de SIG con la que se puede visualizar, analizar, crear y gestionar información geográfica. La mayoría de la información posee una componente que puede relacionarse con un lugar geográfico: direcciones, códigos postales, posiciones de GPS, secciones censales, ciudades, regiones, países u otro tipo de localizaciones. ArcView permite visualizar, explorar y analizar estos datos, revelando patrones, relaciones y tendencias que no se aprecian bien en bases de datos, hojas de cálculo o conjuntos estadísticos (ESRI, 2009).
- b) **Idrisi:** corresponde a un software con SIG integrado y procesamiento de imágenes que ofrece más de 300 módulos para el análisis y presentación de información espacial digital. Entre éstos, incluye herramientas para planificación de territorios, soporte para toma de decisiones y análisis de riesgo con aplicaciones de estadística espacial, análisis de superficies y modelaje espacial.

3.3. Información fenológica de campo

Con el propósito de determinar la relación entre la fenología de las principales variedades pisqueras (Moscatel de Alejandría, Moscatel Rosada, Pedro Jiménez y Moscatel de Austria) y las variables climáticas de las diferentes zonas de producción, se establecieron parcelas de validación en parrones ubicados en distintas localidades de los valles de la Región de Coquimbo. La metodología contempló la selección de los predios en conjunto con los profesionales y técnicos de los Departamentos Técnicos de las cooperativas pisqueras Capel y Control. Las localidades seleccionadas se señalan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Ubicación de localidades para el estudio de fenología en la Región de Coquimbo

Valle	Localidad	Latitud	Longitud	Altura (m.s.n.m.)
Elqui	Pisco Elqui	30°08'07,1"	70°29'50,1"	1252
	Vicuña	30°02'15,2"	70°41'31,6"	650
	El Arrayán	30°01'08,2"	70°58'58,2"	303
Limarí	Mialqui	30°45'28,9"	70°51'08,3"	573
	Villaseca	30°33'36,4"	71°08'56,2"	283
	Sotaquí	30°35'56,7"	71°08'28,3"	234
	Punitaqui	30°46'29,1"	71°16'43,3"	192
Choapa	Salamanca	31°47'27,1"	70°57'13,1"	532

En cada predio seleccionado, se marcaron 10 plantas por variedad para realizar las evaluaciones contempladas en el estudio. Las evaluaciones fueron las siguientes:

- Inicio de brotación,
- Inicio y término de cosecha,
- Inicio de pinta e inicio de cosecha.

Las evaluaciones se efectuaron por observación visual de las plantas marcadas en cada predio. La fecha de inicio de cosecha fue determinada por el índice de cosecha comercial que utiliza la industria pisquera y que corresponde a 12 grados de alcohol probable (GAP) (contenido de azúcar de alrededor de 21,5° Brix.).

Luego de iniciado el estudio fenológico de pinta (cambio de color o ablandamiento de bayas), se colectaron 100 bayas por variedad y localidad, las que fueron llevadas al Laboratorio de Fruticultura del Centro Experimental Vicuña del INIA para las determinaciones de contenido de sólidos solubles (con refractómetro manual), porcentaje de acidez (con bureta digital marca Brand modelo Titrette) y pH (con pHímetro marca Jenway).

4. Resultados

4.1. Clasificación climática según índices del sistema CCM

Los resultados de los tres índices climáticos, calculados a partir de la información de 60 estaciones meteorológicas (anexo 1) localizadas en los valles de Huasco, Elqui, Limarí y Choapa, mostraron una alta variabilidad climática en el territorio de denominación de origen pisco para el índice heliotérmico (5 clases IH) y una baja variabilidad para los índices de sequía (2 clases IS) y de frío nocturno (2 clases IF).

4.1.1. Índice Heliotérmico (IH)

Este índice presentó una muy alta variabilidad, con valores comprendidos entre 1208 y 2753. Estos valores, según la clasificación propuesta por Tonietto y Carbonneau (2004), indican la presencia de climas vitícolas que clasifican desde Muy Frío (IH-3) a Cálido (IH+2) (figura 6). La distribución espacial de los valores de este índice en cada estación meteorológica muestra una clara discriminación en sentido oeste-este, característica descrita también para las zonas productoras de uvas de Chile central. Tanto los valores como las clases de clima vitícola mostraron una amplia variabilidad, siendo el clima de tipo Muy Cálido el único no descrito, lo que da cuenta a su vez de la existencia de condiciones climáticas que posibilitan la maduración de las distintas variedades de uva. La variabilidad espacial en las condiciones heliotérmicas responde de forma marcada al gradiente oeste-este, y no se observó una tendencia en sentido norte-sur, lo que muestra a su vez una diferenciación importante según el grado de continentalidad de la zona, y no así entre los diferentes valles de la región.

Las zonas costeras, que reciben la influencia oceánica de manera directa mostraron los menores valores de IH, con climas de tipo Muy Frío y Frío. La clase de clima Muy Frío limita la producción de vides, pues las bajas temperaturas presentes durante el ciclo de crecimiento impiden una maduración adecuada de los racimos. Se observa claramente el aumento gradual en la clase de clima, desde fríos a más cálidos, siguiendo el gradiente longitudinal característica de los valles transversales de Chile. Cabe señalar que las estaciones meteorológicas se encuentran ubicadas tanto en zonas donde existe actividad vitícola como en otras en las que ésta no existe, siendo las últimas igualmente importantes en un estudio de zonificación, ya que entregan información relevante relacionada con la variabilidad espacial en el clima del área en estudio.

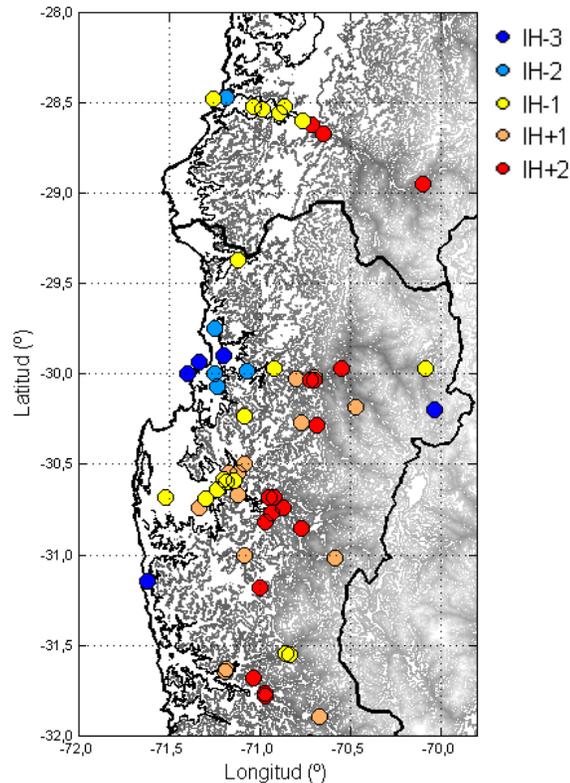


Figura 6. Clases de clima vitícola para el Índice Heliotérmico (IH)

Las zonas de clima Cálido (IH+2), que corresponden a la clasificación de mayor potencial heliotérmico, se encuentran en el interior de los valles, en zonas precordilleranas como Vicuña y Rivadavia en Elqui, Imperial en Huasco o Puntilla en Limarí, zonas que poseen un alto potencial de cultivo para variedades de maduración temprana. En general, las regiones con clima vitícola IH-1 (Temperado), IH+1 (Temperado Cálido) e IH+2 (Cálido) se caracterizan por cumplir con las necesidades heliotérmicas para la maduración de las bayas, incluso en las variedades tardías que pueden sufrir estrés por altas temperaturas.

Los valores encontrados para IH permiten identificar un patrón espacial que muestra, de manera general, zonas costeras que poseen un menor potencial para el cultivo de la vid, producto de bajas temperaturas que no permiten una adecuada maduración de las uvas, para luego incrementar el potencial heliotérmico a medida que aumenta la distancia desde la costa. En el valle de Huasco se observa un dominio de las clases de clima vitícola Temperado (IH-1) y Cálido (IH+2), con una baja ocurrencia de clases de clima más fríos. A diferencia de Huasco, en el valle de Elqui es posible describir una amplia variabilidad para el índice heliotérmico, el cual posee valores que clasifican como de clima Muy Frío (IH-3) en zonas muy cercanas a la costa, para aumentar su valor hasta climas Cálidos (IH+2) en zonas interiores como Vicuña y Pisco Elqui, y posteriormente disminuir su valor como resultado del incremento en la altitud. También es posible observar que tanto el valle de Limarí como el de Choapa presentan el mismo patrón de aumento del potencial heliotérmico desde la costa a la precordillera.

El índice heliotérmico (IH), el cual considera las temperaturas registradas durante el ciclo de crecimiento de la vid, es el principal índice vitícola para caracterizar climáticamente un área determinada. Ello porque está fuertemente ligado al comportamiento fenológico de las variedades y a las características de

calidad de los racimos (color, aroma, azúcar, acidez). Como se verá más adelante, este índice se complementa con la información de los índices de frío nocturno (IF) y de sequía (IS).

La temperatura es el parámetro climático que mayor incidencia tiene sobre el crecimiento de brotes y la maduración de la fruta, de allí que en zonas calurosas el ciclo anual de la vid se cumple en un período más corto que en zonas frías. De acuerdo con los resultados del presente estudio, en los valles del norte chico se distinguen cinco clases de clima vitícola según el índice heliotérmico. Las clases de clima van desde la Muy Fría (IH-3) hasta la Cálida (IH+2). En la clase Muy Fría, que se ubica en zonas cercanas a la costa, no existe viticultura. Por lo tanto, el cultivo de las variedades de uva destinadas a la elaboración de pisco se concentra en el resto de las clases.

Las principales variedades pisqueras: Moscatel de Alejandría, Moscatel Rosada, Moscatel de Austria y Pedro Jiménez, tienen distintos requerimientos de acumulación de temperatura para alcanzar la maduración de los racimos. Así, para una misma condición climática la maduración de ellas ocurre diferencialmente.

En el estudio de fenología y evolución de sólidos solubles, acidez y pH que se realizó en diferentes localidades de la Región de Coquimbo durante la temporada 2009-2010, fue posible observar una distinta respuesta varietal a las condiciones climáticas, específicamente al índice heliotérmico. En el cuadro 5 se indican las localidades en las que se realizó el estudio, la ubicación geográfica y la Clase a la que pertenecen según el índice heliotérmico. De las ocho localidades seis se ubican en la Clase IH+1 (Temperado Cálido), otra corresponde a la Clase IH-1 (Temperado) y la última se ubica en la Clase IH+2 (Cálido).

Los resultados de fechas de ocurrencia de los estados fenológicos para las cuatro variedades en las diferentes localidades, se presentan en los cuadros 6, 7, 8 y 9.

Cuadro 5. Índice heliotérmico (clase IH) de localidades de estudio en la Región de Coquimbo

Valle	Localidad	Clase (IH)
Elqui	Pisco Elqui	+1 Temperado Cálido
	Vicuña	+1 Temperado Cálido
	El Arrayán	-1 Temperado
Limarí	Mialqui	+2 Cálido
	Villaseca	+1 Temperado Cálido
	Sotaquí	+1 Temperado Cálido
	Punitaqui	+1 Temperado Cálido
Choapa	Salamanca	+1 Temperado Cálido

Cuadro 6. Ocurrencia de estados fenológicos en variedad Moscatel de Alejandría

Localidad	Brotación			Floración	Pinta		Cosecha	
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	
Elqui								
Pisco Elqui		x		x		x		
Vicuña		x		x		x		
Limari								
Mialqui		x		x		x		
Sotaquí			x	x		x		
Punitaqui			x	x		x		
Choapa								
Salamanca			x	x		x		

Cuadro 7. Ocurrencia de estados fenológicos en variedad Moscatel Rosada

Localidad	Brotación			Floración	Pinta		Cosecha	
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	
Elqui								
Pisco Elqui		x		x		x		
Vicuña		x		x	x	x		
El Arrayán	x			x		x		
Limari								
Mialqui	x			x		x		
Villaseca			x	x		x		
Punitaqui			x	x		x		
Choapa								
Salamanca			x	x		x		

Cuadro 8. Ocurrencia de estados fenológicos en variedad Moscatel de Austria

Localidad	Brotación			Floración	Pinta		Cosecha	
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Enero	Febrero	Febrero	Marzo	
Elqui								
Pisco Elqui	x			x		x		
Vicuña	x			x		x		
Limari								
Mialqui			x	x	x		x	
Villaseca			x	x	x		x	
Punitaqui			x	x		x		
Choapa								
Salamanca			x	x	x		x	

Localidad	Brotación			Floración	Pinta		Cosecha	
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	
Elqui								
Pisco Elqui		x		x		x		
Vicuña		x		x	x		x	
El Arrayán	x			x		x		
Limarí								
Mialqui		x		x	x		x	
Villaseca			x	x		x		
Punitaqui			x	x		x		
Choapa								
Salamanca			x	x		x		

El análisis de la información concluye que la maduración más temprana de los racimos ocurrió, para las cuatro variedades, en la localidad más cálida (Mialqui, IH+2). Contrariamente, la maduración más tardía se registró en la localidad más fría (El Arrayán, IH-1).

El cultivo de variedades pisqueras en zonas frías debe considerar un manejo agronómico apropiado, ya que la menor acumulación de calor incrementa el largo del ciclo anual y disminuye el potencial de acumulación de azúcares en las bayas. Esta situación podría acentuarse con altas producciones de fruta, aplicaciones excesivas de fertilizantes nitrogenados y el uso de altas tasas de riego hasta tarde en la temporada.

El estudio de fenología incluyó también el registro de la evolución de sólidos solubles, acidez y pH en muestras de bayas de las cuatro variedades en las diferentes localidades. Los resultados se muestran en el anexo 2. Teóricamente la evolución de sólidos solubles (azúcares) sigue una tendencia inversa a la de acidez, resultado que se observó en el presente estudio. No se registró una tendencia clara en el caso del pH. El grado de acumulación de sólidos solubles en las bayas es dependiente de la variedad y de la condición climática. En la localidad de Mialqui (IH+2) la variedad Moscatel de Austria fue cosechada más temprano que el resto de las variedades. Así, esta variedad estaría en una mejor condición para alcanzar el índice de madurez en una situación de clima más frío. Aunque los parámetros acidez y pH en el jugo de las bayas no son utilizados como índices de madurez en las variedades pisqueras, fueron determinados para observar su relación con el contenido de sólidos solubles en cada sitio de evaluación.

4.1.2. Índice de Frío Nocturno (IF)

Los valores resultantes para este índice, calculado como la temperatura media mínima del mes de marzo, estuvieron entre 8,1 y 13,6°C, con una diferencia de 5,5°C entre los valores extremos. Estas temperaturas clasifican al área de estudio dentro de la clase de clima de noches Muy Frías (IF+2) y Frías (IF+1) (figura 7). Estas clases difieren de las descritas para la zona central de Chile (Regiones V, VI, VII y Metropolitana), donde no se reconocieron clases distintas a IF+2. Bajo estas condiciones nictotérmicas, las variedades tardías pueden madurar bajo favorables condiciones de temperatura nocturna para producir fruta de alta calidad.

Considerando el alto número de estaciones clasificadas como IF+2, se separó esta clase en dos subclases, IF+2a e IF+2b, considerando a la mediana (IF+2 = 11,8°C) como valor límite, siendo IF+2a inferior e IF+2b superior a tal valor.

Como se observa en la figura 7, las clases de índice de frío nocturno no siguieron un patrón espacial definido, como sí ocurrió con el índice heliotérmico. La clase Fría (IF+1) puede encontrarse tanto en la costa como en el interior de los valles. En el valle de Elqui fue posible observar un patrón espacial con zonas costeras que presentan temperaturas nocturnas más altas. La no identificación de un patrón espacial claro puede responder probablemente a que el régimen de temperaturas mínimas nocturnas de una zona, responde a las diferencias existentes entre los procesos atmosféricos diurnos y nocturnos. Así, mientras en el día el contraste térmico océano-continente se maximiza (temperaturas altas en la zona interior y bajas en la zona costera), durante la noche el contraste es bajo y de signo contrario.

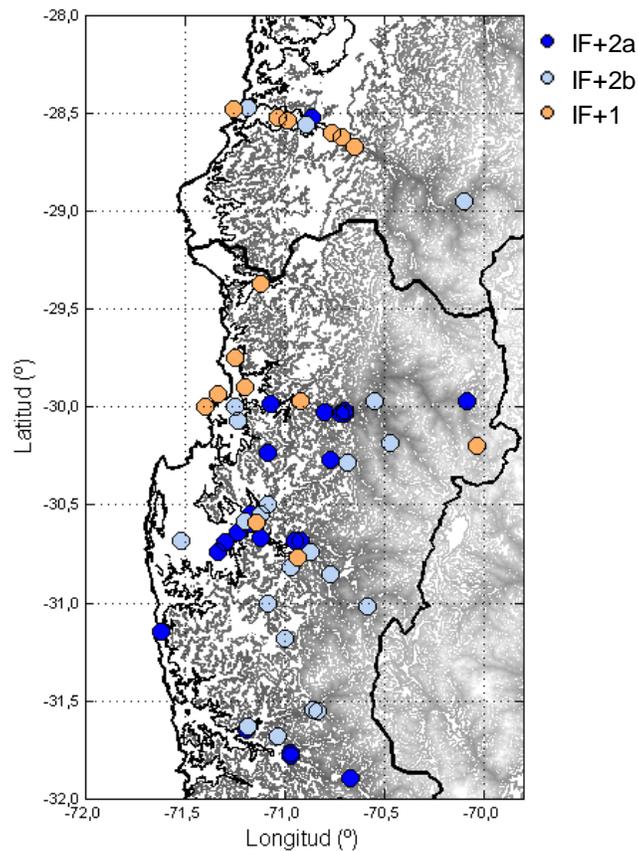


Figura 7. Clases de clima vitícola para el Índice de Frío Nocturno (IF)

En general, las condiciones de temperaturas nocturnas frías durante el período de maduración son esencialmente favorables para la obtención de color en las bayas y para la acumulación de compuestos aromáticos. En el caso de las vides pisqueras el color no es un factor relevante.

En las variedades de uva para pisco el contenido de aromas es una característica importante, pues por definición el pisco es un aguardiente que proviene de la destilación del vino generado a partir de variedades aromáticas. Considerando que la viticultura para pisco se realiza en áreas clasificadas como de noches Muy Frías (IF+2) y Frías (IF+1), la acumulación de compuestos aromáticos estaría favorecida, especialmente en el área interior de los valles que registra noches más frías y no tiene restricciones

heliotérmicas para la maduración de las bayas. Las variedades Moscatel de Alejandría y Moscatel Rosada, las cuales poseen altos contenidos de aromas, podrían registrar menores contenidos en las áreas frías (IH-2) debido a una maduración incompleta de la fruta.

4.1.3. Índice de Sequía (IS)

Dado que el cálculo de este índice requiere información de evapotranspiración potencial, fue calculado para un número menor de estaciones meteorológicas, ya que no todas registran dicha variable. El índice de sequía, calculado a partir de un valor de reserva hídrica inicial de 200 mm, desde el 1 de octubre al 31 de marzo, mostró valores negativos descritos ampliamente para la región de clima mediterráneo de Chile. Se determinó un valor mínimo de -234 mm y un máximo de -46 mm. Según la clasificación climática multicriterio (CCM), los valores encontrados clasifican a la región en las clases de Sequía Fuerte (IS+2) y de Sequía Moderada (IS+1) (figura 8). La mayor parte de las estaciones meteorológicas clasifican como IS+2, siendo las estaciones costeras del valle de Elqui las que muestran valores IS+1. Puesto que este índice climático considera el balance hídrico estival, época en la que prácticamente no ocurren precipitaciones en el territorio pisquero, es la demanda hídrica atmosférica la que domina la variabilidad, siendo esta última inferior en aquellas zonas donde la alta humedad del aire impide una mayor demanda hídrica, o la menor radiación solar genera una menor disponibilidad de energía en superficie para evaporar agua. Esta situación se presenta en las zonas costeras de los valles.

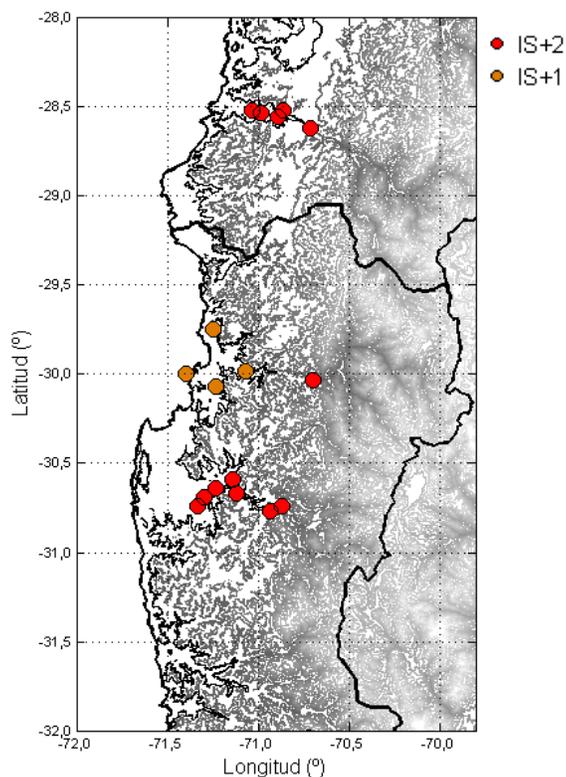


Figura 8. Clases de clima vitícola para el Índice de Sequía (IS)

El territorio de producción de pisco, localizado en el denominado norte chico, es un área caracterizada como semiárida, debido a la baja pluviometría anual (normalmente inferior a 100 mm). Además, las

precipitaciones se concentran en los meses de invierno. Así, durante el periodo de crecimiento de las vides lo normal es que exista ausencia de lluvias.

Los valores de índice de sequía clasifican al territorio pisquero como de clima seco, con predominancia de la clase IS+2 (Sequía Fuerte) en los sectores medios e interiores de los valles, y de Sequía Moderada (IS+1) en sectores cercanos a la costa. Bajo estas condiciones el riego es obligatorio y existe el riesgo frecuente de que las plantas sufran un severo estrés si la labor de riego no se realiza apropiadamente. En el área interior de los valles es común observar pérdidas de fruta por deshidratación severa previo a la cosecha, debido a un alto déficit de agua en el suelo provocado por altas temperaturas y baja humedad relativa.

4.1.4. Relación entre índices climáticos

Para analizar la relación existente entre cada índice (IH, IF e IS), se calculó la matriz de correlaciones. La información se obtuvo de 17 estaciones meteorológicas ubicadas en diversas localidades de los valles de Huasco (5), Elqui (5) y Limarí (7). Los índices climáticos del sistema CCM y la ubicación de las 17 estaciones se indican en el cuadro 10. Como se observa en el cuadro 11, existe una alta correlación negativa entre IH e IS, indicando una condición de sequía potencial más pronunciada para aquellas zonas que poseen mayores temperaturas diurnas. Existe a su vez una correlación estadísticamente significativa entre IH y la longitud geográfica, indicando una reducción de IH con la cercanía al mar, al igual que entre IH y la altitud. Esto último responde igualmente a que las estaciones de menor altitud son aquellas más cercanas a la costa.

Cuadro 10. Valores de IH, IS e IF y su respectiva clase de clima

Estación	Nombre	IH	Clase IH	IS (mm)	Clase IS	IF (°C)	Clase IF
H-Bo ⁽¹⁾	Bodeguilla	1949	IH-1	-168	IS+2	12,8	IF+1
H-Im	Imperial	2436	IH+2	-116	IS+2	12,0	IF+2
H-Lo	Longomilla	1975	IH-1	-175	IS+2	11,9	IF+2
H-Ni	Nicolasa	1857	IH-1	-121	IS+2	12,3	IF+1
H-Ve	Ventanas	1859	IH-1	-134	IS+2	10,3	IF+2
E-Do	Coquimbo	1460	IH-3	-46	IS+1	13,6	IF+1
E-Pa	Pan de Azúcar	1741	IH-2	-67	IS+1	11,3	IF+2
E-Ro	Romeral	1670	IH-2	-63	IS+1	12,5	IF+1
E-Ru	Gabriela Mistral	1634	IH-2	-59	IS+1	10,5	IF+2
E-Vi	Vicuña	2415	IH+2	-171	IS+2	9,2	IF+2
L-Ca	Carretones	2609	IH+2	-204	IS+2	11,5	IF+2
L-Ch	La Chumbera	2045	IH-1	-151	IS+2	12,1	IF+1
L-Cm	Camarico	2031	IH-1	-171	IS+2	9,1	IF+2
L-Lc	La Chimba	2027	IH-1	-174	IS+2	10,0	IF+2
L-Lg	La Granja	2130	IH+1	-185	IS+2	10,6	IF+2
L-Ma	Matilde II	2237	IH+1	-186	IS+2	10,1	IF+2
L-Sr	Santa Rosa	2510	IH+2	-234	IS+2	12,7	IF+1

⁽¹⁾ H= Huasco, E= Elqui, L=Limarí

La correlación entre el índice de sequía y las otras variables muestra el aumento de la sequía potencial para aquellas zonas interiores de los valles en estudio, asociado principalmente a la mayor demanda hídrica atmosférica de dichas localidades, en contraposición a aquellas más cercanas al mar que poseen

una menor demanda hídrica, dada la mayor humedad atmosférica. El índice de frío nocturno no presenta una relación con los otros índices o la posición geográfica.

Cuadro 11. Matriz de correlaciones entre los índices climáticos y la posición de cada estación

	IH	IS	IF
IH	1,00		
IS	-0,80*	1,00	
IF	-0,09	0,27	1,00
Latitud	-0,37	0,29	0,22
Longitud	0,61*	-0,34	-0,03
Altitud	0,61*	-0,61*	-0,04

* Indica significancia estadística, $p < 0,05$

También se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP), con el cual es posible apreciar la relación entre los índices climáticos de manera conjunta. Para el análisis, la primera componente principal explica un 64,7% de la varianza total, la segunda un 28,8% y la tercera un 6,5%. A partir de la matriz de saturación es posible observar cuáles componentes representan una mayor importancia relativa, la cual se muestra en el cuadro 12.

Cuadro 12. Matriz de saturación (correlación entre variables y ejes).

Componente	IH	IS	IF
CP1	-0,91	0,92	0,50
CP2	0,26	-0,21	0,87
CP3	0,31	0,32	-0,02

La componente 1 se encuentra altamente correlacionada con los índices IH e IS, pero con signo contrario, por lo que ese factor representa a la componente hídrica y al potencial heliotérmico, los cuales se relacionan de manera inversa. La componente 2 se encuentra correlacionada altamente con IF, mientras la componente 3 posee una baja relación con los índices. En el círculo de correlaciones de la figura 9 se observa la oposición de signos entre IH e IS, además de la escasa relación entre éstos e IF.

En la figura 9 se presenta el Análisis de Componentes Principales (ACP) del clima vitícola de las 17 estaciones meteorológicas ubicadas en localidades de los valles de Huasco, Elqui y Limarí. No se incluyó el valle del Choapa por no contar con suficientes datos meteorológicos. En la figura se observa que el territorio de denominación de origen pisco posee una gran variabilidad climática, con 8 grupos climáticos que van desde cálidos a muy fríos, presentando noches frías a muy frías durante el período de maduración, y caracterizados como de sequía fuerte a moderada.

Tres estaciones meteorológicas provenientes de los valles de Huasco (Imperial, H-Im), Elqui (Vicuña, E-Vi) y Limarí (Carretones, L-Ca) se ubican dentro del mismo grupo climático: cálido, de sequía fuerte y noches muy frías. La localidad de Santa Rosa en Limarí (L-Sr) tiene una condición climática similar a las anteriores, excepto que las noches son menos frías. Las cuatro localidades se ubican en el área interior de los valles. Nótese que en el ACP las localidades se encuentran algo distantes, debido principalmente a

las diferencias de valores en el índice de sequía y en menor medida en el índice de frío nocturno (cuadro 10).

Dos estaciones del valle de Limarí (Matilde II, L-Ma y La Granja, L-Lg) aparecen dentro del mismo grupo con un clima temperado cálido, de sequía fuerte y noches muy frías. Las estaciones de Ventanas y Longomilla en Huasco (H-Ve y H-Lo) y las de Camarico y La Chimba en Limarí (L-Cm y L-Lc) se agrupan como clima temperado, de sequía fuerte y noches muy frías. Mientras que Bodeguilla y Nicolasa en Huasco (H-Bo y H-Ni) y La Chumbera en Limarí (L-Ch) se presentan también como un grupo de clima temperado y de sequía fuerte pero se separa de los anteriores por disponer de noches frías.

Las estaciones meteorológicas ubicadas en localidades cercanas a la costa en el valle de Elqui, se agrupan como climas fríos, de sequía moderada y noches frías (Romeral, E-Ro) a noches muy frías (Gabriela Mistral, E-Ru y Pan de Azúcar, E-Pa). La zona de Coquimbo (E-Do) se diferencia de las anteriores por presentar un clima muy frío, de sequía moderada y noches frías.

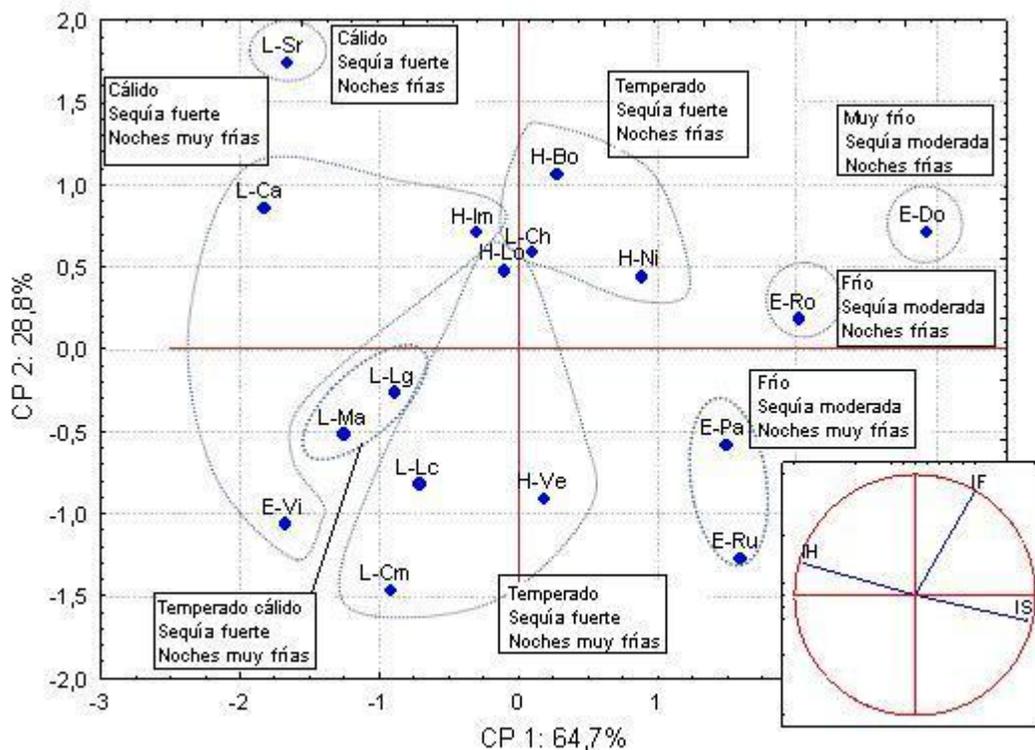


Figura 9. Posición de los índices pertenecientes al Sistema CCM en relación a las dos primeras componentes principales y círculo de correlación de las variables. Los grupos representan estaciones con igual clasificación de cada índice climático. (H= Huasco, E= Elqui, L= Limarí)

En el Análisis de Componentes Principales de la figura 9 se aprecia que en el territorio pisquero se pueden encontrar diversos climas vitícolas, lo que confiere diferentes potencialidades para la producción de destilados. En general, se observa que la mayor parte del territorio posee excelentes condiciones climáticas para una adecuada maduración de la fruta (climas Cálido y Temperado Cálido) y acumulación de compuestos aromáticos en los racimos (noches Frías y Muy Frías durante el período de maduración).

Sólo en localidades cercanas a la costa la condición de clima frío puede limitar la maduración de las vides, especialmente de aquellas variedades de maduración tardía como Pedro Jiménez.

De los ocho grupos climáticos definidos por el sistema CCM, cinco son los más importantes desde el punto de vista de desarrollo de la industria pisquera, pues en ellos se encuentra la mayor superficie plantada con vides. Los cinco corresponden a los grupos de clima temperado a cálido con noches frías a muy frías y sequía fuerte. En general, las localidades ubicadas dentro de estos grupos climáticos se caracterizan por presentar veranos largos que permiten un apropiado crecimiento de las vides, con bajo o nulo riesgo de heladas tardías y baja presencia de enfermedades y plagas. Todas las variedades suelen alcanzar el grado de madurez sin mayor inconveniente. Por otra parte, en los tres grupos de clima frío la superficie plantada es muy baja y probablemente no aumente en el futuro. En estos grupos las menores temperaturas del verano dificultan la maduración de los racimos y para reducir este problema se deberían establecer variedades de maduración temprana (p. ej. Moscatel Blanca Temprana).

A pesar de que cada grupo climático posee condiciones climáticas parecidas (se ubican dentro de un mismo intervalo en cada índice vitícola), las localidades en cada grupo presentan diferencias que pueden afectar el comportamiento productivo y la calidad de los racimos. Si se considera el grupo climático Cálido-Sequía fuerte-Noches muy frías (figura 9) se verá que existen diferencias entre los sitios que conforman el grupo. Los valores de los índices heliotérmico, de sequía y de frío nocturno no son similares para las localidades de Vicuña (E-Vi), Carretones (L-Ca) e Imperial (H-Im) (cuadro 10). Destaca el bajo valor de frío nocturno en Vicuña (9,2°C), el que podría resultar en una mayor acumulación de compuestos aromáticos respecto de las otras dos localidades. Asimismo, el mayor índice heliotérmico (IH) en Carretones favorece la acumulación de azúcares. También diferencias en el tipo de suelo (franco-arenoso en Vicuña y franco-arcilloso en Carretones e Imperial) pueden influenciar el vigor de las plantas y la fecha de cosecha. De allí que en un futuro estudio se deben considerar trabajos de evaluación (vigor de plantas, producción, calidad de racimos, fenología) para las diversas variedades en sitios específicos que presenten similares condiciones edafoclimáticas.

Lamentablemente, los estudios de zonificación climática, que ayudan a los productores a decidir qué variedad establecer y qué tipo de vino o destilado producir en una determinada zona, se ven limitados por la ausencia de estaciones meteorológicas en algunos sitios o porque los datos son incompletos. Es lo que sucedió en este estudio para elaborar el Análisis de Componentes Principales del valle de Choapa, de localidades costeras de los valles de Huasco y Limarí, y zonas interiores de Huasco, Elqui y Limarí. En este último caso es relevante disponer de mayor cantidad de información meteorológica, pues son las zonas en que la uva madura más temprano.

4.2. Representación espacial de los índices climáticos

Para la elaboración de las cartografías de los índices climáticos se procedió a interpolar cada índice utilizando variables geográficas obtenidas de un modelo digital de elevación, tales como la exposición o la pendiente, con lo cual fue posible realizar una estimación del campo espacial de cada índice. Se consideraron los índices Heliotérmico y de Sequía, dado que su cálculo y descripción de variabilidad espacial y sus posibles causas tuvieron una mayor confiabilidad estadística. En cuanto a los valles, se incluyó Huasco, Elqui y Limarí, debido a que éstos poseen una mayor cobertura de estaciones meteorológicas, con una distribución espacial que permite una interpolación más confiable, lo que no ocurre en el valle de Choapa. La cartografía obtenida para los dos índices climáticos en los tres valles considerados se presentan de en las figuras 10 a 21. Para cada índice climático y valle se muestran dos figuras (mapas), una con la clasificación basada en el sistema CCM y la otra con la clasificación detallada.

La primera permite comparar la información con otras zonas vitícolas del mundo (según la clasificación indicada en el cuadro 3). Por otra parte, la segunda figura separa el intervalo dentro de cada clase de clima para tener una mejor información local. Por ejemplo, la clase de índice heliotérmico Templado cálido (IH+1) tiene un intervalo entre 2100 y 2400 (cuadro 3); en las figuras de clasificación detallada este intervalo se separó en tres: 2100 a 2200, 2200 a 2300 y 2300 a 2400. Con esta separación es posible predecir que en el sector más cálido (2300 a 2400) una variedad de uva será cosechada más temprano.

Respecto del índice heliotérmico, los resultados muestran la presencia de cinco de las seis clases de clima vitícola definidos por el sistema CCM. Ellos son: Muy Frío (IH-3), Frío (IH-2), Templado (IH-1), Templado Cálido (IH+1) y Cálido (IH+2). Sólo está ausente la clase Muy Cálido (IH+3). Se observa en los tres valles una transición entre los climas de menor potencial heliotérmico y los de mayor potencial, con una orientación que muestra la significativa influencia de la cercanía al mar sobre el nivel de temperaturas. La clase de clima más frío cubre una superficie muy pequeña en los tres valles, la que corresponde a sectores costeros de altura o de alta nubosidad, indicando la existencia de áreas en las que las posibilidades de maduración son prácticamente nulas para todas las variedades de uva vinífera.

Las zonas de clima Frío (IH-2) cubren un área importante de los tres valles. Estas zonas permiten la maduración normal de las variedades con menor exigencia térmica. Es probable que en dichas áreas las variedades de cosecha tardía no logren una adecuada madurez en años excepcionalmente fríos. La superficie con clima Templado (IH-1) aparece como una zona de transición a aquellas zonas interiores donde las temperaturas son más elevadas y generan un potencial heliotérmico que posibilita la maduración de la mayoría de las variedades de uva. En las zonas interiores de los valles, caracterizadas por las clases de clima Templado Cálido (IH+1) y Cálido (IH+2), se encuentran localidades como Alto del Carmen en Huasco, Vicuña en Elqui y Monte Patria en Limarí.

Desde el punto de vista hídrico, caracterizado con el Índice de Sequía, es posible observar un dominio de la condición de sequía potencial, característica de las zonas de clima mediterráneo, como el que ha sido descrito en la zona central de Chile. Se aprecia que al igual que el Índice heliotérmico, la distribución espacial del Índice de Sequía sigue un patrón que aumenta la magnitud del balance hídrico negativo hacia las zonas interiores de los valles. Puesto que el período de cálculo del Índice de Sequía no considera los meses de invierno en los que se concentran las precipitaciones, es la mayor o menor demanda atmosférica de agua la que define la distribución espacial de IS. Así, las zonas más cercanas a la costa poseen un balance hídrico menos negativo que las zonas interiores, debido a que estas últimas presentan mayor radiación y temperatura y menor humedad atmosférica. Es importante señalar que en Chile la práctica del riego es obligatoria, por lo que los valores de IS deben ser considerados sólo como una referencia.

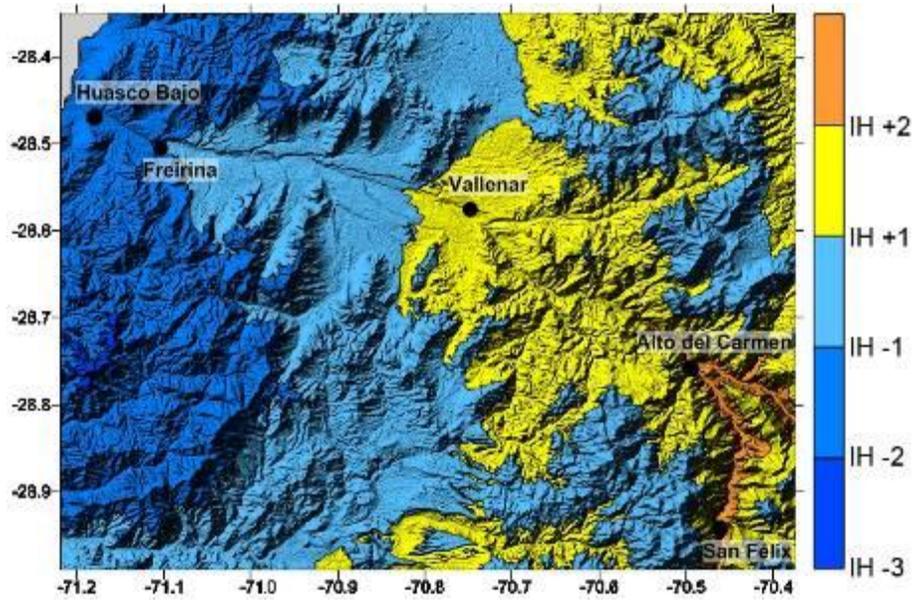


Figura 10. Índice Heliotérmico para el Valle de Huasco. Clasificación basada en Sistema CCM

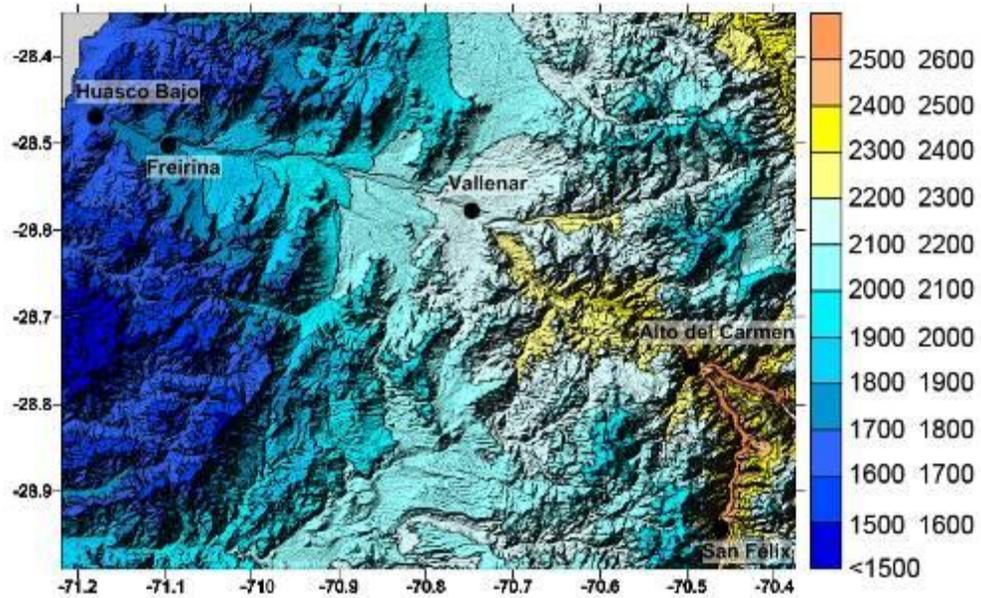


Figura 11. Índice Heliotérmico para el Valle de Huasco. Clasificación detallada

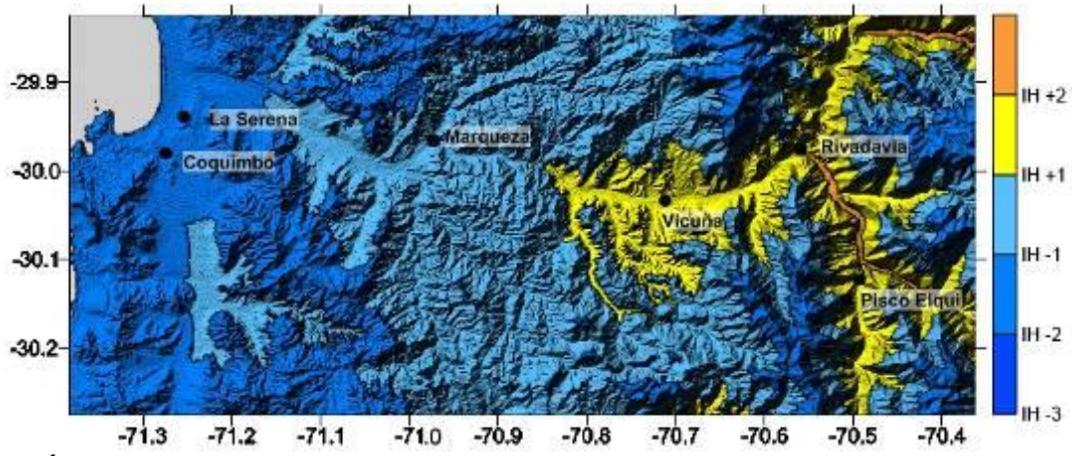


Figura 12. Índice Heliotérmico para el Valle de Elqui. Clasificación basada en Sistema CCM

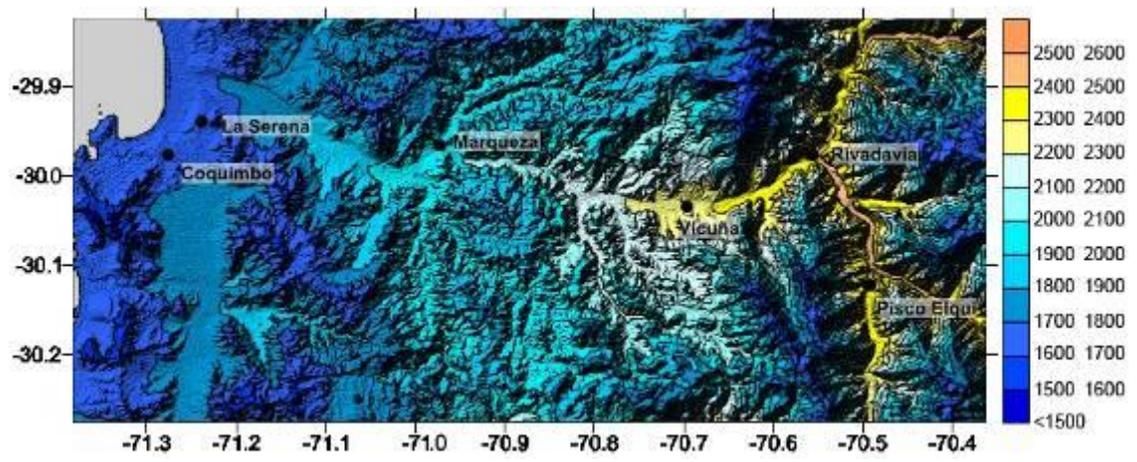


Figura 13. Índice Heliotérmico para el Valle de Elqui. Clasificación detallada

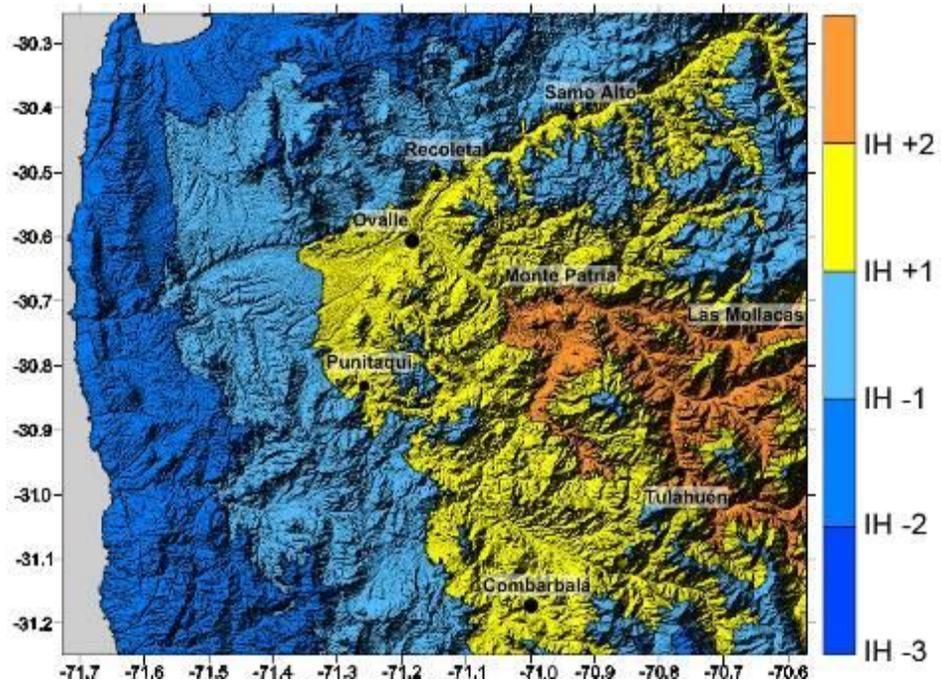


Figura 14. Índice Heliotérmico para el Valle de Limarí. Clasificación basada en Sistema CCM

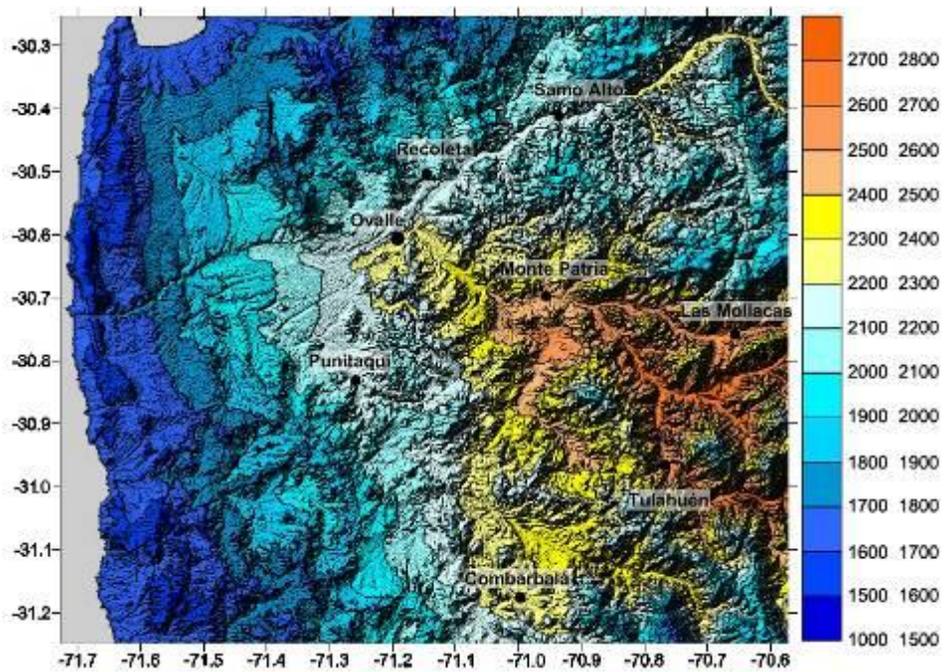


Figura 15. Índice Heliotérmico para el Valle de Limarí. Clasificación detallada

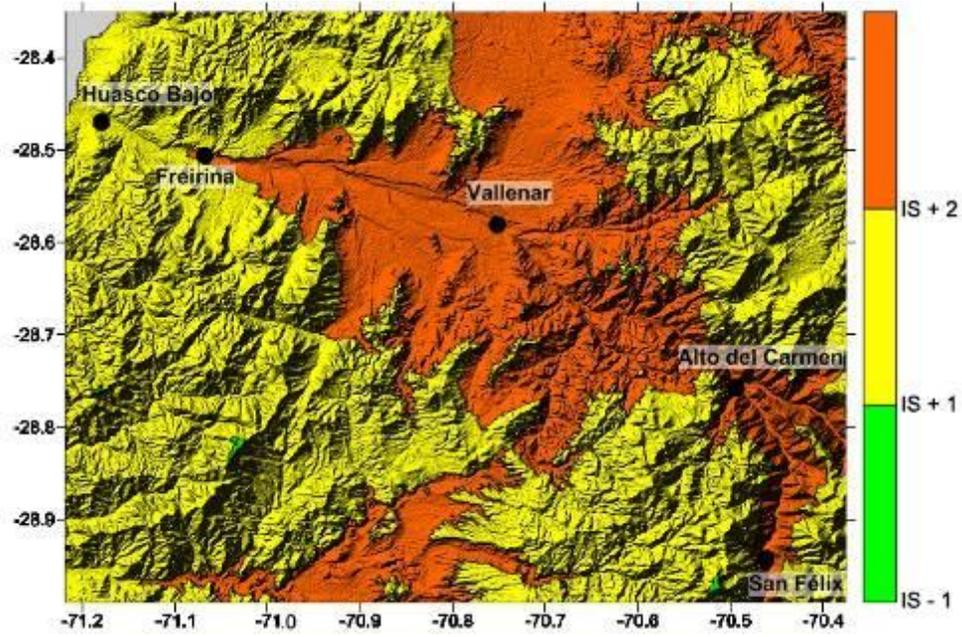


Figura 16. Índice de Sequía para el Valle de Huasco. Clasificación basada en Sistema CCM

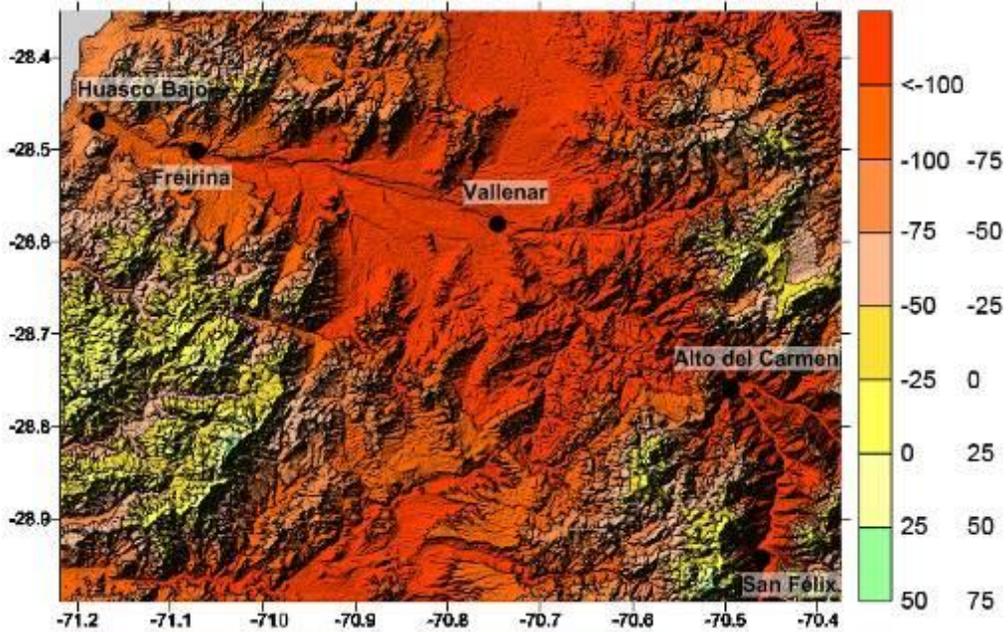


Figura 17. Índice de Sequía para el Valle de Huasco. Clasificación detallada

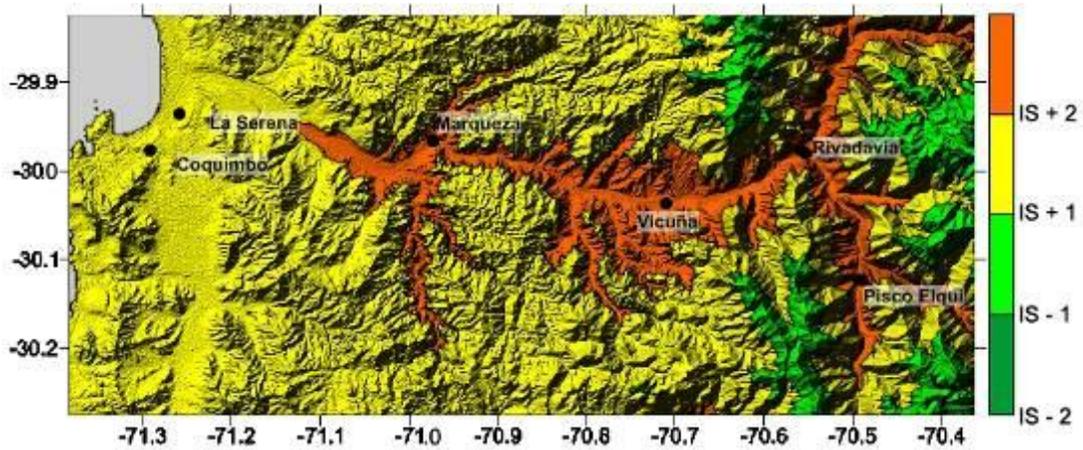


Figura 18. Índice de Sequía para el Valle de Elqui. Clasificación basada en Sistema CCM

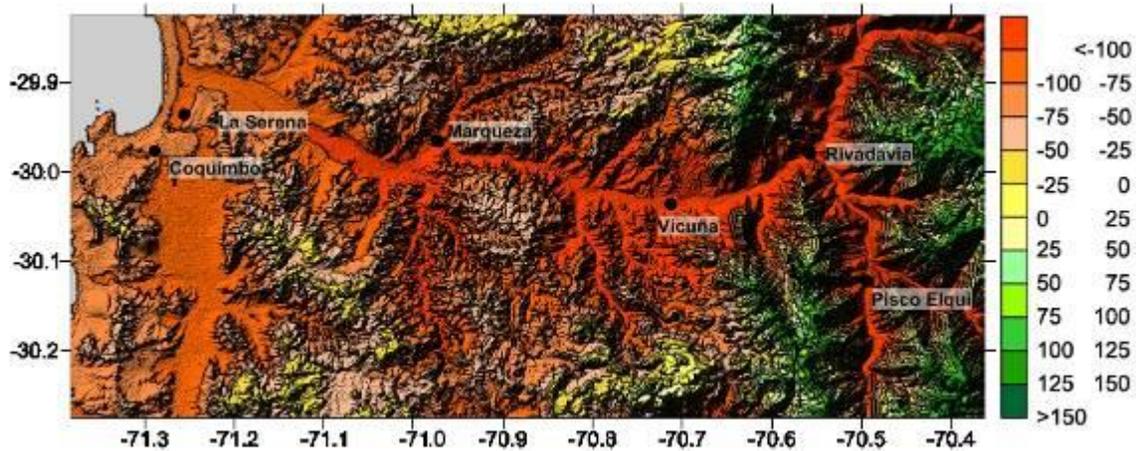


Figura 19. Índice de Sequía para el Valle de Elqui. Clasificación detallada

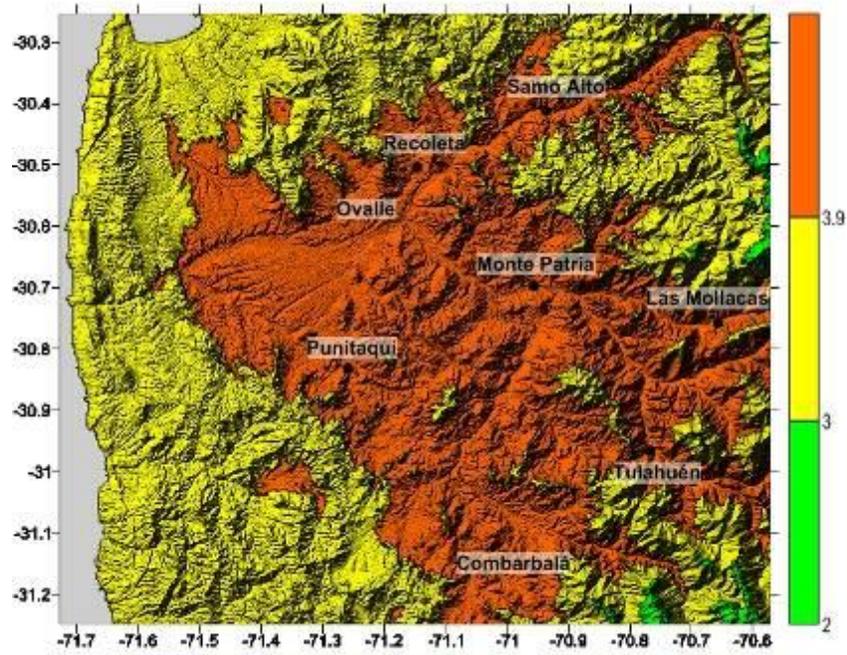


Figura 20. Índice de Sequía para el Valle de Limarí. Clasificación basada en Sistema CCM

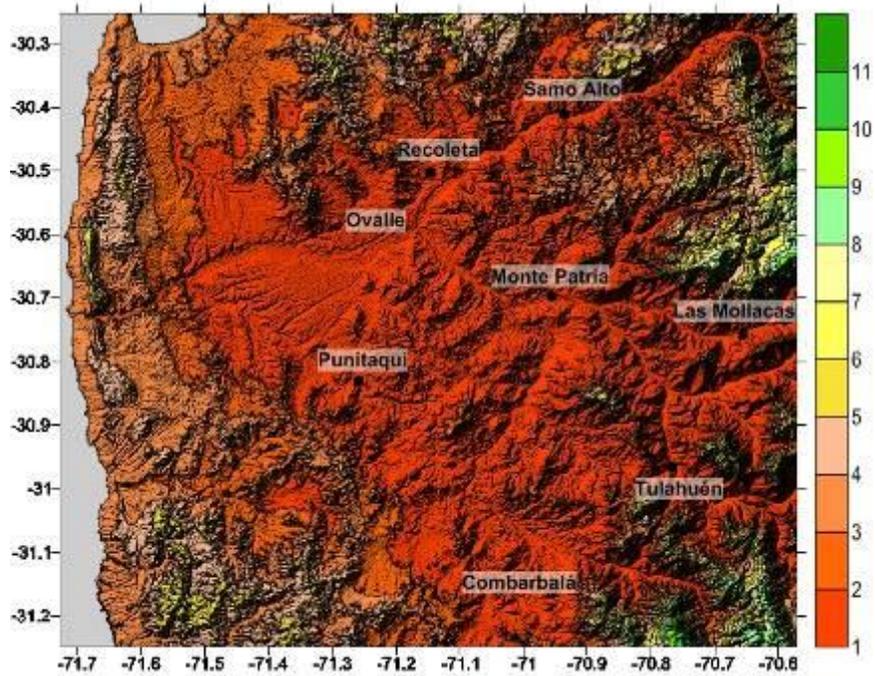


Figura 21. Índice de Sequía para el Valle de Limarí. Clasificación detallada

4.3. Índices climáticos complementarios

Se calculó la radiación solar acumulada entre el 1 de septiembre y el 31 de marzo, considerando el promedio de las series meteorológicas disponibles. Dado que el número de estaciones meteorológicas que posee información de radiación solar es muy bajo, para el cálculo de los índices de radiación se utilizó un número inferior de estaciones. Se utilizaron 11 estaciones meteorológicas posicionadas en los valles de Huasco, Elqui y Limarí, mostradas en la figura 22, las cuales cubren medianamente el transecto oeste-este de cada valle. El presente análisis tiene como objetivo ratificar el patrón espacial general de los índices pertenecientes al sistema CCM y así validar el trabajo de zonificación.

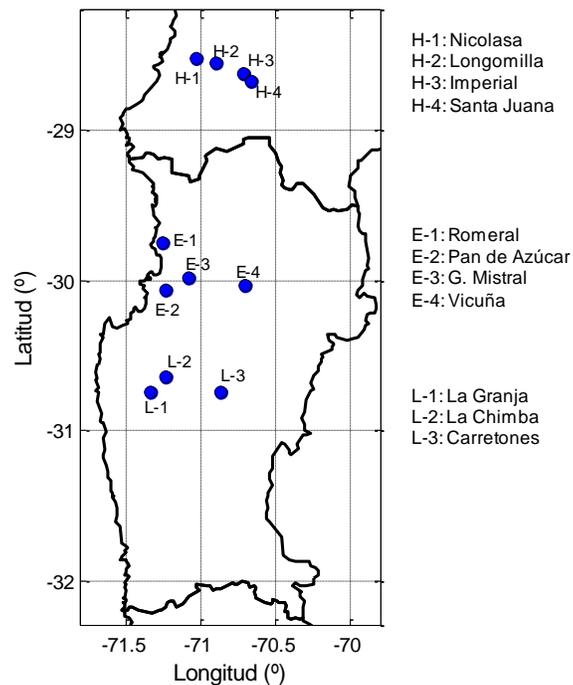


Figura 22. Estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo de los índices de radiación solar. (H= Huasco, E= Elqui, L= Limarí)

La radiación acumulada durante la temporada puede considerarse como un indicador de la energía disponible para procesos como la fotosíntesis, la evaporación de agua, o como variable que determina la temperatura del aire en un lugar determinado. Se observa en la figura 23 que la radiación acumulada varía de manera importante entre las localidades. Las estaciones de zonas interiores de los valles, como Santa Juana en Huasco y Vicuña en Elqui, presentan cantidades acumuladas muy similares entre sí y superiores a aquellas estaciones que se encuentran cercanas al mar. Estas diferencias pueden responder a la mayor humedad atmosférica existente frente a las costas, ya sea como vapor de agua o nubosidad costera, la cual es común observar como estratocúmulos. Este resultado no se repitió en el valle de Limarí. La causa más probable es un defecto en el sensor de radiación de la estación de Carretones, ya que por su ubicación al interior del valle, esta localidad debiera presentar valores significativamente más altos que La Chimba y La Granja, localidades ubicadas en la zona baja con presencia de varios días nublados.

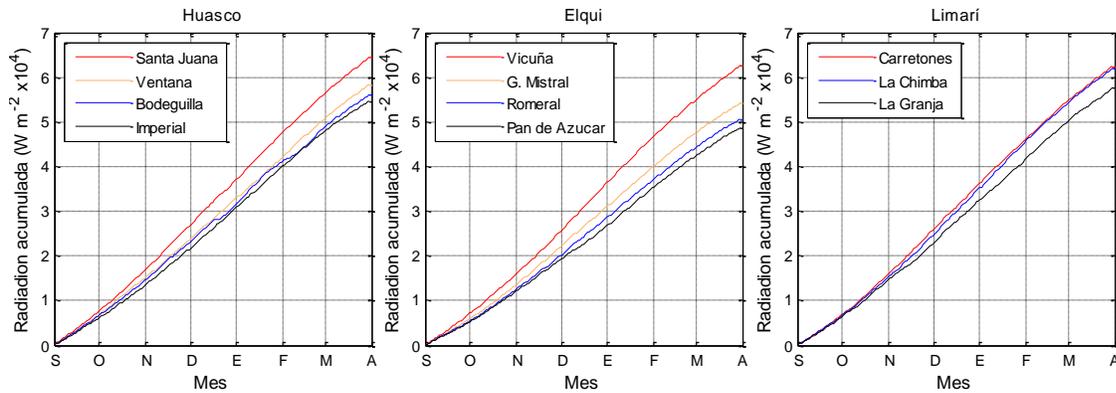


Figura 23. Radiación solar global promedio acumulada en la temporada para estaciones de Huasco, Elqui y Limarí

Para evaluar la menor o mayor presencia de nubosidad en los valles se calculó el índice de claridad del cielo (IC), según la fórmula descrita en el capítulo de Metodología. El IC puede ser considerado como un indicador indirecto de la nubosidad de un punto específico, relacionando la radiación solar teórica en el tope de la atmósfera, la que depende de la latitud y factores astronómicos, y aquella registrada por los sensores en superficie. Así, este índice puede variar entre cero, para días en los que no se registra radiación en superficie (valor teórico), y valores cercanos a 0,8 para los días despejados.

En las figuras 24 y 25 se presentan los histogramas de frecuencia de IC para las estaciones de los valles de Huasco y Elqui, respectivamente. Para todas las estaciones los valores máximos encontrados son cercanos a 0,75, valor correspondiente a días despejados. Para las estaciones de Huasco se observa claramente una mayor frecuencia de días con altos valores de IC en la estación Santa Juana, mientras que las otras poseen valores inferiores, siendo Nicolasa la que concentra la mayor cantidad de días con valores bajos. En Elqui, la estación Vicuña muestra la mayor cantidad de días despejados durante la temporada, en oposición a las estaciones cercanas a la costa.

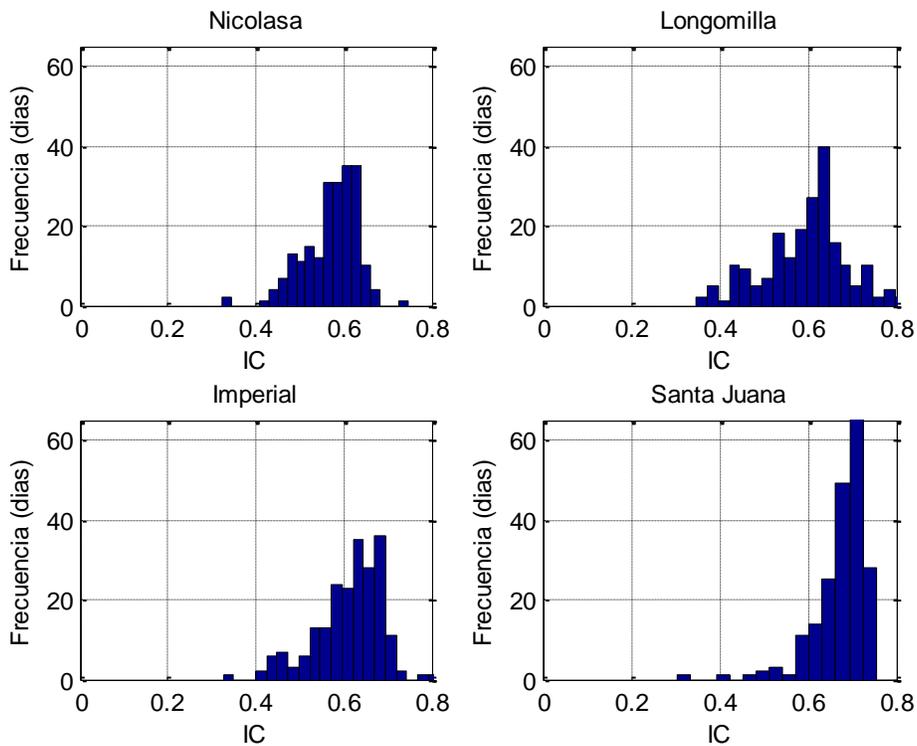


Figura 24. Histogramas de frecuencia del Índice de Claridad del cielo para las estaciones del valle de Huasco

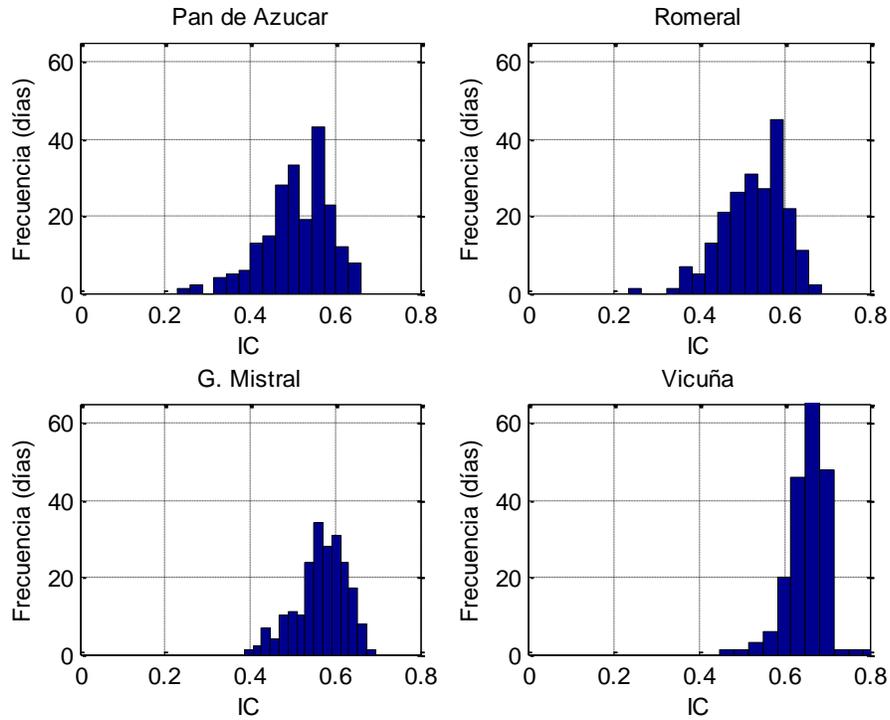


Figura 25. Histogramas de frecuencia del Índice de Claridad del cielo para las estaciones del valle de Elqui

En las estaciones del valle de Limarí (figura 26), si bien las tres poseen cierto grado de continentalidad, es posible observar que la estación Carretones, que se ubica en una posición más interior, es la que concentra la mayor cantidad de días despejados, mientras que La Granja, más cercana a la costa, registra un alto número de días que pueden ser considerados como nublados.

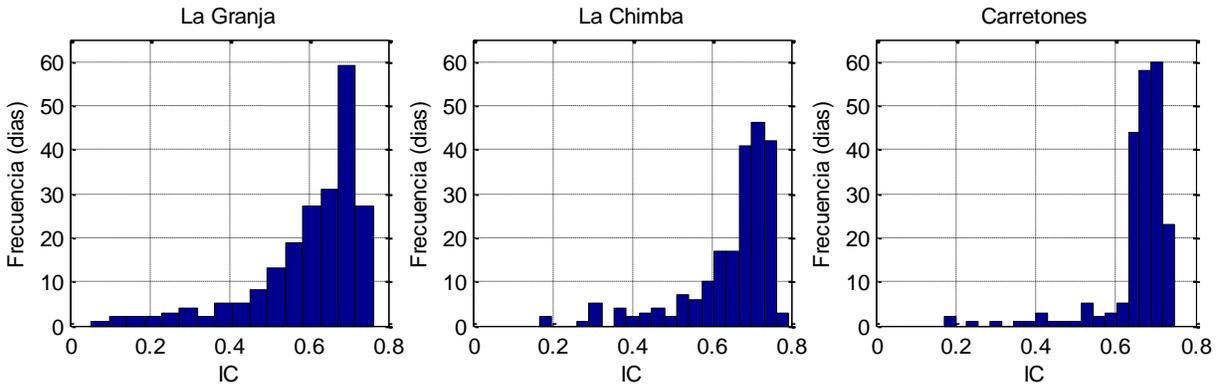


Figura 26. Histogramas de frecuencia del Índice de Claridad del cielo para las estaciones del valle de Limarí

Los valores encontrados para la radiación acumulada y para IC se encuentran en concordancia con lo encontrado para los índices climáticos del sistema CCM, ya que son estas zonas las que poseen mayores potenciales de maduración, a causa de la mayor acumulación térmica en la temporada, lo cual ha sido descrito previamente con el Índice Heliotérmico. La variabilidad encontrada para el Índice de Sequía responde directamente a las diferencias en radiación y temperatura, lo cual influye directamente en la cantidad de agua evaporada y, como consecuencia, en el nivel de sequía potencial.

La determinación de la frecuencia de las temperaturas elevadas (sobre 30°C) es importante desde el punto de vista productivo, pues el estrés térmico reduce la tasa de fotosíntesis, disminuyendo así la producción de carbohidratos necesarios para el crecimiento de brotes y racimos. Para la serie promedio de 20 años de las estaciones meteorológicas de la figura 27, se calculó el número promedio de días por sobre 30°C durante el mes de enero, considerados como días cálidos. Las estaciones Puerto Huasco y Pan de Azúcar, ubicadas en el área costera, prácticamente no presentan días por sobre 30°C (cuadro 13). Por otro lado, las estaciones localizadas al interior de los valles, como Rivadavia y Hurtado, presentan una mayor frecuencia de días cálidos promediando 11 y 7,5 días, respectivamente. Esto último muestra la alta probabilidad de que las zonas que poseen mayores potenciales heliotérmicos a su vez presenten días en los cuales puede existir un estrés térmico que, dependiendo del estado hídrico de las plantas, puede ocasionar problemas fisiológicos que resulten en una menor calidad de la fruta, sobre todo en aquellas variedades más tempranas.

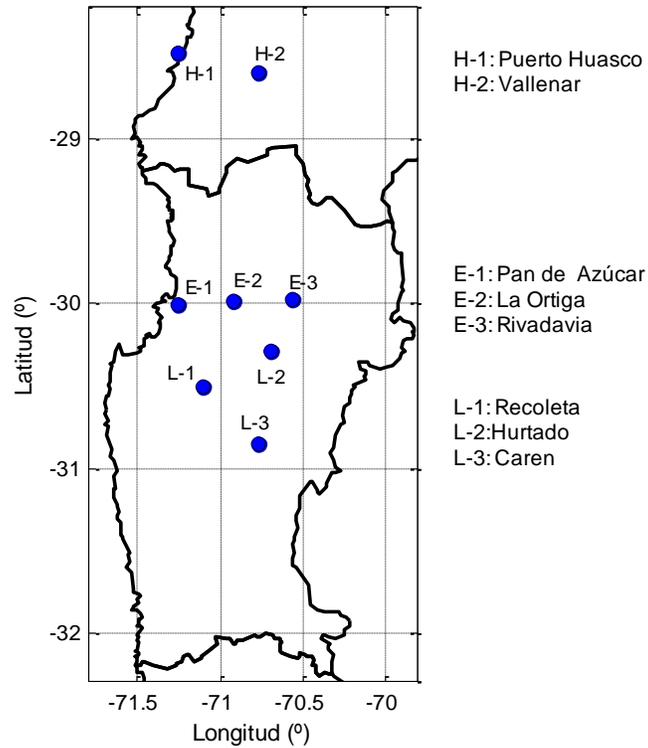


Figura 27. Estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo de la frecuencia de días cálidos. (H= Huasco, E= Elqui, L= Limarí)

Cuadro 13. Número promedio de días cálidos para las estaciones de los valles de Huasco, Elqui y Limarí

Estación	Puerto Huasco	Vallenar	Pan de Azúcar	La Ortiga	Rivadavia	Recoleta	Hurtado	Caren
Frecuencia (días)	1,0	3,4	0	3,9	11,0	3,4	7,5	3,4

Como resultado de las altas temperaturas y menor contenido de agua en la atmósfera en aquellas zonas alejadas del océano, la humedad relativa del aire puede alcanzar valores bajos capaces de provocar síntomas de estrés en las plantas, producto del alto gradiente hídrico entre la planta y el aire. Se ha reportado comúnmente en la región de estudio la ocurrencia de deshidratación de las bayas en aquellos días en que la humedad ambiental es muy baja. Para evaluar la mayor probabilidad de ocurrencia de dicho problema, se obtuvo la humedad relativa promedio a las 14:00 horas en el mes de enero, para las estaciones de los valles de Huasco, Elqui y Limarí de la figura 27, curvas que se presentan en la figura 28. Las estaciones posicionadas en las zonas interiores de los valles, como Santa Juana, Vicuña y Carretones, muestran claramente una condición de humedad atmosférica muy inferior a aquellas de zonas más cercanas a la costa. Por ejemplo, Vicuña en promedio muestra un valor de 27%, el cual es muy inferior al 53% de la estación Romeral. Lo mismo para Santa Juana (31%) y la estación Nicolasa (53%) en el valle de Huasco.

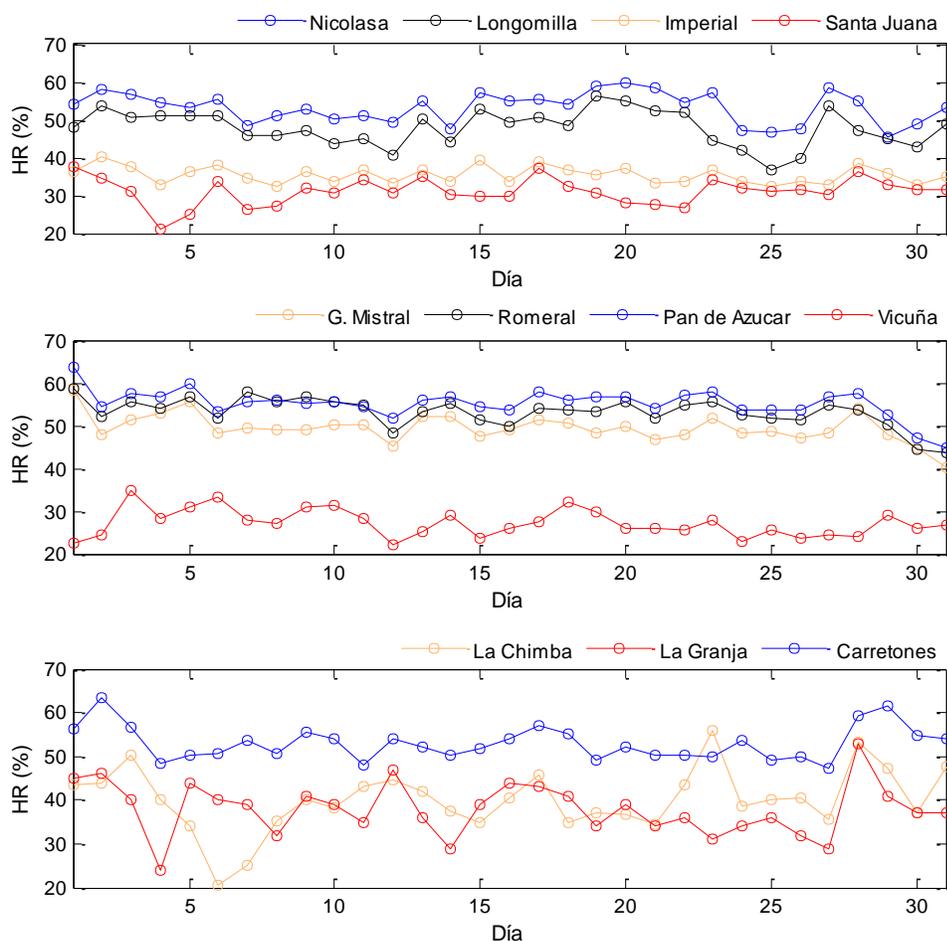


Figura 28. Curvas de humedad relativa a las 14:00 horas para las estaciones del valle de Huasco, Elqui y Limarí

La humedad del ambiente puede también influenciar la presencia de enfermedades en los parrones. En este sentido la presencia de mayores niveles de humedad relativa en el área cercana a la costa favorece el desarrollo del hongo *Botrytis cinerea* (podrición del racimo) en las variedades más susceptibles. La principal enfermedad en las variedades pisqueras es provocada por el hongo *Uncinula necator* (oidio), cuyo desarrollo es favorecido por temperaturas que varían entre los 21°C y 30°C, independiente del nivel de humedad relativa. De allí que este hongo puede provocar daños en toda el área pisquera, siendo más relevante su impacto en el área interior de los valles que registra mayores temperaturas durante la temporada de crecimiento de las vides.

4.4. Caracterización del suelo y su relación con el clima

El suelo desempeña un rol fundamental en el crecimiento de raíces en las vides. Bajo condiciones favorables las raíces son capaces de crecer libremente en el suelo, produciendo continuamente raíces laterales y formando nuevos puntos de crecimiento. De esta forma, las raíces contribuyen positivamente a la longevidad y a la producción sostenida de las vides. Algunos factores, como la textura, la profundidad del suelo y la humedad aprovechable, pueden afectar negativamente el crecimiento y la

función de las raíces, afectando también el desarrollo de brotes y racimos debido a la interdependencia existente entre el sistema radicular y el crecimiento del follaje.

Para relacionar el efecto del clima y el suelo sobre el comportamiento productivo y vegetativo de las vides, se elaboraron mapas con la superposición de la clase textural de suelo sobre las diversas clases de índice heliotérmico en los valles de Huasco, Elqui y Limarí. Lamentablemente, no se contó con suficiente información meteorológica para incluir también el valle de Choapa.

En las zonas medias y bajas del valle de Huasco se encuentran suelos con textura superficial franca, franco-arenosa y franco-arcillo-limosa (figura 29). En el área más cercana a la costa, de clima Frío (IH-2), predominan las texturas franco y franco-arenosa. En el área de clima Templado (IH-1) los suelos franco-arenosos y franco-arcillo-limosos ocupan la mayor superficie. Cabe señalar que en ambas áreas la superficie actual con uva pisquera es insignificante. Por otra parte, en el área de Vallenar con clima Templado Cálido (IH+1) y sobre 100 hectáreas plantadas con vides, predominan los suelos de textura franco-arenosa. La mayor superficie con vides para pisco en Huasco se concentra en la parte alta del valle, sector que se caracteriza por poseer condiciones de clima Templado Cálido (IH+1) y Cálido (IH+2) y suelos de textura franco-arenosa principalmente y franco-arcillosa secundariamente (figura 30).

La producción pisquera en la parte baja del valle de Elqui se concentra en el área de Marqueza, la que presenta una condición de clima Templado (IH-1) con suelos franco-arenosos, francos y franco-limosos (figura 31). A su vez, suelos de textura livianas (areno-francosa, franco-arenosa y franco) predominan en los sectores medio y alto del valle, en los que se presentan condiciones de altas temperaturas (climas IH+1 e IH+2) (figura 32).

La mayor superficie plantada con vides en el territorio pisquero se encuentra en el valle de Limarí. Allí, las plantas se desarrollan principalmente en condiciones de suelo franco-arcilloso y clima Templado Cálido (IH+1) en la parte baja del valle (figura 33), en suelos areno-francosos, franco-arenosos y franco-arcillosos en los sectores medio y alto del área norte del valle que poseen un clima Cálido (IH+2) (figura 34). Esta última condición se presenta también en los sectores medio y alto del área sur del valle (figura 35).

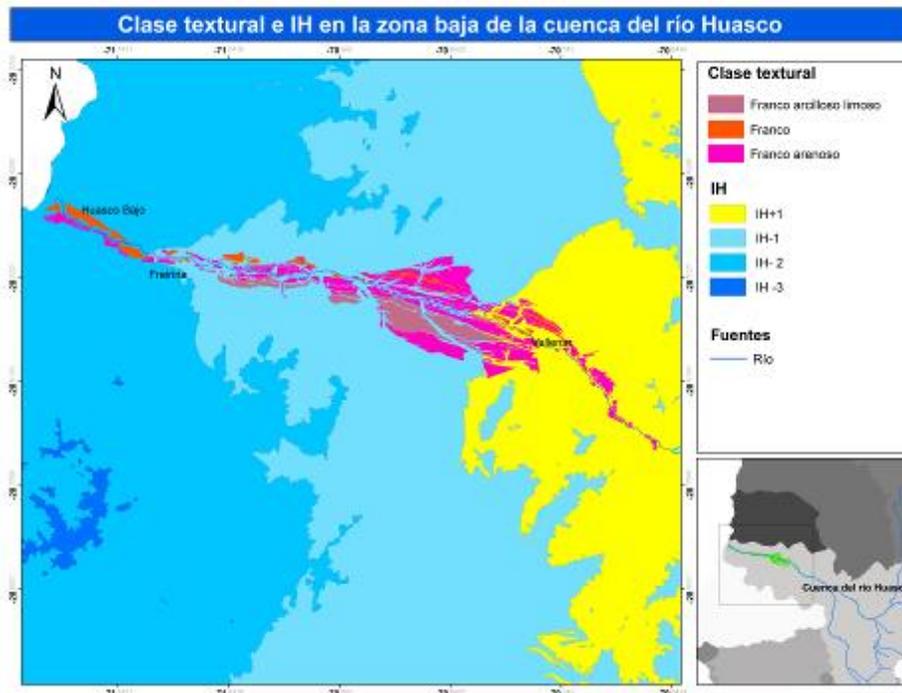


Figura 29. Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja y media del valle de Huasco

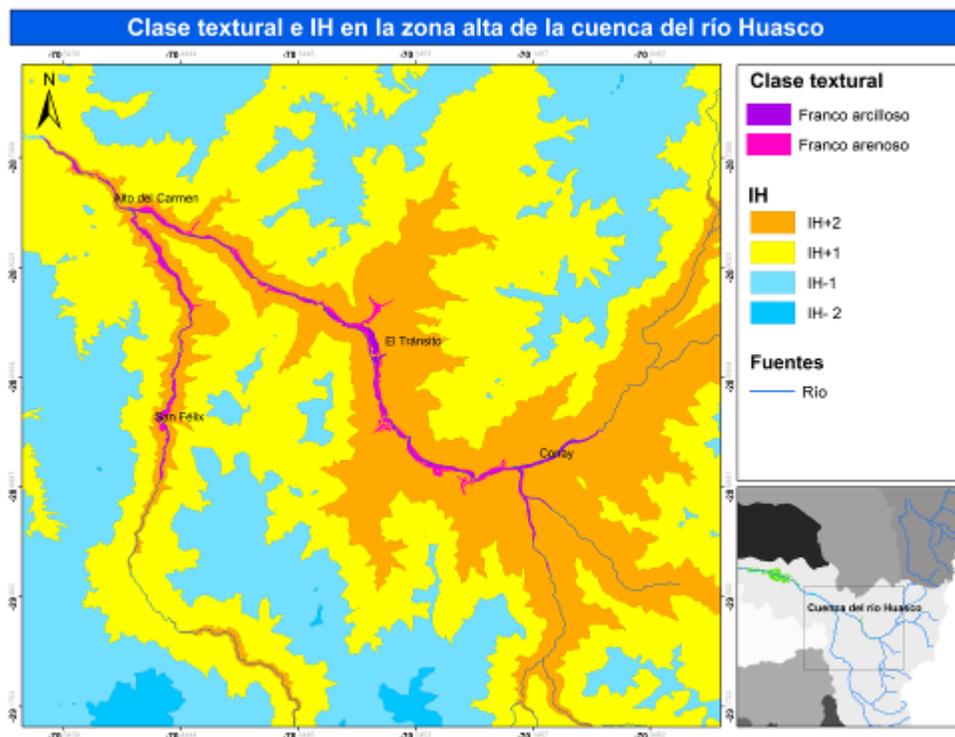


Figura 30. Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte alta del valle de Huasco

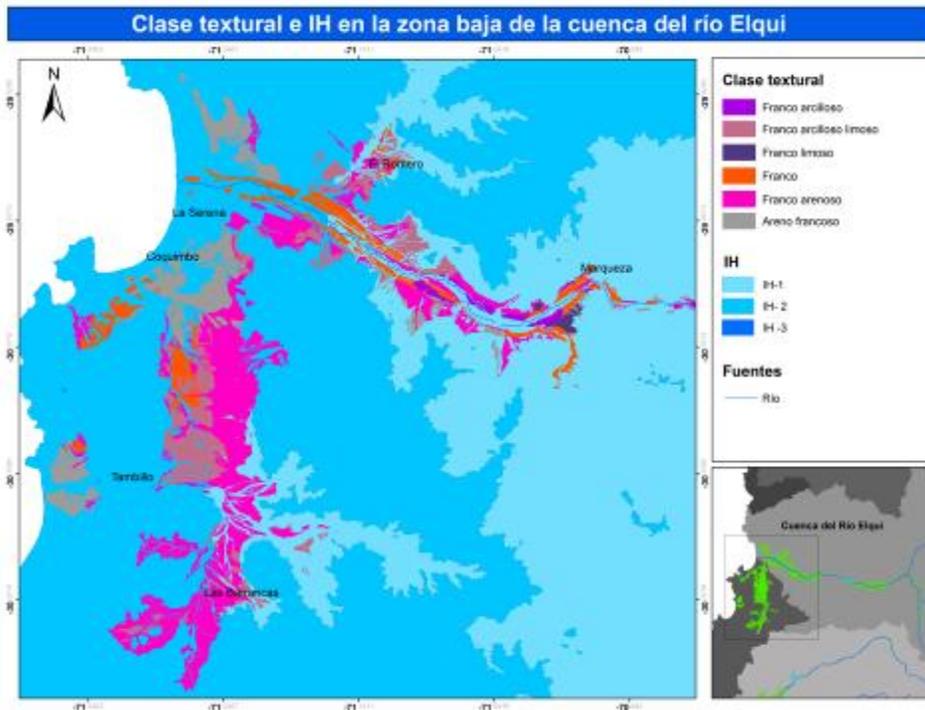


Figura 31. Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja del valle de Elqui

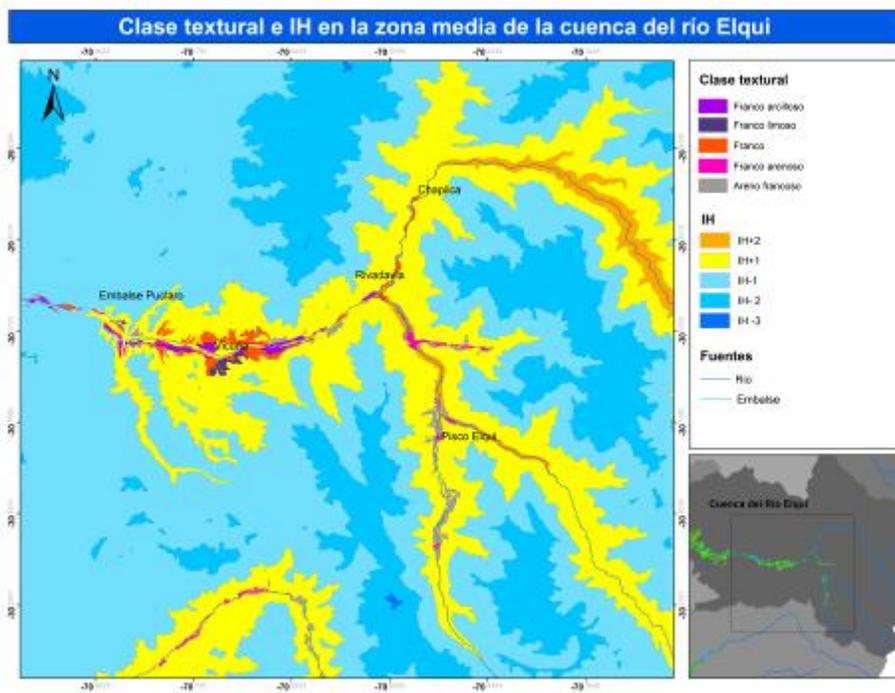


Figura 32. Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta del valle de Elqui

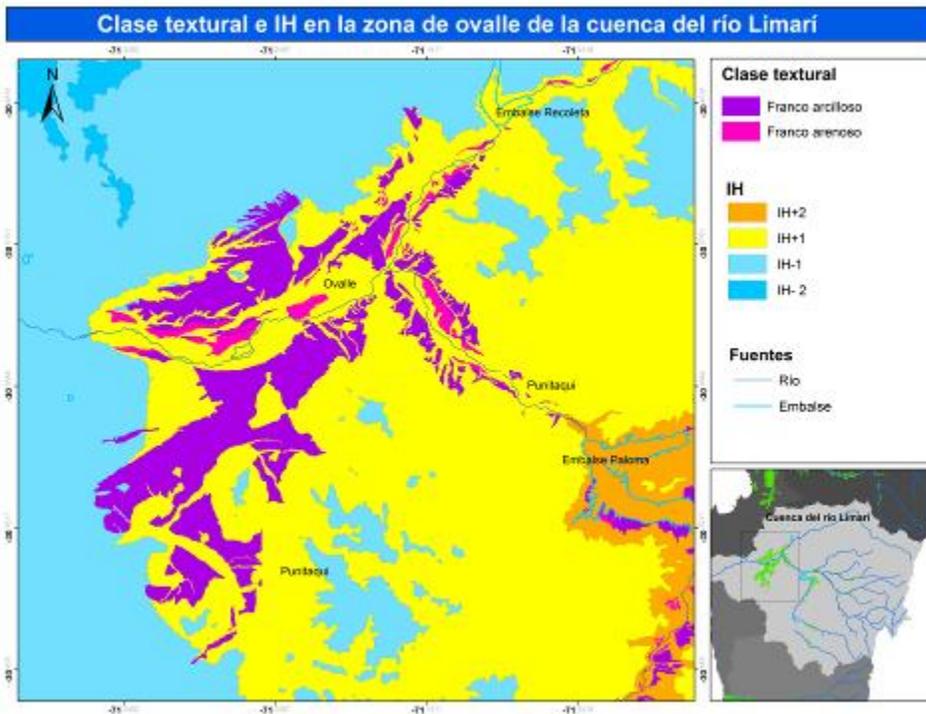


Figura 33. Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja del valle de Limarí

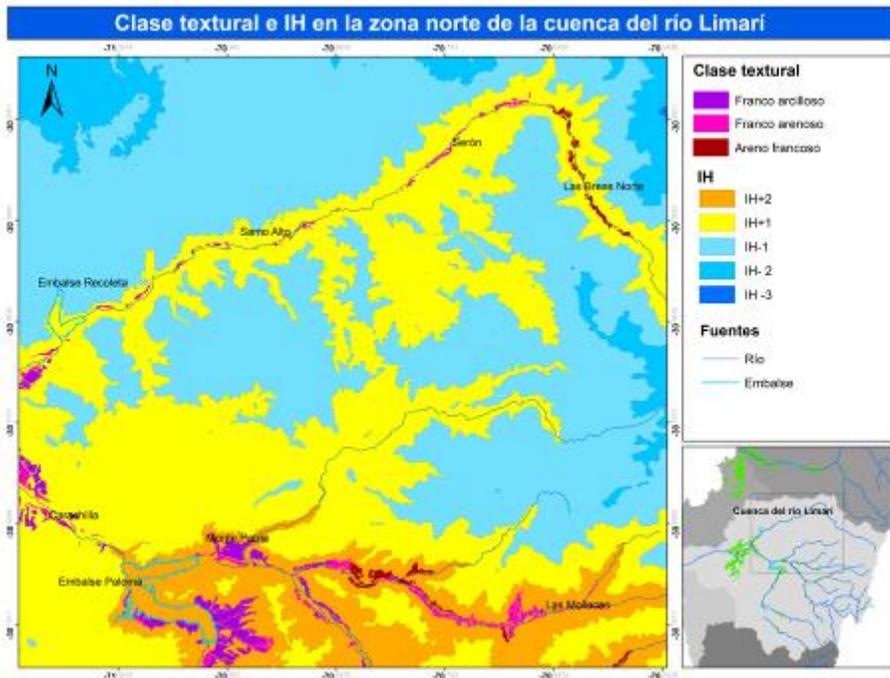


Figura 34. Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta norte del valle de Limarí

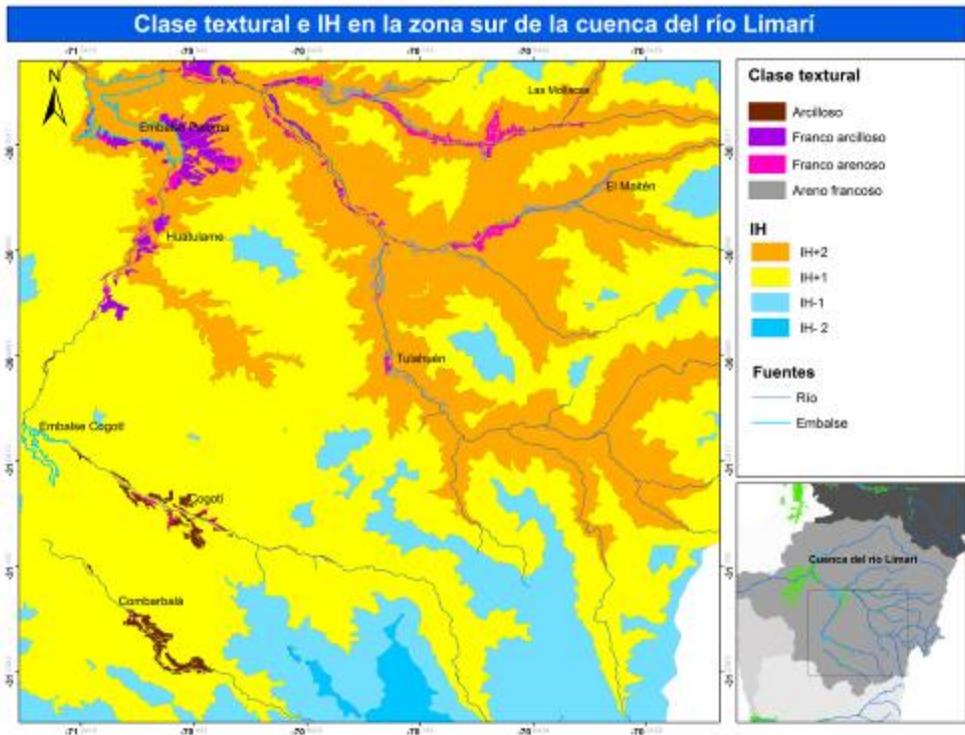


Figura 35. Distribución espacial de la textura superficial e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta sur del valle de Limarí

Las raíces de las vides crecen principalmente en los primeros 100 cm de suelo, de allí que en el territorio pisquero el suelo no presenta, en general, limitaciones de profundidad, tal como se verifica en las figuras 36 a la 42, que corresponden a mapas elaborados con información de profundidad de suelo y su relación con el índice heliotérmico.

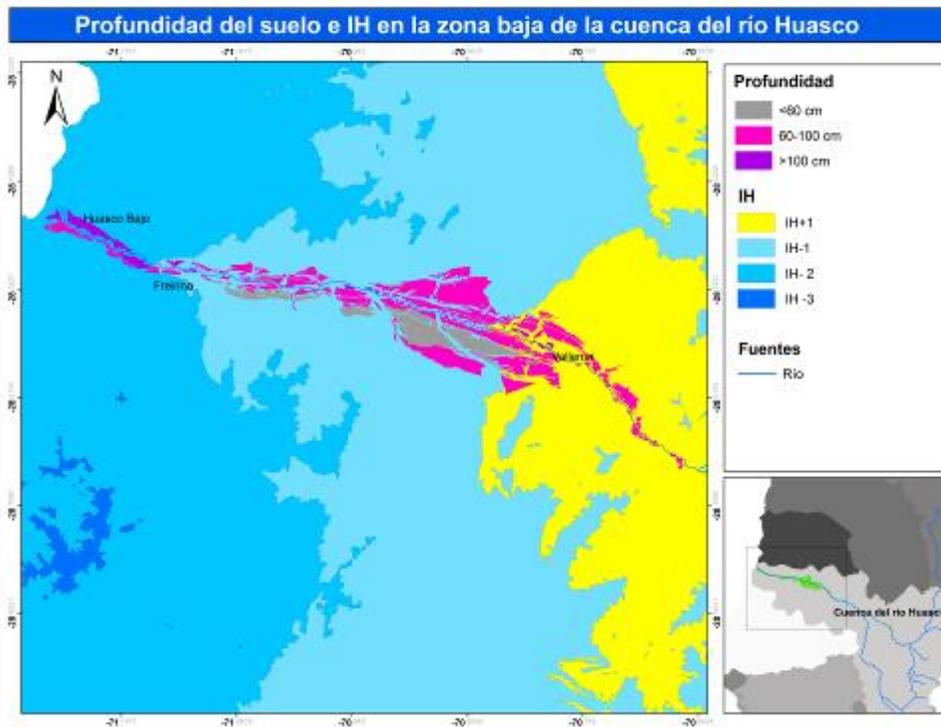


Figura 36. Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja y media del valle de Huasco

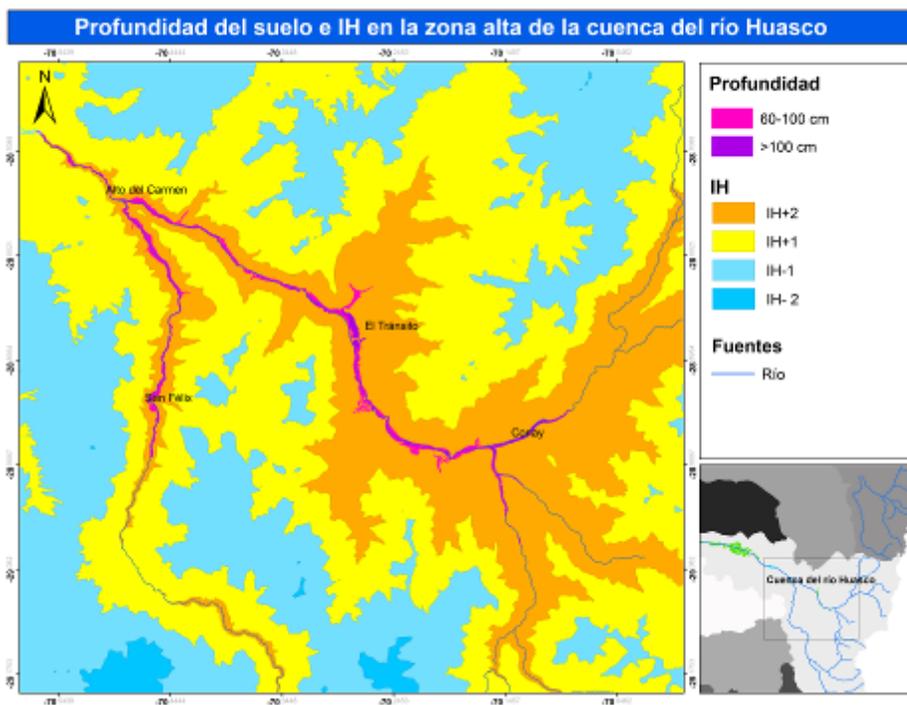


Figura 37. Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte alta del valle de Huasco

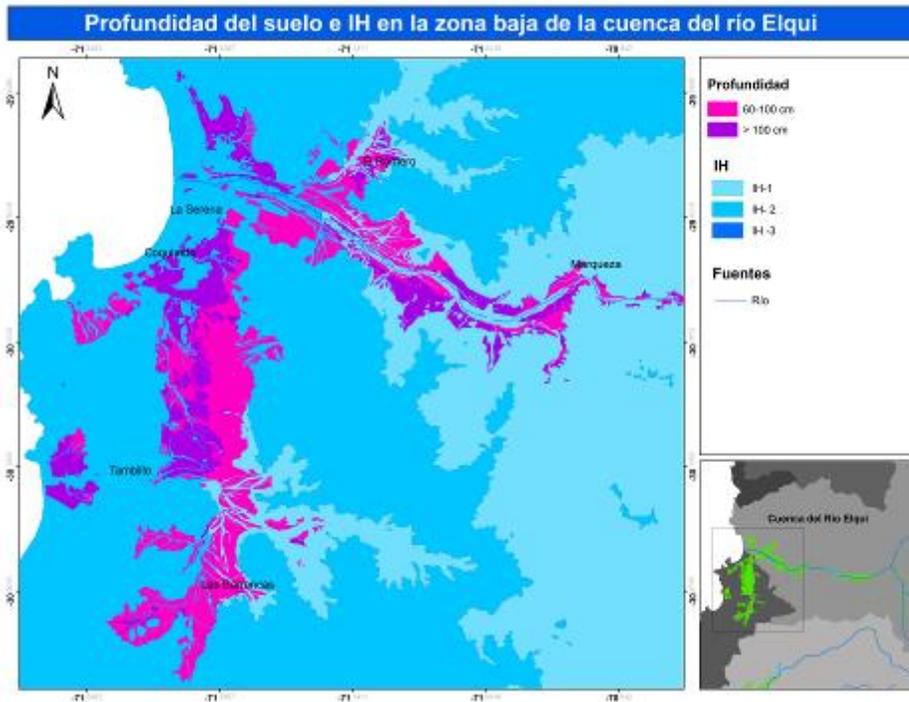


Figura 38. Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja del valle de Elqui

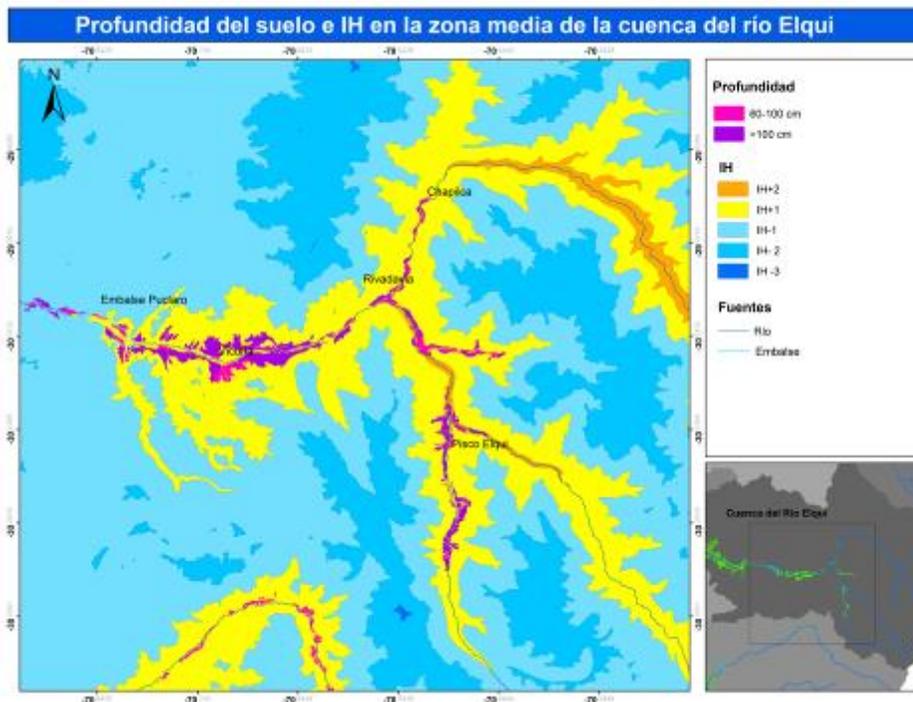


Figura 39. Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta del valle de Elqui

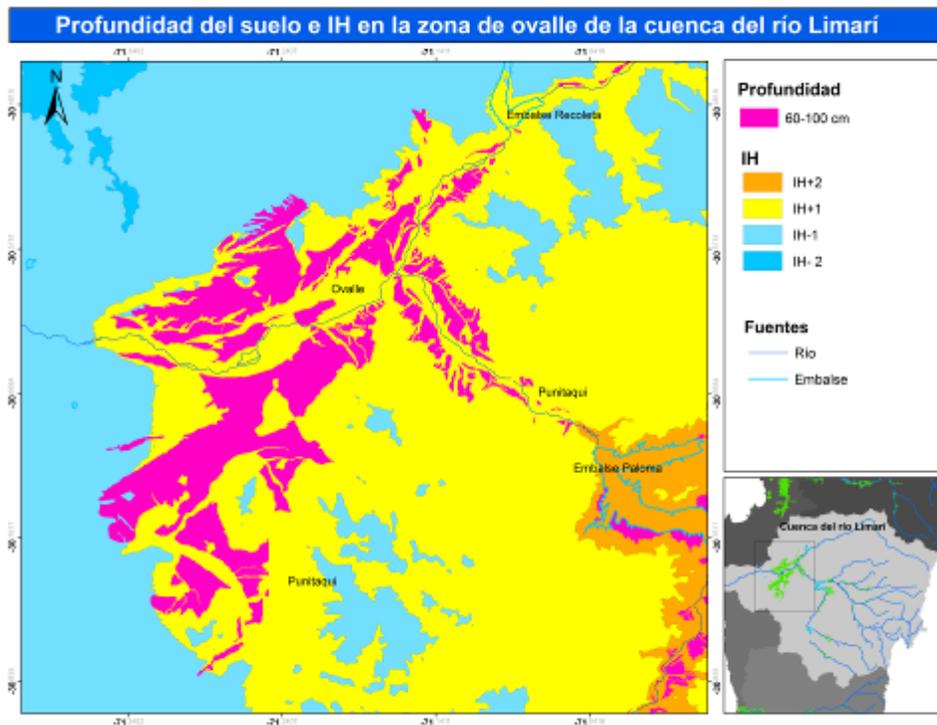


Figura 40. Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja del valle de Limarí

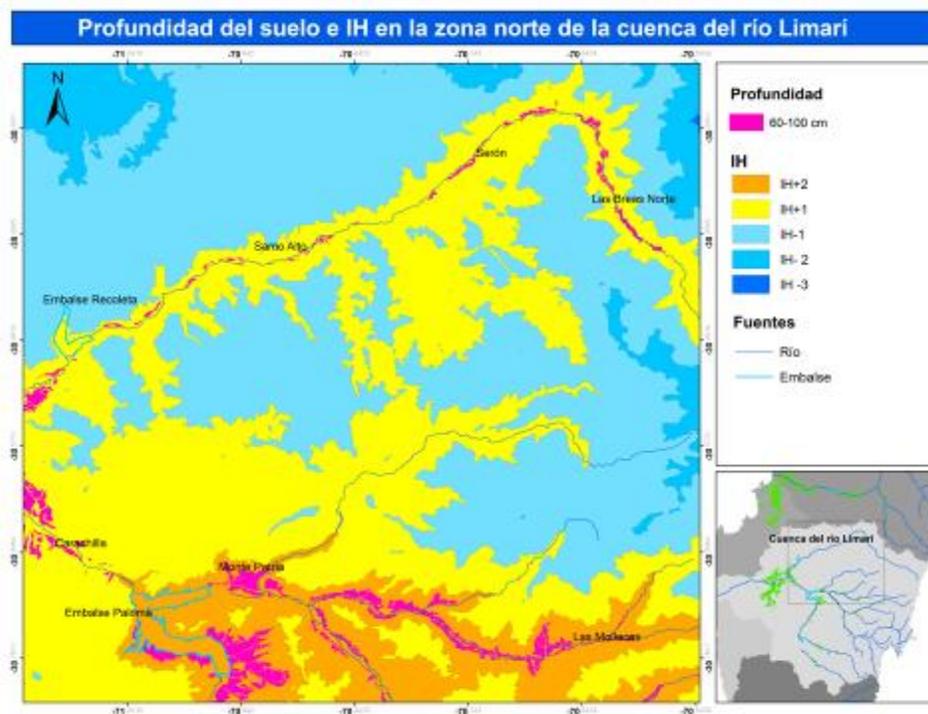


Figura 41. Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta norte del valle de Limarí

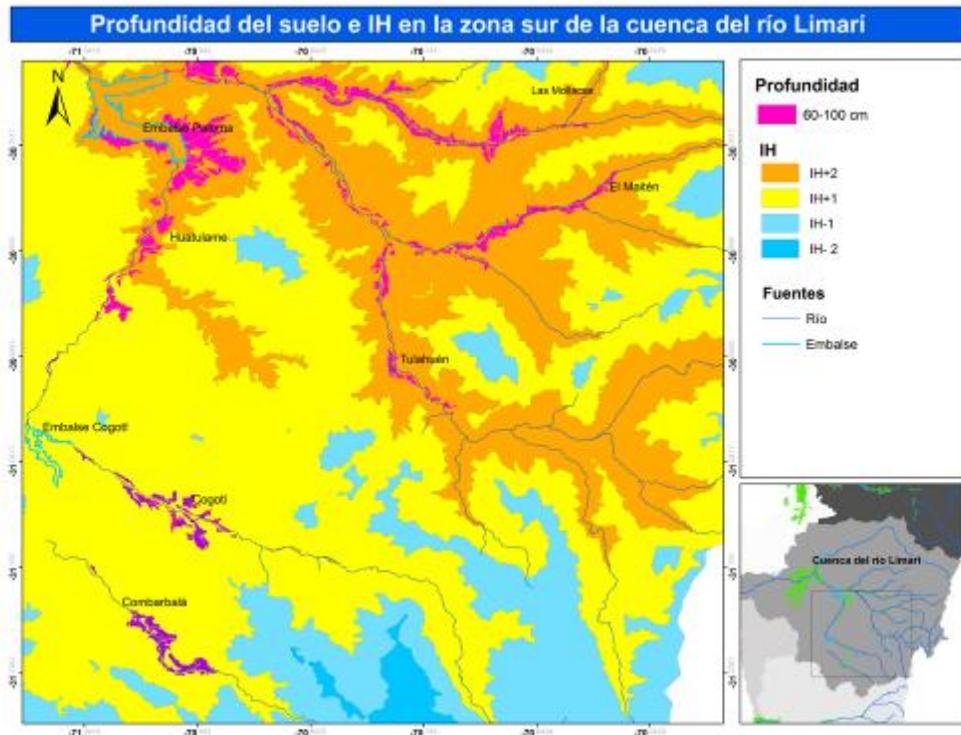


Figura 42. Distribución espacial de la profundidad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta sur del valle de Limarí

Además de la textura y la profundidad, la capacidad de retención de humedad del suelo (humedad aprovechable) es también una variable que influye directamente en el crecimiento de raíces y de brotes. Las figuras 43 a la 49 muestran la capacidad de retención de humedad de los diversos tipos de suelo distribuidos en cada clase de clima según el índice heliotérmico.

En los tres valles se observa una relación estrecha entre la clase textural y la capacidad de retención de agua de los suelos. La mayor capacidad de retención (sobre 6 cm) se asocia principalmente a texturas finas de suelo (franco-arcillosa). Contrariamente, la menor retención (menos de 6 cm) ocurre en los suelos de textura gruesa (areno-francosa y franco-arenosa).

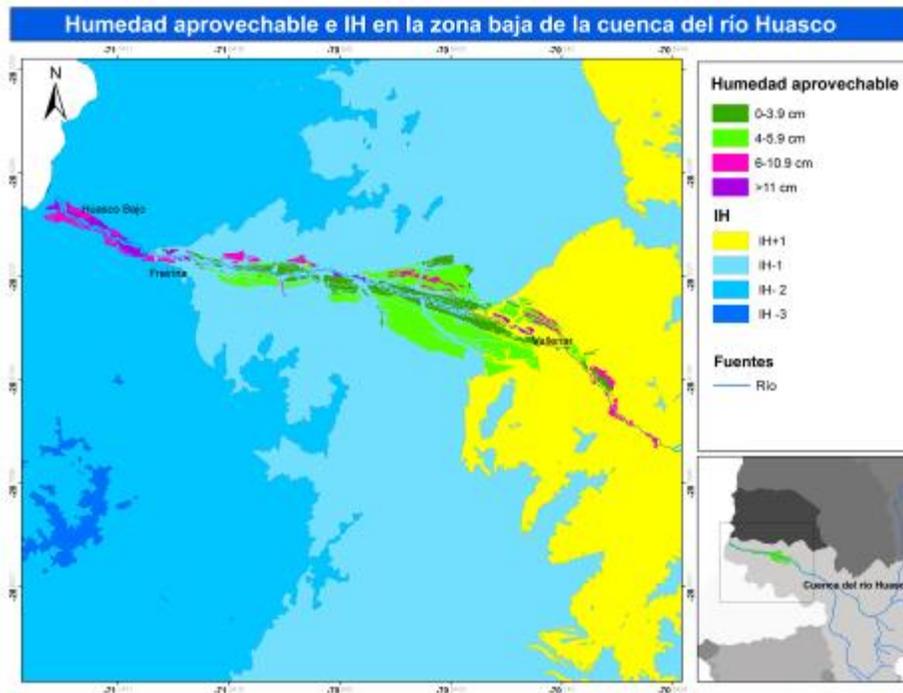


Figura 43. Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja y media del valle de Huasco

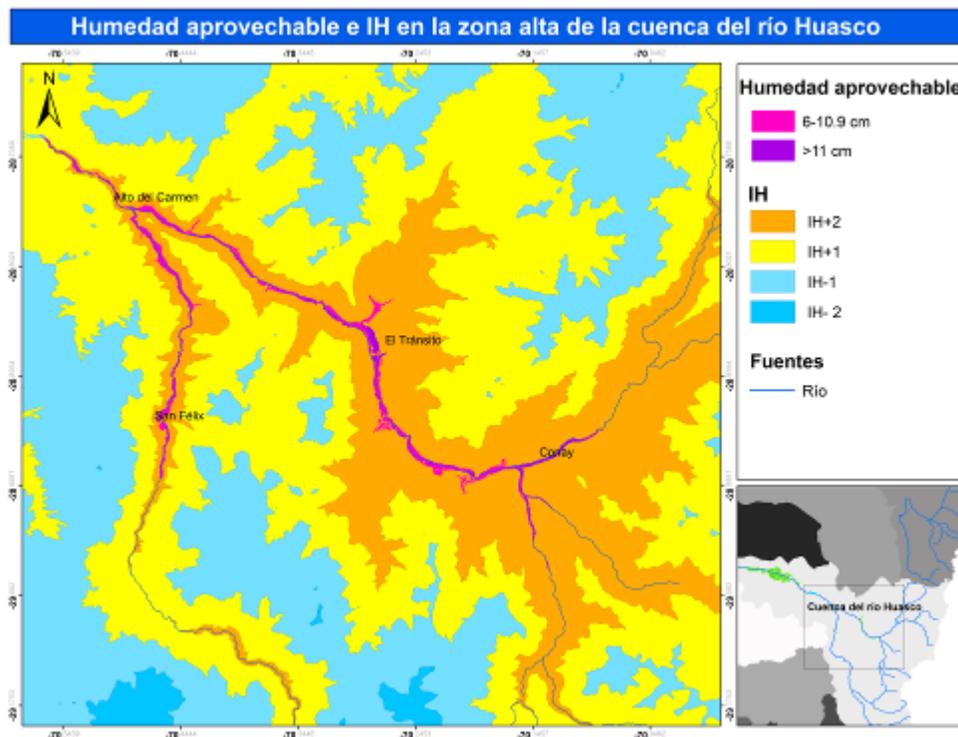


Figura 44. Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte alta del valle de Huasco

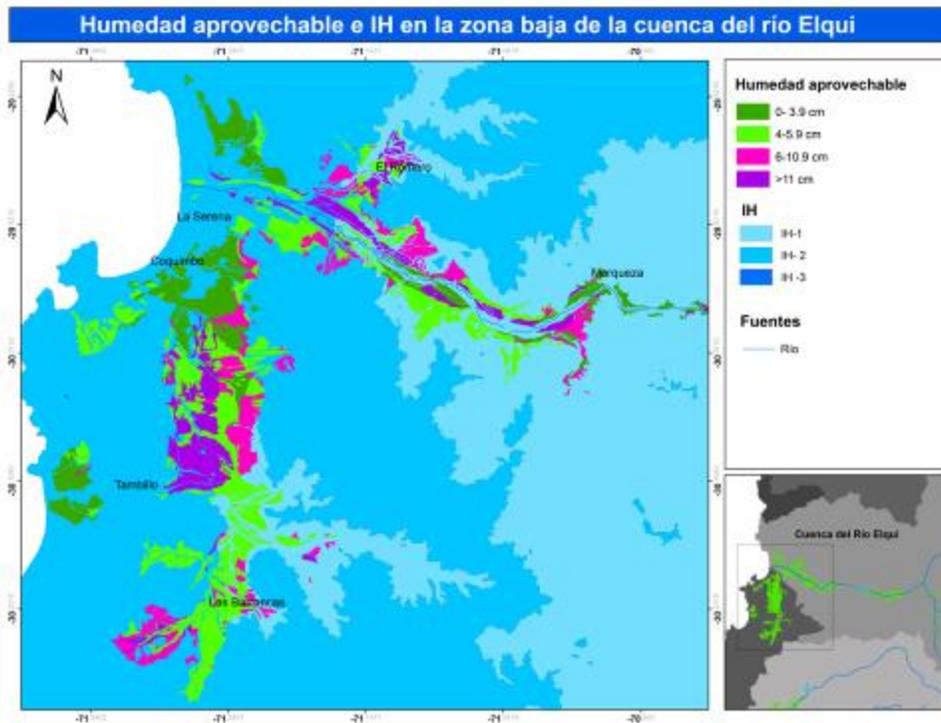


Figura 45. Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja del valle de Elqui

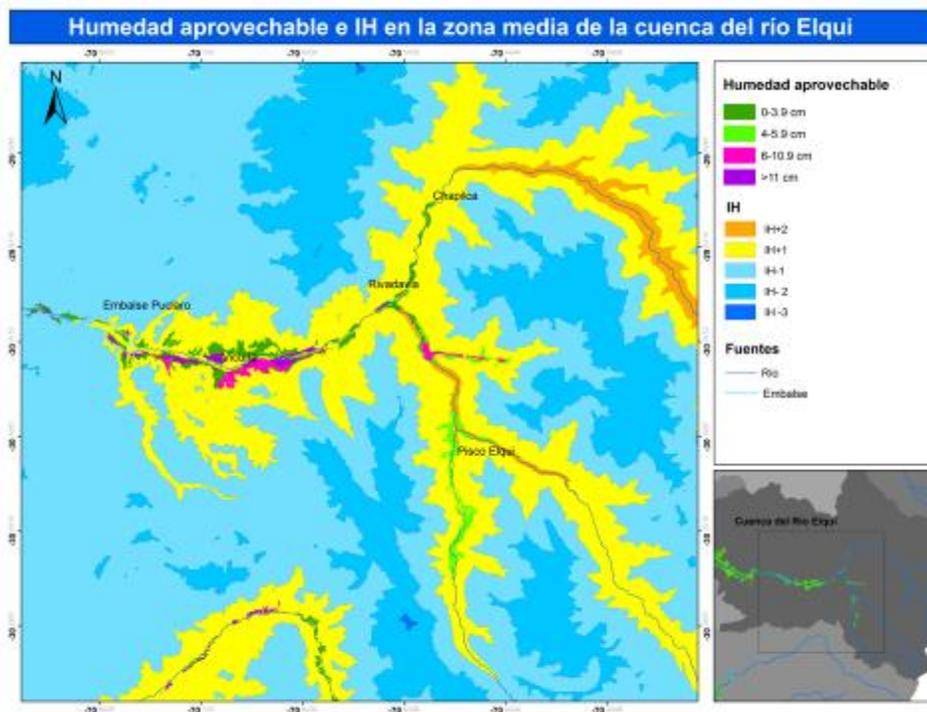


Figura 46. Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta del valle de Elqui

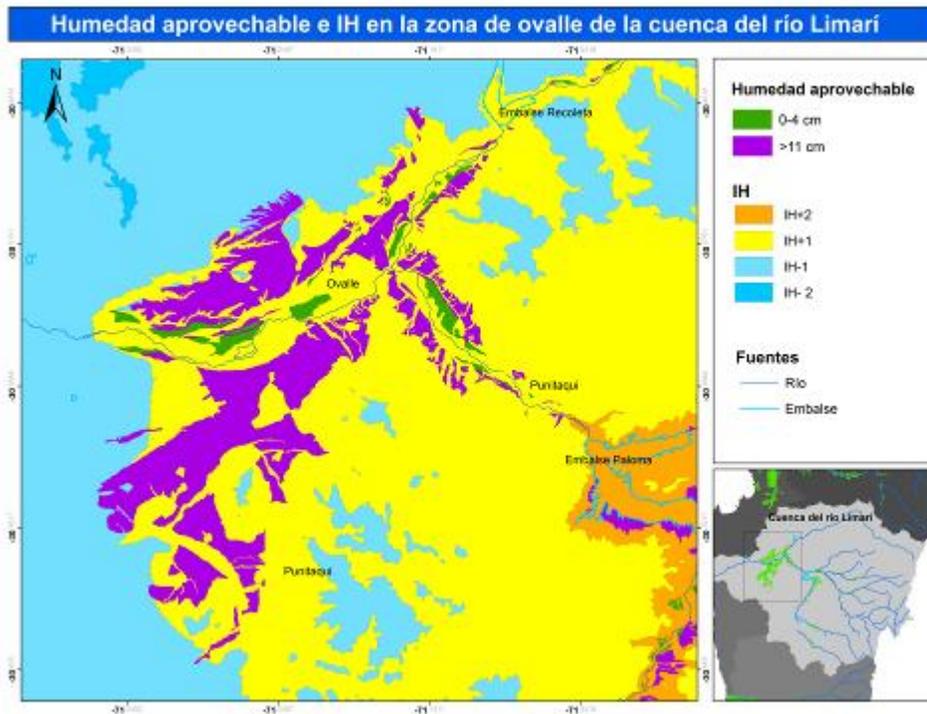


Figura 47. Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte baja del valle de Limarí

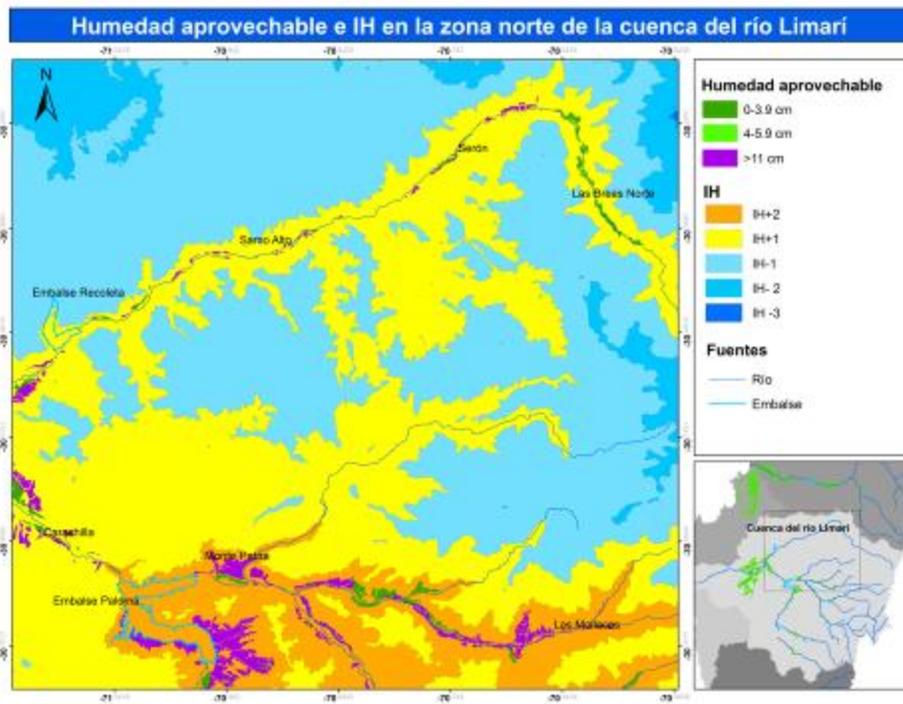


Figura 48. Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta norte del valle de Limarí

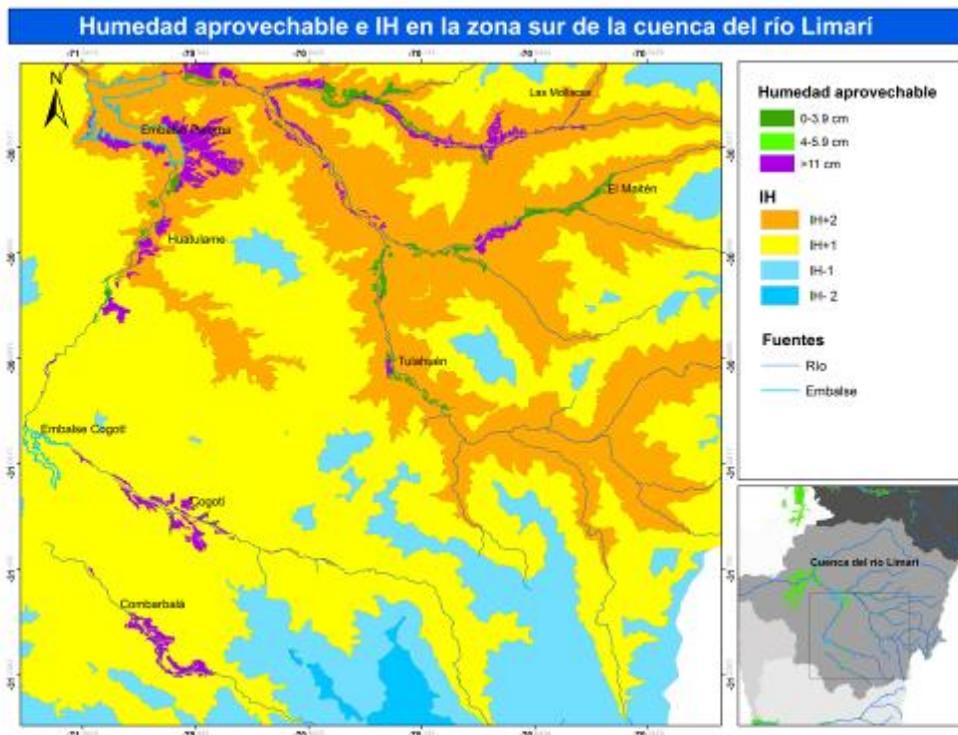


Figura 49. Distribución espacial de la capacidad de retención de humedad del suelo e índice Heliotérmico (IH) en la parte media y alta sur del valle de Limarí

Información estadística de calidad de suelos de los valles del territorio pisquero, de acuerdo con estudios realizados por CIREN, se presenta en el anexo 3. La información incluye las series de suelo usadas en el estudio, las clases texturales por valle, la distribución de la superficie por profundidad de suelo y la distribución de acuerdo con la capacidad de retención de humedad.

La caracterización de suelos del territorio pisquero indica que las texturas predominantes corresponden a franco-arcillosa y franco-arenosa, abarcando ambas sobre el 97% de la superficie con textura denominada media a gruesa. En general, las texturas gruesas (franco-arenosas) se ubican en las zonas medias e interiores de los valles, que a la vez presentan las temperaturas más altas (clase IH+2). Este tipo de textura favorece el crecimiento de las raíces, pues ellas se desarrollan fácilmente entre partículas de tamaño grande que tienen altos contenidos de aire y no presentan limitaciones físicas. Bajo estas condiciones las variedades pueden alcanzar rendimientos medios a altos y conseguir el índice de madurez tempranamente en la temporada. Sin embargo, se debe tener especial cuidado con la práctica del riego, ya que la condición climática de altas temperaturas, alta luminosidad, baja humedad relativa y baja retención de humedad en el suelo, pueden provocar severas reducciones en la producción y/o calidad de la fruta si el riego es inapropiado

La superficie de suelo con textura fina (franco-arcillosa) se concentra en la provincia de Limarí y en menor magnitud en Elqui. En Limarí la superficie con textura fina se localiza en la zona interior del valle y se relaciona con condiciones de clima cálido (IH+2). Sin embargo, la mayor superficie de suelo con textura franco-arcillosa se localiza en los sectores medios y bajos del valle en los que coexisten las clases

de clima Templado Cálido (IH+1) y Templado (IH-1). Por otra parte, en Elqui los suelos de textura fina se ubican en la zona baja cercana a la costa, dentro de la clase de clima Templado (IH-1).

Los suelos de textura fina, si son bien estructurados, favorece el crecimiento de las raíces debido a que las arcillas estructuradas tienen una alta proporción de macroporos que permiten la difusión de oxígeno y el almacenaje de agua. Sin embargo, en suelos con arcillas dispersas pequeñas partículas pueden sellar los espacios porosos y así restringir la disponibilidad de oxígeno para las raíces. Esta situación es acrecentada con la aplicación excesiva de agua de riego, especialmente en áreas con menor demanda hídrica atmosférica (clase IH-1). Bajo estas condiciones se puede limitar severamente el vigor de las vides, situación que suele ocurrir en parrones ubicados en la parte baja del valle de Limarí.

Los suelos de textura franco-arcillosa poseen una mejor capacidad de agua disponible para las raíces que los suelos arenosos. Esta característica es favorable para el desarrollo y productividad de las vides, en la medida que la práctica de riego se utilice eficientemente evitando la saturación hídrica. Así, las plantas que crecen en este tipo de suelo y con una condición de clima Cálido (IH+2) disponen de un alto potencial productivo.

Productivamente se ha observado una diferente respuesta a la condición de suelo (y probablemente también de clima) por parte de algunas variedades de vid empleadas para la elaboración de pisco. Plantas adultas de la variedad Moscatel de Alejandría alcanzan producciones de 40 a 50 toneladas por hectárea en suelos de textura franco-arcillosa en las zonas bajas de los valles (clase IH+1 e IH-1). Sin embargo, en suelos franco-arenosos del área interior de los valles (clase IH+2) la misma variedad produce menos de 30 toneladas por hectárea. La situación contraria ocurre con la variedad Moscatel Rosada, la que tiene mayores producciones en zonas medias e intermedias de los valles, con suelos franco-arenosos y clima cálido, respecto de zonas bajas con suelos de textura fina y clima templado.

5. Conclusiones y consideraciones finales

En el estudio de zonificación climática del territorio de denominación de origen pisco se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La utilización del sistema de Clasificación Climática Multicriterio (CCM) permitió definir ocho grupos climáticos en la zona pisquera. Cinco de ellos poseen climas templados a cálidos y temperaturas nocturnas frías a muy frías durante el período de maduración de la uva. Estas son condiciones muy apropiadas para la acumulación de azúcares y de compuestos aromáticos en las bayas. Además, los cinco grupos presentan un índice de sequía fuerte, que obliga a un uso adecuado del riego. La superficie plantada con vides se localiza preferentemente dentro de estos grupos climáticos. Por otra parte, los tres grupos restantes se caracterizan por tener temperaturas diurnas y nocturnas frías a muy frías que favorecen los aromas pero perjudican la acumulación de azúcares. Debido a su cercanía con la costa (mayor humedad relativa), estos grupos tienen un índice de sequía moderada. Una escasa superficie plantada se ubica dentro de estos grupos.

No fue posible establecer otros grupos climáticos debido a la ausencia de estaciones meteorológicas en algunos sitios o porque los datos fueron incompletos. Sería recomendable para futuros estudios, incrementar la cantidad de sitios con estaciones meteorológicas, especialmente en el valle de Choapa y en localidades interiores de los valles de Huasco, Elqui y Limarí.

- Los resultados individuales de los tres índices climáticos mostraron una alta variabilidad para el índice heliotérmico (5 clases IH) y una baja variabilidad para los índices de sequía (2 clases IS) y de frío nocturno (2 clases IF). Así, el índice heliotérmico, que se relaciona con las temperaturas diurnas, juega un rol relevante en el comportamiento vitícola de las variedades pisqueras.
- El índice heliotérmico (IH) registró una alta variabilidad, con la presencia de clases de clima vitícola que clasifican como Muy frío (IH-3), Frío (IH-2), Templado (IH-1), Templado cálido (IH+1) y Cálido (IH+2). La distribución espacial de las clases mostró una clara discriminación en el sentido oeste-este, con el clima Muy frío en zonas cercanas a la costa (sin producción de vides pisqueras) y el clima Cálido en las zonas interiores de los valles. Entre ellos se localizan los climas Frío, Templado y Templado cálido.
- El índice de frío nocturno (IF), calculado como la temperatura media mínima del mes de marzo, clasifica el área de estudio dentro de las clases de clima de noches Muy frías (IF+2) y Frías (IF+1). A diferencia del índice heliotérmico, las clases de índice de frío nocturno no siguieron un patrón espacial definido. Las clases Muy frías y Frías se localizan tanto en la costa como en la zona interior de los valles.
- Los valores encontrados para el índice de sequía (IS) clasifican al territorio pisquero en las clases de Sequía fuerte (IS+2) y de Sequía moderada (IS+1), predominando la primera en los sectores medios e interiores de los valles. Las localidades con Sequía moderada se ubican en las zonas costeras que poseen mayores niveles de humedad del aire durante el ciclo de crecimiento de las vides.
- Para complementar la información obtenida mediante el sistema de Clasificación Climática Multicriterio, se determinaron otras variables meteorológicas como la radiación solar, las temperaturas superiores a 30°C y la humedad relativa. El nivel de radiación solar es mayor en las zonas interiores de los valles respecto de aquellas que se encuentran cercanas al mar. Asimismo, la

mayor frecuencia de días cálidos (con temperaturas superiores a 30°C) también ocurre en localidades del interior de los valles. Por otro lado, la humedad sigue un patrón espacial diferente, pues las zonas interiores muestran claramente una condición de humedad atmosférica muy inferior a aquellas de zonas más cercanas a la costa. Estas variables se relacionan muy bien con los índices del sistema Multicriterio. Los climas más calurosos (índice heliotérmico) y la mayor demanda hídrica atmosférica (índice de sequía) ocurren en las áreas interiores, las mismas que presentan mayor radiación solar, mayor frecuencia de días cálidos y menor humedad relativa.

- El trabajo de caracterización de los suelos determinó que para cada condición climática existe una gama de texturas de suelo que influencia la capacidad de retención de humedad. De este modo, se produce una relación clima-suelo-variedad que provocará una respuesta diferencial en vigor, producción y fecha de cosecha en las vides.
- El corto período de ejecución del proyecto impidió obtener información fina sobre la respuesta agronómica de la vid a la bioclimatología de la región. Con los elementos aportados en el presente estudio, tanto de clima como de suelo, es posible establecer futuras estrategias de investigación sobre la respuesta vitícola (cualitativa y cuantitativa) a las diversas condiciones edafoclimáticas que presenta el territorio pisquero.
- El clima vitícola es un elemento clave en la determinación de la tipicidad de vinos y destilados. El territorio pisquero posee un clima vitícola particular que debe ser utilizado como elemento valorizador de originalidad y tipicidad de los alcoholes producidos. Este clima particular se caracteriza, en general, por la presencia de temperaturas moderadas a altas que favorecen la acumulación de azúcares en las bayas, y por la ocurrencia de bajas temperaturas nocturnas durante el período de maduración que estimulan la formación de compuestos aromáticos.
- La viticultura de la zona pisquera se desarrolla en diferentes topoclimas (clima asociado a la topografía de un sitio específico), que pueden ser utilizados para diferenciar un producto en cuanto a características y tipicidad. Tal valorización deberá estar ligada a la selección de áreas que caractericen diferentes *terroirs* y complementada con la especialización del factor humano, la elección de variedades que expresen al máximo su potencialidad en los *terroirs*, la elección de sistemas de conducción y manejo de parrones y el uso de procesos específicos de vinificación y destilación.

6. Bibliografía consultada

- Agosín, E., A. Belancic, A. Ibacache, E. Bordeu y C. Bayonove. 1994. Efecto de la luminosidad e intensidad de carga sobre el potencial aromático de uva Moscatel Rosada y Moscatel de Alejandría. *Aconex* 46:5-9.
- Agosín, E., A. Belancic, A. Ibacache, E. Bordeu, J. Boursiquot y C. Bayonove. 1995. Potencial aromático de variedades moscatelizadas de *Vitis vinifera*. *Aconex* 48:19-24.
- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper nº 56.
- Amerine, M.A. and A.J. Winkler. 1944. Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia* 15(6): 493-673.
- Barticevic, M. y A. Lobato. 2002. Fenología y ciclo de crecimiento. p 87-90. En: J. Valenzuela (ed). Uva de mesa en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina. 338 p.
- Belancic, A., E. Agosin, A. Ibacache, E. Bordeu, R. Baumes, A. Razungles and C. Bayonove. 1997. Influence of sun exposure on the aromatic composition of chilean muscat grape cultivars Moscatel de Alejandria and Moscatel Rosada. *Am. J. Enol. Vitic.* 48(2):181-186.
- Bergqvist, J., N. Dokoozlian and N. Ebisuda. 2001. Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California. *Am. J. Enol. Vitic.* 52(1):1-7.
- Bois, B. 2004. Variabilité mesoclimatique à l'intérieur du département de la Gironde et son impact sur la culture de la vigne: application à un modèle de bilan hydrique. Thèse Master. Université Victor Segalen, Bordeaux 2. Bordeaux, Francia. 53p.
- Bois, B. 2007. Cartographie agroclimatique a meso-échelle : méthodologie et application à la variabilité spatiale du climat en Gironde viticole. Thèse Doctoral. Université Bordeaux I. 210 p.
- Bosque, J. y A. Moreno. 1994. Prácticas de análisis exploratorio y multivariante de datos. Oikos – Tau, Barcelona. 214 p.
- Buttrose, M. S., C.R. Hale and W. Kliewer. 1971. Effect of temperature on the composition of Cabernet Sauvignon berries. *Amer. J. Enol. Vitic.* 22:71-75.
- Calò, A.; D. Tomasi, M. Crespan and A. Costacurta. 1996. Relationship between environmental factors and the dynamics of growth and composition of the grapevine. *Acta Hort.* 427:217-232
- Carbonneau, A. 1994. Le zonage des potentialités viticoles á l'échelle de l'Union Européenne. *Le Progress Agricole et Viticole.* 111 (22): 505-514.
- Carbonneau, A., A. Deloire et B. Jaillard. 2007. La vigne: Physiologie, terroir, culture. Dunod, Paris. 442 p.
- Carrasco, J. 2008. Propiedades físicas del suelo y su relación con la productividad de frutales y vides. p. 13-47. En: J. Hirzel (ed). Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. Colección libros INIA N°24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu. Chillán, Chile.
- Cass, A. 2004. Effects of soil physical characteristics on mineral nutrient availability, movement and uptake. p.3-11. In: L.P. Christensen and D.R. Smart (eds). Proceedings of the soil environment and vine mineral nutrition symposium. American Society for Enology and Viticulture. San Diego, California.
- CIREN. 2005. Estudio Agrológico. Descripciones de Suelos, Materiales y Símbolos. IV Región.
- CIREN. 2007. Estudio agrológico Valle del Copiapó y Valle del Huasco. Publicación N°135-126 p.
- CIREN. 2007. Alternativas productivas frutícolas en la IV Región. Informe Final. 586 p.
- CIREN. 2007. Descripciones de Suelos, Materiales y Símbolos. Estudio Agroecológico Valle de Copiapó y Valle de Huasco.
- Colliber, D.G. 1991. Techniques of estimating incident solar radiation. In B. F. Parker (ed), Solar energy in agriculture, Elsevier, Amsterdam, pp. 1-66.

- Coombe, B. G. 1992. Research on development and ripening of the grape berry. *Amer. J. Enol. Vitic.* 43 (1) 101-110.
- Coombe, B.G. 2003. Grape phenology. p. 139-153. In: B.G. Coombe and P.R. Dry (eds). *Viticulture. Volumen 1 Resources.* Winetitles. Adelaide, Australia.
- Churrieco, E. 2008. *Teledetección ambiental.* Editorial Ariel. Barcelona, 594 p.
- Dokoozlian, N.K. and W.M. Kliewer. 1996. Influence of light on grape berry growth and composition varies during fruit development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121(5): 869-874.
- Ferrer, M. 2007. *Étude des régions viticoles de l'Uruguay, des variations climatiques et de l'interaction apportée par le microclimat et l'écophysologie des systèmes de conduite Espalier et Lyre sur Merlot.* Thèse Doctoral. École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. 384 p.
- Gómez, M. y J. Barredo. 2005. *Sistema de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio.* RA-MA Editorial, Madrid. 279 p.
- Huglin, P. 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *C.R. Acad. Agric.* 1117-1126.
- Huglin, P.; Schneider, C. 1998. *Biologie et écologie de la vigne.* Paris, Lavoisier. 370 p
- Ibacache, A. 2008. Cómo influye la temperatura sobre la época de cosecha en vides. *Tierra Adentro* 81:8-10.
- Ibacache, A. 2009. Factores ambientales que influyen en los racimos de vides. *Tierra Adentro* 84: 13-15.
- Ibacache, A. 2010. Producción de vino y su relación con variables climáticas. *Vendimia* 78:6-10.
- Israelsen, W.O., V.E. Jensen y G.E. Strinham. 1980. *Irrigation Principles and Practices.* John Wiley & Sons Inc; 4th edition. 430 p.
- Jackson, D.J. and P.B. Lombard. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality – A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 44(4): 409-430.
- Jackson, D.J. and M.B. Spurling. 2003. Climate and viticulture in Australia. p.91-106. In: B.G. Coombe and P.R. Dry (eds). *Viticulture. Volume 1 Resources.* Winetitles. Adelaide, Australia.
- Kliewer, W.M. and L. A. Lider. 1970. Effects of day temperature and light intensity on growth and composition of *Vitis vinifera* fruits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95(6):766-769.
- Kliewer, W.M. and R.E. Torres. 1972. Effect of controlled day and night temperatures on grape coloration. *Am. J. Enol. Vitic.* 23 (2): 71-77.
- Maestre, F. A. Escudero y A. Bonet. 2008. *Introducción al análisis espacial de datos en ecología y ciencias ambientales: métodos y aplicaciones.* Editorial DYKINSON, Madrid. 849 p.
- McCarthy, M., P. Dry, P. Hayes and D. Davidson. 2001. Soil management and frost control. p.148-177. In: B.G. Coombe and P.R. Dry (eds). *Viticulture. Volumen 2 Practices.* Winetitles. Adelaide, Australia.
- Montero, J. M. y B. Larraz. 2008. *Introducción a la geoestadística lineal.* NETBIBLO. España. 142 p.
- Montes, C., J. Pérez-Quezada, A. Peña-Neira and J. Tonietto. 2010. Climatic potential for growing grapevine in Central Chile. *Australian Journal of Grape and Wine research.* En revisión.
- Morales, L. y F. Canessa. 2006. Zonificación agrotopoclimática de la IV Región de Coquimbo. *Simiente* 76 (3-4):84.
- Morlat, R., C. Asselin, J. Pages, H. León, J. Robichet, M. Remoue, J. Salette et M. Caille. 1984. Le milieu viticole: sa caractérisation intégrée et son influence sur le vin (application au vignoble rouge du Val de Loire). *Bull. de l'OIV,* 643-644: 707-728.
- Mullins, M., A. Bouquet and L. Williams. 1992. *Biology of the grapevine.* Cambridge. University Press. 239 p.
- Northcote, K.H. 2003. Soils and Australian viticulture. p.61-90. In: B.G. Coombe and P.R. Dry (eds). *Viticulture. Volumen 1 Resources.* Winetitles. Adelaide, Australia.
- Pinilla, C. 1995. *Elementos de teledetección.* RA-MA Editorial, Madrid. 313 p.

- Pszczolkowski, Ph. y E. Bordeu. 1981. Antecedentes sobre la vitivinicultura de la zona pisquera. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. 159 p.
- Richards, D.1983. The grape root system. Horticultural Reviews 5:127-167.
- Riou, C. 1994. Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la Communauté Européenne. Agriculture series. Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, Luxembourg. 322 pp.
- Riou, Ch., N. Becker, V. Sotés, V. Gomez-Miguel, A. Carbonneau, M Panagiotou, A. Calo, A. Costacura, R. de Castro, A. Pinto, C. Lopes, L. Carneiro y P. Climaco. 1994. Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne. Office des publications Officielles des Communautés Européennes, Luxembourg, 322 pp.
- Ruiz, R., G. Sellés y R. Ahumada. 2007. Aspectos físicos del suelo y calidad de fruta en parronales de uva de mesa. p.77-84. En: I. Muñoz, M. González y G. Sellés (eds). Manejo de suelo y riego en vides para vino y mesa. Serie Actas N°39, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Santibáñez, F. 2005. Influencia del clima en la producción vitivinícola. Revista Enología, 6. 11-16.
- Saxton, K.E. y W.J. Rawls. 2004. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. Proc. , Soil Sci. Soc. Amer. International Conference, Seattle, WA Nov. 1-3, 2004.
- Saxton, K.E., P.H. Willey y W. J. Rawls. 2006. Field and Pond Hydrologic Analyses with the SPAW Model. Paper number 062108, 2006 ASAE Annual Meeting. Portland, Oregon.
- Saxton, K. E. and W. J. Rawls. 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1569-1578.
- Smart, R. and M. Robinson. 1991. Sunlight into wine. A handbook for winegrape canopy management. Winetitles. Adelaide, Australia. 88 p.
- 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: méthodologie de caractérisation. Thèse Doctoral. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. Montpellier, France. 233p.
- Tonietto, J. y A. Carbonneau. 1999. Análise mundial do clima das regiões vitícolas e de sua influência sobre a tipicidade dos vinhos: a posição da viticultura brasileira comparada a 100 regiões em 30 países. p 75-90. In: IX Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia. Bento Gonçalves, Brasil, 1999. Embrapa Uva e Vinho. Bento Gonçalves, Brasil.
- Tonietto, J. 2001. Valorização do ecossistema: importância da regionalização vitivinícola na produção de vinhos de qualidade. In: Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enologia, 8, 2001, Montevideo. Annales. Montevideo: Asociación de Enólogos del Uruguay, p.1-9.
- Tonietto, J and A. Carbonneau. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. Agric. For. Meteorol. 124 (2004) 81–97.
- Valenzuela, B. 1978. Efectos de la altitud y latitud en la calidad pisquera de cuatro cultivares de vid. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín Técnico N°11. 32 p.
- Vaudour, E. 2003. Les terroirs viticoles. Dunod, Paris. 294 p.
- Viney, M. 2005. Micrometeorology in agricultural systems. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Wisconsin, USA. 584 p.
- Wilks, D.S. 1995. Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction. International Geophysics Series, Vol. 59. Academic Press, USA. 464p.
- Winkler, A., J. Cook, W. Kliewer and Ll. Lider. 1974. General Viticulture. University of California Press. 710 p.

Anexo 1

Estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio de zonificación del territorio de denominación de origen pisco.

Estación	Nombre	IH	IS	IF	Latitud	Longitud	Estación	Nombre	IH	IS	IF	Latitud	Longitud
E-Pu	Puclaro	2154	200	9,4	- 30,025	-70,795	C-Lt	La Tranquilla	2294	-	10,8	- 31,900	-70,667
E-Do	Doca	1460	-46	13,6	- 30,000	-71,400	H-Jc	Santa Juana	2428	-	13,0	- 28,667	-70,650
E-Ro	Romeral	1670	-63	12,5	- 29,750	-71,250	L-Hu	Huamalata	2138	-	12,0	- 30,550	-71,120
E-Ru	G. Mistral	1634	-59	10,5	- 29,980	-71,070	H-Ph	Puerto Huasco	2008	-	13,2	- 28,474	-71,254
E-Pa	Pan de Azúcar	1741	-67	11,3	- 30,070	-71,230	H-Av	Aeródromo Vallenar	2010	-	12,5	- 28,593	-70,763
E-Vi	Vicuña	2415	- 171	9,2	- 30,030	-70,700	E-AI	Aeródromo La Florida	1405	-	12,9	- 29,900	-71,200
L-Ch	La Chumbera	2045	- 151	12,1	- 30,590	-71,140	L-At	Andacollo tenencia	1856	-	10,1	- 30,233	-71,083
L-Ca	Carretones	2609	- 204	11,5	- 30,740	-70,870	L-Mp	Monte Patria	2753	-	11,1	- 30,683	-70,950
L-Sr	Santa Rosa	2510	- 234	12,7	- 30,770	-70,930	L-Eag	Ovalle. Esc. Agric.	2086	-	11,5	- 30,583	-71,200
L-Lc	La Chimba	2027	- 174	10,0	- 30,640	-71,230	L-Co	Combarbalá Sendos	2647	-	11,6	- 31,183	-71,000
L-Lg	La Granja	2130	- 185	10,6	- 30,740	-71,330	L-Il	Illapel Sendos	2155	-	11,1	- 31,645	-71,191
L-Ma	Matilde II	2237	- 186	10,1	- 30,670	-71,120	L-Sa	Salamanca	2596	-	9,6	- 31,783	-70,967
L-Cm	Camarico	2031	- 171	9,1	- 30,690	-71,300	E-Jun	Juntas	2059	-	10,4	- 29,967	-70,083
H-Bo	Bodeguilla	1949	- 168	12,8	- 28,530	-70,980	E-Riv	Rivadavia	2555	-	11,8	- 29,967	-70,550
H-Im	Imperial	2436	- 116	12,0	- 28,620	-70,710	E-Lor	La Ortiga	2346	-	11,6	- 30,183	-70,467
H-Lo	Longomilla	1975	- 175	11,9	- 28,550	-70,890	E-Alm	Almendral	2082	-	13,0	- 29,967	-70,917
H-Ni	Nicolasa	1857	- 121	12,3	- 28,520	-71,030	H-Elt	El Trapiche	1939	-	13,1	- 29,367	-71,117
H-Ve	Ventana	1859	- 134	10,3	- 28,520	-70,860	E-lag	Laguna Embalse	1281	-	12,9	- 30,200	-70,033
E-Ft	Faro Pta. Tortuga	1343	-	13,7	- 29,933	-71,333	E-Pan	P. Azúcar DGA	1642	-	11,8	- 30,000	-71,250
C-Cj	Rhda. Corral Julio	1208	-	11,1	- 31,150	-71,617	L-Hur	Hurtado	2435	-	11,8	- 30,283	-70,683
I-Lc	Los Condores	1915	-	11,9	- 32,133	-71,300	L-Rec	Recoleta Embalse	2233	-	11,8	- 30,500	-71,083
E-Vc	Vicuña DMC	2410	-	10,1	- 30,033	-70,717	L-Ram	Las Ramadas	2245	-	11,8	- 31,017	-70,583
E-Cv	Com. Vicuña DMC	2365	-	10,2	- 30,017	-70,700	L-Car	Caren	2571	-	11,8	- 30,850	-70,767
L-At	Aer. Tuqui Ovalle	2228	-	10,7	- 30,550	-71,167	L-Cog	Cogoti Embalse	2312	-	11,8	- 31,000	-71,083
L-Od	Ovalle DMC	2093	-	10,2	- 30,600	-71,183	L-Elt	El Tomé	2718	-	11,8	- 30,817	-70,967
L-Pu	Puntilla San Juan	2482	-	10,9	- 30,683	-70,917	L-Pal	Paloma Embalse	2465	-	11,8	- 31,683	-71,033
L-Lc	La Cortadera	2142	-	9,6	- 30,267	-70,767	C-Sal	Salala DGA	1987	-	11,8	- 31,550	-70,833
L-Sa	Salala	1919	-	11,8	- 30,683	-71,517	C-III	Illapel DGA	2351	-	11,8	- 31,633	-71,183
C-Sv	Santa Virginia	2029	-	11,9	- 31,550	-70,850	H-Con	Conay	2635	-	11,8	- 28,950	-70,100
C-Ts	Salamanca	2431	-	8,1	- 31,767	-70,967	H-Fre	Freirina	1734	-	11,8	- 28,467	-71,183

Anexo 2

Evolución de GAP, acidez (%) y pH en variedad Moscatel Rosada en localidades del Valle de Elqui									
Fecha	Pisco Elqui			Vicuña			El Arrayán		
	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH
02/02	9,0	1,18	3,1	8,5	1,01	3,3	-	-	-
15/02	9,3	0,85	3,3	10,3	0,76	3,3	-	-	-
02/03	11,1	0,63	3,8	12,3	0,59	3,9	-	-	-
15/03	12,3	0,55	3,3	12,6	0,56	3,4	8,1	0,96	3,2
24/03	-	-	-	-	-	-	9,3	0,85	3,3
05/04	-	-	-	-	-	-	9,4	0,82	3,3
15/04	-	-	-	-	-	-	10,0	0,75	3,4
29/04	-	-	-	-	-	-	10,5	0,73	3,4

Evolución de GAP, acidez (%) y pH en variedad Pedro Jiménez en localidades del Valle de Elqui									
Fecha	Pisco Elqui			Vicuña			El Arrayán		
	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH
02/02	6,8	1,19	3,1	7,8	1,18	3,2	-	-	-
15/02	8,1	0,76	3,2	8,1	0,79	3,2	-	-	-
02/03	8,6	0,58	3,7	9,0	0,71	3,6	-	-	-
15/03	10,5	0,57	3,4	10,4	0,69	3,2	7,5	0,86	3,1
24/03	11,8	0,45	3,5	11,7	0,63	3,4	8,6	0,81	3,2
05/04	-	-	-	-	-	-	9,9	0,73	3,2
15/04	-	-	-	-	-	-	10,3	0,70	3,2
29/04	-	-	-	-	-	-	11,5	0,64	3,2

Evolución de GAP, acidez (%) y pH en variedad Moscatel de Alejandria en localidades del Valle de Elqui									
Fecha	Pisco Elqui			Vicuña					
	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH			
02/02	7,9	1,04	3,1	9,1	1,03	3,4			
15/02	8,4	0,85	3,1	10,5	0,76	3,4			
02/03	10,9	0,61	3,8	11,8	0,61	4,1			
15/03	12,2	0,59	3,3	13,3	0,59	4,1			

Evolución de GAP, acidez (%) y pH en variedad Moscatel de Austria en localidades del Valle de Elqui									
Fecha	Pisco Elqui			Vicuña					
	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH			
02/02	7,8	1,42	3	9,6	1,01	3,5			
15/02	8,6	0,91	3,3	10,9	0,84	3,3			
02/03	11,3	0,51	3,8	12,4	0,61	3,7			
15/03	12,6	0,48	3,4	14,0	0,57	3,4			

Evolución de GAP, acidez (%) y pH en variedad Moscatel Rosada en localidades del Valle de Limarí									
Fecha	Mialqui			Villaseca			Punitaqui		
	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH
11/02	11,0	0,78	3,4	8,0	1,02	3,3	-	-	-
17/02	11,7	0,56	3,5	8,5	0,87	3,2	-	-	-
24/02	12,3	0,51	3,9	9,4	0,68	3,3	-	-	-
03/03	12,8	0,51	3,8	9,8	0,64	3,3	11,3	0,54	3,5
17/03	-	-	-	11,1	0,63	3,4	11,3	0,60	3,7
24/03	-	-	-	11,7	0,62	3,5	13,0	0,59	3,6
15/04	-	-	-	12,8	0,58	3,4	-	-	-

Evolución de GAP, acidez (%) y pH en variedad Pedro Jiménez en localidades del Valle de Limarí									
Fecha	Mialqui			Villaseca			Punitaqui		
	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH
11/02	9,6	0,73	3,3	7,3	1,30	3,1	-	-	-
17/02	10,4	0,59	3,2	7,5	1,02	3,0	-	-	-
24/02	11,5	0,56	3,6	8,0	0,87	3,2	-	-	-
03/03	12,7	0,53	3,6	9,0	0,77	3,3	10,0	0,66	3,2
17/03	-	-	-	11,1	0,74	3,3	11,0	0,69	3,3
24/03	-	-	-	11,7	0,67	3,2	10,9	0,59	3,2
15/04	-	-	-	12,8	0,59	3,3	13,0	0,51	3,3

Evolución de GAP, acidez (%) y pH en variedad Moscatel de Austria en localidades del Valle de Limarí									
Fecha	Mialqui			Villaseca			Punitaqui		
	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH
11/02	11,0	0,73	3,5	7,3	1,24	3,1	-	-	-
17/02	11,9	0,54	3,6	8,0	1,01	3,1	-	-	-
24/02	12,4	0,51	3,8	8,5	0,80	3,3	-	-	-
03/03	13,3	0,50	3,9	9,3	0,73	3,4	11,1	0,54	3,4
17/03	-	-	-	11,9	0,67	3,5	12,6	0,62	3,4
24/03	-	-	-	-	-	-	12,7	0,51	3,4

Evolución de GAP, acidez (%) y pH en variedad Moscatel de Alejandria en localidades del Valle de Limarí									
Fecha	Mialqui			Sotaqui			Punitaqui		
	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH
11/02	10,40	0,70	3,7	-	-	-	-	-	-
17/02	10,50	0,59	3,5	6,5	1,58	3,0	-	-	-
24/02	11,80	0,53	3,8	6,8	1,27	3,3	-	-	-
03/03	12,60	0,51	3,9	8,0	1,05	3,3	9,9	0,79	3,4
17/03	-	-	-	9,9	0,85	3,3	11,1	0,67	3,5
24/03	-	-	-	9,9	0,78	3,3	13,0	0,66	3,4
15/04	-	-	-	11,8	0,60	3,4	-	-	-

Evolución de GAP, acidez (%) y pH en la localidad de Salamanca, Valle de Choapa												
Fecha	Moscatel Rosada			Pedro Jiménez			Moscatel de Alejandria			Moscatel de Austria		
	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH	GAP	Acidez	pH
10/03	9,6	0,71	3,5	11,4	0,64	3,4	10,1	0,66	3,3	12,6	0,52	3,4
24/03	11,1	0,71	3,4	12,4	0,58	3,3	12,2	0,54	3,5	-	-	-
15/04	12,4	0,47	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo 3

Series de Suelo consideradas en el Estudio de Zonificación Climática.

Región	Provincia	Código Serie	Serie de Suelo
Atacama	Huasco	BVT	Bellavista
		BEZ	Buena Esperanza
		CVN	Cavancha
		CQN	Chanchoquín
		CBL	Chañar Blanco
		FRN	Freirina
		HTM	Huantemé
		HSC	Huasco
		PNA	Paona
		TTR	Tatara
		VTN	Ventanas
Coquimbo	Choapa	CAA	Camisas
		CCM	Cuncumén
		CPN	Chillepín
		COA	Choapa
		ETA	El Tambo
		HTQ	Huentelauquén
		HTL	Huintil
		ILL	Illapel
		MIL	Millahue
		MNH	Mincha
		PRS	Perales
		PTC	Pintacura
		QEL	Quelén
		QLR	Quilimarí
		SRP	Santa Rosa de Choapa
		THU	Tahuinco
TLL	Tranquilla		
TUN	Tunca		

Series de Suelo consideradas en el Estudio de Zonificación Climática. (Continuación).

Región	Provincia	Código Serie	Serie de Suelo
Coquimbo	Elqui	ALZ	Alcohuaz
		ALF	Alfalfares
		ATV	Altovalsol
		BRL	Barrales
		CER	Cerrillos de Elqui
		CPI	Chapilca
		HES	Hacienda El Sauce
		CIA	La Compañía
		LTO	La Torta
		LPQ	Las Palmeras de Coquimbo
		LRO	Las Rojas
		MAQ	Marquesa
		PAR	Paranao
		PSQ	Pisco Elqui
		PCL	Puclaro
		PUX	Puxanta
		QDM	Quebrada de Martínez
		QCN	Quilacán
		SAN	Santa Anita
		TAB	Tambillo
	VCU	Vicuña	
	XRS	Xeres	
	Limarí	CRA	Cerrillos de Rapel
		CBA	Combarbalá
		HUM	Huamalata
		HTE	Huatulame
		SRN	Serón
		TQU	Tuquí

Superficie con estudios de suelo en las regiones de Atacama y Coquimbo.

Región	Provincia	Superficie (ha)	%
Atacama	Huasco	15.678	19,0%
Coquimbo	Elqui	16.959	20,5%
	Limarí	30.653	37,1%
	Choapa	19.264	23,3%
Total		82.554	100,0%

Superficie de suelo por clase textural en las regiones de Atacama y Coquimbo según estudios de suelo de CIREN.

Clases texturales	Superficie (ha)	%
Arcilloso (F)	1.808	2,2%
Areno francoso (G)	6.654	8,1%
Franco (M)	11.263	13,6%
Franco arcilloso (M)	29.864	36,2%
Franco arcilloso limoso (M)	4.838	5,9%
Franco arenoso (G)	27.272	33,0%
Franco limoso (M)	855	1,0%
Total	82.554	100,0%

Superficie de suelo por clase textural en las provincias de Huasco, Elqui, Limarí y Choapa, según estudios de suelo de CIREN.

Región	Provincia	Clases texturales	Superficie (ha)	%
Atacama	Huasco	Franco	1,517	9.7%
		Franco arcilloso	385	2.5%
		Franco arcilloso limoso	2,818	18.0%
		Franco arenoso	10,958	69.9%
		Sub Total	15,678	100.0%
Coquimbo	Elqui	Areno francoso	4,475	26.4%
		Franco	4,351	25.7%
		Franco arcilloso	1,351	8.0%
		Franco arcilloso limoso	2,020	11.9%
		Franco arenoso	4,146	24.4%
		Franco limoso	616	3.6%
		Sub Total	16,959	100.0%
	Limarí	Arcilloso	1,808	5.9%
		Areno francoso	2,179	7.1%
		Franco arcilloso	22,048	71.9%
		Franco arenoso	4,618	15.1%
		Sub Total	30,653	100.0%
	Choapa	Franco	5,395	28.0%
		Franco arcilloso	6,080	31.6%
		Franco arenoso	7,550	39.2%
		Franco limoso	239	1.2%
		Sub Total	19,264	100.0%

Superficies de suelo por tipo de textura en las regiones de Atacama y Coquimbo según estudios de suelo de CIREN.

Tipo de Textura	Clases texturales	Superficie (ha)	%
Gruesa (G)	Areno francoso	33.926	41,1%
	Franco arenoso		
Media (M)	Franco	46.820	56,7%
	Franco arcilloso		
	Franco arcilloso limoso		
	Franco limoso		
Fina (F)	Arcilloso	1,808	2.2%
Total		82.554	100,0%

Distribución de la superficie por rango de profundidad de suelo.

Rango Profundidad (m)	Superficie (ha)	%
< 0,6	2.818	3.4%
0,6 - 1,0	64.671	78.3%
> 1,0	15.065	18.2%
Total	82.554	100.0%

Distribución de la superficie por profundidad de suelo en las provincias de Huasco, Elqui, Limarí y Choapa, según estudios de suelo de CIREN.

Región	Provincia	Profundidad de suelo (m)	Superficie (ha)	%
Atacama	Huasco	< 0,60	2,818	18.0%
		0,6 - 1,0	11,619	74.1%
		> 1,0	1,241	7.9%
		Sub Total	15,678	100.0%
Coquimbo	Elqui	< 0,60	0	0.0%
		0,6 - 1,0	7,437	43.9%
		> 1,0	9,521	56.1%
		Sub Total	16,958	100.0%
	Limarí	< 0,60	0	0.0%
		0,6 - 1,0	28,845	94.1%
		> 1,0	1,808	5.9%
		Sub Total	30,653	100.0%
	Choapa	< 0,60	0	0.0%
		0,6 - 1,0	16,770	87.1%
		> 1,0	2,494	12.9%
		Sub Total	19,264	100.0%

Distribución del suelo de acuerdo a la capacidad de retención de humedad.

Humedad aprovechable (cm)	Total	%
0,0 – 3,9	16.688	20,2%
4,0 – 5,9	16.757	20,3%
6,0 – 10,9	42.222	51,1%
> 11,0	6.887	8,3%
Total	82.554	100,0%

Distribución del suelo de acuerdo a la capacidad de retención de humedad por provincia.

Región	Provincia	Humedad aprovechable (cm)	Superficie (ha)	%
Atacama	Huasco	0 - 3.9	2.859	18,2%
		4 - 5.9	6.675	42,6%
		6 - 10.9	5.072	32,4%
		> 11	1.072	6,8%
		Sub Total	15.678	100,0%
Coquimbo	Elqui	0 - 3.9	5.430	32,0%
		4 - 5.9	5.747	33,9%
		6 - 10.9	3.286	19,4%
		> 11	2.496	14,7%
		Sub Total	16.959	100,0%
	Limarí	0 - 3.9	4.659	15,2%
		4 - 5.9	7	0,0%
		6 - 10.9	25.987	84,8%
		> 11	0	0,0%
		Sub Total	30.653	100,0%
	Choapa	0 - 3.9	3.740	19,4%
		4 - 5.9	4.328	22,5%
		6 - 10.9	7.877	40,9%
		> 11	3.319	17,2%
		Sub Total	19.264	100,0%