

GUÍA METODOLÓGICA

Guía Metodológica para la Elaboración de Cartografía de Chile Continental, sobre el Estado Promedio del Clima e Índices Vitivinícolas, para la Evaluación de la Aptitud en el Periodo Actual y Futuro. |

i+D Consorcio
Vinos de Chile





La presente guía fue elaborada por el Centro de Cambio Global de la **Pontificia Universidad Católica de Chile** en conjunto con el **Consorcio I+D Vinos de Chile**, y busca ser una ayuda para el entendimiento de los procesos numéricos que llevan a construir los distintos productos cartográficos que el proyecto *“Zonificación Vitivinícola Chilena en Base a Antecedentes Climáticos y Geológicos (suelo) para Vinos Tranquilos y Espumosos”* entrega.

Esta iniciativa pretende ser una ayuda para la toma de decisiones en el rubro, al considerar la dinámica climática de los distintos valles vitícolas de nuestro país y otras zonas del territorio no enmarcadas en esta categoría.

Agradecimientos a *Francisco Meza, director del proyecto* y *Paulina Flores, coordinadora de proyectos del consorcio I+D vinos de Chile*. A la empresa **ADEVCOM**, quienes con su equipo desarrollador han hecho posible llevar a visualizaciones web interactivas los resultados del proyecto, lo que permite a los miembros del consorcio acceder a la información sin restricciones y con las garantías de hallar resultados útiles tanto para sus verificaciones en terreno como para las potenciales proyecciones futuras que posean.





CONTENIDOS

Contenidos	3
Introducción	2
A. Climatología	3
Parte 1	3
Antecedentes	3
Situación actual y estado del arte	4
Parte 2	6
Metodología	6
Recopilación de Información Meteorológica	7
Análisis y Relleno de Lagunas de Datos	8
Generación de Datos Climáticos en Grillas para el Periodo Actual	9
Covariables del Modelo	9
Modelo Matemático	9
Aplicación del Modelo	11
Cálculo de Índices Bioclimáticos	12
Proyección Climática e Índices en Escenarios Futuros de Cambio Climático	14
Proceso de Reducción de Escala (Downscaling)	16
Cálculo de Variables Climáticas a Futuro	17
Cálculo de Índices Bioclimáticos Futuros	18
Mapas de Aptitud General	19
Balance Hídrico General	20
B. Geología	21
2. Capas utilizadas en mapa Geológico-Vitivinícola de Chile	21
3. Tratamiento de cada una de las capas	21
3.1. Capa Geología	21
3.2 Fallas	22
3.3 Modelo Digital de Elevaciones (DEM) Nacional/Regional	22
3.4 Aspecto	23
3.5 Pendiente	23
3.7 Valles vitivinícolas	24
3.8 Tipos de Roca	24
3.9 Arcillas	25
3.10 Geología de Detalle 100K (Casablanca)	25
Bibliografía	26



INTRODUCCIÓN

Dentro del análisis comparativo entre valles vitivinícolas, sus tipos de vinos y sus niveles de productividad, se hace relevante no solo analizar el clima, sino que también como segundo punto relevante el suelo y su geología.

En esta sección se explica someramente, la geología presente en los diferentes valles vitivinícolas y cómo el efecto latitudinal y longitudinal de los valles y su morfología, condicionan algunas zonas haciéndolas más aptas para el cultivo de la vid.

Esta plataforma web, es una potente e innovadora herramienta, que une una serie de variables, para tener una visión espacial de potenciales sitios de interés para el cultivo de la vid, incorporando productos digitales cartográficos de punta como la geología, sensores remotos y el análisis 3D del terreno.

El objetivo principal de este documento es dar las especificaciones técnicas que debe tener cada una de las capas o coberturas que forman parte de la temática geológica de la plataforma web del Consorcio I+D Vinos de Chile, para ayudar a quien quiera cargar información de la misma naturaleza en dicha web.

Hay que recalcar que no es un manual de uso del sitio web.

La fuente de información utilizada es el Mapa Geológico escala 1:1.000.000 de SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería), las curvas de nivel de hojas de cartografía regular escala 1:50.000 del IGM (Instituto Geográfico Militar) e imágenes satelitales del sensor ASTER.

Por lo descrito anteriormente y lo específico del tratamiento de la información, es que se hace necesario tener formalizada esta Guía Metodológica; para darle un tratamiento e ingreso estandarizado a la data digital soportada en la plataforma. Dicha data será explicada capa por capa, con su correspondiente objetivo y la forma en que los usuarios las pueden manipular, tomando en cuenta un manejo básico de los tipos de archivos que aquí se mencionan.





A. CLIMATOLOGÍA

PARTE 1

La industria chilena del vino requiere actualmente mayor información científica para la toma de decisiones respecto de nuevas plantaciones o renovaciones del viñedo, elección de zonas y variedades adecuadas de modo de maximizar productividad y optimizar calidad, así como para la búsqueda de nuevas zonas de producción, en particular aquellas más frías y que no hayan sido exploradas, con el fin de expandir los límites de la superficie vitícola y diversificar la oferta de productos elaborados. Esta información permite robustecer la imagen e identidad de los vinos chilenos para enfrentar los competitivos mercados de exportación. Las mejoras en imagen y competitividad por un lado y la disminución de costos de producción debido a una viticultura zonificada permiten un aumento en la rentabilidad del negocio.

El proyecto que sostiene esta iniciativa tuvo por objetivo determinar y caracterizar climática y geológicamente (suelo) zonas vitivinícolas nacionales actuales y potenciales, considerando la dinámica del cambio climático y el comportamiento de algunos cepajes. El estudio de los componentes climáticos se llevará a cabo en base a información disponible, datos de estaciones meteorológicas y el procesamiento de estos datos. La combinación de esta información climática, la información geológica (suelos) y datos vitícolas productivos y cualitativos, permitirán el desarrollo de mapas de aptitud vitícola.

Como desafío, esta iniciativa busca ser una herramienta de constante actualización, ante la aparición de nuevos escenarios climáticos y de metodologías de cálculo, adaptando el producto final a las necesidades de la industria y a sus proyecciones en la búsqueda de encontrar zonas potencialmente productivas para establecer viñedos.

ANTECEDENTES

La competitividad de la industria nacional del vino depende de su capacidad por procurar alta productividad por hectárea, manteniendo una alta calidad de los vinos y una diversa oferta de productos. Este potencial cualitativo del vino se forja inicial y fundamentalmente en el viñedo (Jackson y Lombard, 1993), dependiendo de factores ambientales (clima, suelo), factores genéticos o del material vegetal (variedad, clon) y factores de intervención humana o del manejo vitícola. Si las prácticas enológicas en bodega y el transporte hasta lugar de consumo se realizan de acuerdo a técnicas adecuadas, este potencial cualitativo podrá aspirar a mantener dicho potencial cualitativo.

De acuerdo a información del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), durante los últimos años, la tasa de crecimiento de la superficie del viñedo nacional ha mostrado un incremento anual promedio de aproximadamente 1.800 hectáreas. Esta información nos permite estimar que para el año 2020, se requerirá haber plantado alrededor de 14.400 nuevas hectáreas. De forma adicional, se debe considerar la necesidad de renovar el viñedo: existe una proporción considerable de la superficie nacional que correspondería a viñedos enfermos que entregan baja productividad y calidad de uvas y otra cantidad de hectáreas que corresponderían a viñas que se han localizado bajo condiciones edafoclimáticas no acordes al cepaje plantado. También es preocupante que alrededor de un 60% de la producción de vinos con denominación de origen (DO) sean concentrados sólo por tres cepajes. La diversificación de los cepajes plantados debe considerar una visión estratégica de la demanda mundial por nuevos estilos de productos, dentro de los cuales se podría considerar hoy, por ejemplo, la producción de cepajes blancos aromáticos y vinos espumosos. La toma de decisión de nuevas plantaciones y renovaciones del viñedo nacional deben fundamentarse en estudios científicos que permitan optimizar la localización del material vegetal en aquellas zonas que permitan productividad y calidad y finalmente una disminución del riesgo de estas futuras inversiones. Para ello, es fundamental contar con información ambiental de base que represente la heterogeneidad espacial de suelos y clima y la variabilidad temporal del clima, particularmente atendiendo a que existe evidencia suficiente que permite anticipar un cambio climático en las próximas décadas.



Es por esto, que la presente iniciativa responde a la necesidad de la industria del vino de contar con información fidedigna para la toma de decisiones de nuevas plantaciones, renovaciones y reestructuraciones de viñedos, en particular en lo que se refiere a la elección de zonas y variedades adecuadas, así como la elección de sistemas de conducción adecuados y prácticas de manejo vitivinícola, como el manejo del follaje y otros, para obtener una diversidad de vinos de alta calidad e identidad que maximicen el potencial que el ambiente les ofrece y que se adapten a las fluctuaciones venideras. Con respecto al vino espumoso se requiere información científica que permita determinar las mejores localidades para su producción y las variedades más apropiadas a cada condición edafoclimática.

Todo lo anterior tiene como base de que es posible que los índices bioclimáticos y las características geológicas permiten discriminar zonas vitícolas actuales y potenciales de Chile y se relacionan con el rendimiento y el potencial de maduración de las uvas. De similar forma, estos factores y su interacción con la variedad de vid, determinan el potencial enológico de las uvas y la calidad del vino base para espumante.

SITUACIÓN ACTUAL Y ESTADO DEL ARTE

La calidad de un vino depende de factores naturales y de intervención humana (Tonietto y Carbonneau, 2000; Morlat, 1997). De los primeros, el clima, el suelo, la genética vegetal y sus interacciones son fundamentales. De los factores de clima, la temperatura y las precipitaciones son los más relevantes, influenciando la fenología de la vid, su rendimiento y la calidad del vino (Santos et al. 2012). Definido el territorio, se puede hacer una caracterización, cuantificación y valorización de los recursos disponibles, de modo de maximizar y optimizar su uso a través del tiempo. La unidad natural de territorio claramente identificable es la cuenca hidrográfica, definida en la práctica por la caída de aguas a un cauce común (Gastó et al., 2002). El agua también juega un rol como agente modificador del clima y del suelo. Sobre el primero, a través de procesos de termorregulación, evaporación y condensación. Mientras que en el segundo caso, los procesos de erosión y sedimentación definen la conformación del terreno.

La zonificación es una estrategia para estudiar y valorar las potencialidades de un sitio vitivinícola, lo cual se logra a través de una aproximación multidisciplinaria sobre el medio natural, con el fin de escoger el ecosistema vitícola óptimo (Falcetti, 1994). También permite definir los lugares más adecuados para realizar nuevas plantaciones, o bien, optimizar algunos aspectos del comportamiento de la vid, generalmente en términos de un rendimiento proyectado, calidad del vino o costos de producción (Smart, 1988). La variabilidad espacial y temporal a gran escala de ciertos componentes del territorio, la multiplicidad de variables, y la complejidad de la cadena de factores que determinan la calidad y tipicidad de los vinos, exige ajustar los criterios relativos a definir la escala y la metodología de caracterización y zonificación (Riou et al., 1995).

En 1947 la Oficina Internacional de la Viña y el Vino (OIV) definió la reglamentación para el sistema de Apelación de Origen Controlada (AOC) del vino, otorgándole un carácter cualitativo, ligado a los siguientes factores (Falcetti, 1994): (1) factores naturales: clima, naturaleza del suelo, exposición y cepaje, con un rol fundamental y; (2) factores de intervención humana: métodos de cultivo y vinificación, con un rol secundario.

Diversos autores han presentado distintas definiciones para el concepto de "terroir" (Morlat, 2010). La complejidad de este concepto, viene del



hecho que involucra las plantas, su medioambiente físico y sus interacciones (Van Leeuwen et. al., 2010). El "terroir" tiene una dimensión geográfica, varía en el espacio y por tanto afecta la calidad del vino, su estilo y su valoración. La zonificación es requerida para comprender la conexión entre el "terroir" y los vinos allí producidos. Las nociones de "terroir" y zonificación vitícola han sido la base de variados sistemas de indicación geográfica, incluyendo la denominación de origen (D.O.) de Chile (Hormazabal, 2003).

Se han realizado trabajos destinados a precisar el concepto de "terroir" desde un punto de vista científico, contrastando la información biofísica del terreno con las características de los vinos producidos (Morlat, 1997; Vaudour, 1998). Riou et al. (1995) desarrollaron una metodología de caracterización integral de terruños, que se apoya sobre la Unidad Natural de "terroir" de Base (UNTB), considerada como "la más pequeña unidad espacial del territorio, utilizada en la práctica, y en que la respuesta de la viña es homogénea". Un terruño vitivinícola puede, a la vez, estar compuesto por diferentes UNTB, lo que se comprueba en los resultados del producto final. Laville (1993) define la Unidad de Terruño Natural como el volumen de la biosfera terrestre caracterizado por un grupo específico de valores estables de relieve, clima, subsuelo y suelo.

El "terroir" puede entenderse considerando los seis factores que lo comprenden: clima, altitud, pendiente, exposición solar, naturaleza del suelo y situación topográfica (Gayda y Castán, 1996). O visto de otro modo, los elementos del medio natural que lo constituyen son el mesoclima y el suelo, ambos en interacción (Carbonneau, 1996). Incluso, características como el color del suelo, pueden tener valor por el poder reflectivo de la luz solar, y su influencia sobre la composición fenólica de la uva y el vino, y también sobre el complejo aromático de éste (Boulet et al., 1996). Del mismo modo, la geología, el drenaje y la composición mineralógica dan propiedades únicas irrepetibles y donde la viña responde de forma particular a través del vino.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías y conocimientos de fisiología de la vid es posible modificar la disponibilidad hídrica del suelo, potenciando las condiciones naturales del "terroir" para la producción de vinos (Seguin, 1983; Koundouras et al., 1999; Deloire et al., 2004). Así, gran parte de las regiones vitícolas del mundo, están utilizando el riego como una herramienta fundamental para la expresión del "terroir" en los vinos de calidad excepcional (Sotés y Gomez, 2003).

Las cualidades de las uvas y vinos de un terroir particular, determinarán su potencial y aptitud para la elaboración de productos particulares. En el particular caso de los vinos espumantes, los productores buscan en las uvas, aspectos cualitativos distintos de los deseados en vinos tranquilos. Entre estos aspectos destacan una mayor acidez, mayores rendimientos (Bernard 1986). En el caso de la variedad Chardonnay no son deseables aromas tipo moscatel (Bernard 1995) y en el caso de la variedad Pinot noir se aceptan menores contenidos de antocianinas y taninos (Barillere et al., 1995, Pool et al., 1995).

El clima es una parte integral del "terroir" vitícola y, tal vez, uno de los componentes que le imprimen dinamismo y riqueza fruto de su variabilidad natural. Esta variabilidad puede apreciarse a distintos niveles, desde el patrón diurno-nocturno, la transición entre estaciones, la variabilidad interanual e incluso interdecadal. Recientemente ha emergido la posibilidad de modificaciones en los parámetros esenciales de la atmósfera en escala de siglos (cambio climático) ampliando la perspectiva de variabilidad climática y las posibles interacciones con el terroir vitícola.

En Chile, se han realizado estudios que cuantifican el impacto del cambio climático a nivel local sobre la base de escenarios de emisiones y en función de los resultados del modelo HadCM3 (CONAMA-DGF, 2007; CEPAL, 2009). Los resultados indican que, para fin de siglo, ambos escenarios pronostican aumentos de temperatura en todo el país incluyendo la zona del extremo austral, pero en el A2 se muestran los aumentos mayores en torno a los 3-4°C, en comparación al aumento de 2-3°C para B2. Con respecto a las proyecciones de precipitación, ambos escenarios proyectan de manera similar aumentos de precipitación en el extremo austral y el altiplano, y un mismo rango de zonas con descenso de precipitación (nuevamente, entre Antofagasta y Los Lagos), pero el A2 nuevamente muestra los descensos más pronunciados para esta última zona, con valores entre -30 y -40 %.

En este escenario de cambio climático que se revelaría en menos de un siglo, cabe preguntarse sobre la evolución de las zonas vitícolas, cambios en las características de Terroir y la adaptación varietal. Puesto que en muchos casos el horizonte de planificación de la actividad vitícola coincide con la escala de cambio climático, incorporar información de proyecciones en la zonificación es de carácter estratégico.



PARTE 2

METODOLOGÍA

Modelos Topoclimáticos y Métodos de Interpolación

Las variables de temperatura y precipitación son la información climática más importante y comúnmente utilizada para describir los factores ambientales que influyen en fenómenos de carácter agrícola, forestal y de los recursos naturales en general. Ambas son de fácil medición lo cual ha permitido tener un registro histórico de los datos en estaciones meteorológicas de gran antigüedad, aunque es en la actualidad cuando se dispone de un mayor acceso a la información entregada por los sensores digitales de estaciones meteorológicas automáticas y las plataformas de descarga de datos e imágenes satelitales desde la web (Dobesch, Dumolard, y Dyras, 2007).

Si bien la extensión temporal de los datos se encuentra bien cubierta, con sensores midiendo temperaturas horarias e incluso a intervalos de minutos y segundos, la extensión espacial de los datos medidos aún es un tema no resuelto. Las mediciones dadas por las estaciones meteorológicas son de carácter puntual en el espacio y no se encuentran distribuidas de forma homogénea en el territorio, obviándose las zonas de difícil acceso, aquellas con menor interés productivo y grandes áreas desiertas, y concentrándose en zonas urbanas, agrícolas y productivas (Li y Heap, 2011).

Los métodos de interpolación espacial aparecen como una herramienta útil y de uso extendido para el modelamiento y predicción de valores no muestreados en base a información puntual, permitiendo estimar estos valores a partir de una relación matemática que describe la variación de los datos medidos. Las técnicas de interpolación más conocidas, actúan en base a la distancia entre los puntos muestreados y los que se quieren estimar (Burroughy McDonnell, 1998) y pese a que estos métodos generan resultados aceptables, actúan bajo el supuesto de que la distancia que separa los puntos tiene una influencia completa en las zonas en donde no existe información. No consideran, por lo tanto, el efecto de la geografía, topología y otras variables ambientales y climáticas que pudiesen influir en la estimación.

Por su parte, los modelos topoclimáticos utilizan aquellas variables que los modelos anteriormente descritos no consideran, buscando una relación lineal entre los puntos que contienen el atributo a modelar y dichas covariables, las cuales actúan como

predictores (Ninyerola, Pons, y Roure, 2000). No obstante, se necesita una gran cantidad de puntos de base dependiendo de las dimensiones del área de estudio y un grupo de variables accesorias que posean una influencia sobre las variables a estimar.

Para la estimación de temperaturas y precipitación, las covariables más utilizadas son la altura, la latitud, la longitud y la distancia a los cursos de agua o continentalidad (Díaz y Morales, 2010; Ninyerola, Pons, y Roure, 2007; Ninyerola et al., 2000; Santibáñez y Morales, 1997) aunque también se ha evaluado el uso de otras como el Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI), la radiación solar y algunos productos derivados del modelo de elevación digital del terreno (DEM) como las pendientes y la orientación (Alvarez, Guo, Klinger, Li, y Doherty, 2014).



RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

Para la construcción de la base de datos climática, se consideraron datos de temperatura mínima (Tn), temperatura máxima (Tx) y montos de precipitación acumulada (Pp) a nivel diario en estaciones meteorológicas y pluviométricas para todo el país, obteniéndose un total de 1.243 estaciones para todo Chile y 1.022 estaciones para la zona de estudio actual delimitada.

La información meteorológica fue recolectada a partir de siete fuentes de información:

1. Dirección General de Aguas (DGA)
2. Dirección Meteorológica de Chile (DMC)
3. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA/AGROMET)
4. Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA)
5. Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA)
6. Red de Estaciones Meteorológicas de la Industria del Vino (METEOVID)
7. Fundación para el Desarrollo Frutícola a través de su portal Agroclima.

Para cada estación, se obtuvo desde la página web de la fuente los datos la ubicación en coordenadas (LAT-LON) expresadas en grados decimales y su altura, así como también, la altura de medición, la fuente de la información y las variables medidas.

Para las estaciones cuya información se obtuvo en coordenadas UTM, estas fueron transformadas.

Al observar el periodo con registros disponibles, las redes de estaciones DMC y DGA, son las más extensas. El resto cuenta con menos de 10 años de registros en todas sus estaciones, incluso algunas estaciones han comenzado sus registros dentro del último año.

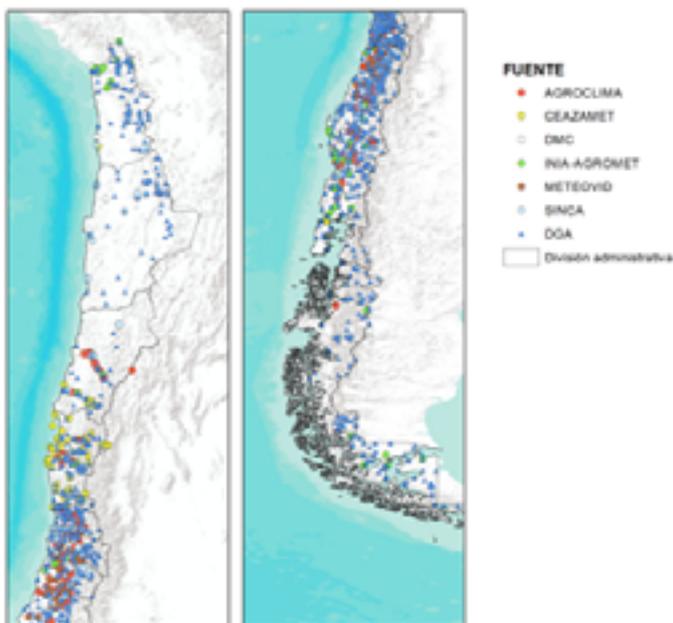


Figura 1. Distribución espacial de las estaciones de las principales redes con datos meteorológicos de Chile.



ANÁLISIS Y RELLENO DE LAGUNAS DE DATOS

Para la identificación rápida de lagunas en los registros, estos fueron agregados a nivel mensual, considerando aquellos meses con más de 20 días de registros como un mes completo.

El análisis arrojó que los años con mayor cantidad de información agrupada para cada uno de los meses del año y teniendo representatividad espacial en toda la zona de estudio fueron 2011, 2012 y 2013. La información meteorológica es complementada con una base de datos espaciales que abarca el periodo 2003-2013.

Con el propósito de completar las lagunas de información meteorológica y dada la heterogeneidad de los registros, tanto en inicio como término y de la información y su cantidad de datos, es que se realizó un procedimiento de relleno de datos que considera el efecto ponderado de la proximidad de estaciones vecinas y que además estas posean información para el periodo de relleno requerido. Para esto en cada estación candidata se seleccionaron aquellas estaciones en un radio de 50 kilómetros (Figura 2) las cuales tuviesen información en el periodo en que no existe información para la variable respectiva. La serie de tiempo para rellenar registros actuales, debe tener al menos un año completo con información disponible para temperaturas, en el caso de las precipitaciones el periodo debe ser al menos de 5 años de registros completos.

A diferencia del modelo de regresión lineal, este método estima el valor deseado solo utilizando datos en un momento único y común del tiempo compartido con el resto de las estaciones que sí tienen información, de modo que el resultado solo captura el efecto espacial que tienen las estaciones sobre sí mismas y sus vecinas, mientras que la regresión lineal toma en cuenta el efecto de la tendencia temporal ya que se calibra con una serie de datos en el tiempo que se espera sigan un patrón similar con la estación candidata.

La serie temporal generada es validada mediante el procedimiento de Validación Cruzada, el cual realiza el modelo sin uno de los datos para estimar su valor. Esto se realiza tantas veces como datos existan y se contrasta las estimaciones con el valor dejado fuera con el objetivo de hallar un ajuste correcto.



Figura 2. Ejemplo de buffer de 50 Km a aplicar a estación meteorológica candidata de ser rellenada. Aquellas estaciones meteorológicas que quedan dentro del perímetro del buffer son utilizadas en el modelo de relleno de datos.



GENERACIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS EN GRILLAS PARA EL PERIODO ACTUAL

COVARIABLES DEL MODELO

Dado que el sensor MODIS opera con información engrillada a 1 km de escala y a una frecuencia temporal de 8 y 30 días dependiendo de la variable, se decidió utilizar esta información para la confección de una biblioteca de imágenes de 3 variables procesadas que este sensor entrega: Temperatura Superficial, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, el cual es una representación del vigor vegetacional de una determinada zona, de modo que tiene una relación directa con la temperatura y el contenido de agua existente) y el Índice de Vegetación Mejorado (EVI, el cual tiene similitudes matemáticas con el NDVI pero incluye el efecto de las reflectividades en el rango del color azul para identificar variaciones estructurales de la canopia así como el índice de área foliar).

Esta considerable base de datos visual fue complementada con la descarga de 12 imágenes de radiación global horizontal generadas por el departamento de biofísica de la Universidad de Chile a partir de un modelo de transferencia radiativa. Por último, se obtuvieron imágenes (segmentadas por región) de velocidad media del viento generadas también por el departamento de geofísica de la Universidad de Chile a partir de simulaciones. Ambos sets de imágenes se encuentran a resolución espacial de 1 km.

El resto de las imágenes descargadas corresponde a variables asociadas a variables topográficas como la elevación sobre el nivel del mar, pendiente, entre otros o de distancia como la latitud o longitud.

MODELO MATEMÁTICO

En total, se utilizaron 14 covariables espaciales como predictores que ingresan como valores en su unidad respectiva a modelos lineales mixtos optimizados a partir de regresiones por pasos (stepwise) mediante el método backward. Estas covariables están clasificadas en cinco grupos especificados en la Tabla 3.

Los grupos 1 a 4 contienen las covariables que actúan como predictores en los modelos, mientras que las del grupo 5 son utilizadas para ver los efectos locales (sumar o restar valores de temperatura (°C) o precipitación (mm) dependiendo del valor de la

celda) en los sitios delimitados por cada clase de efecto local. En este sentido, la variable "Uso de Suelo" contiene 11 clases entregadas por el algoritmo "MODIS-derived LAI/fPAR scheme", del sensor MODIS-Terra (Tabla 4). Para el caso de las clases de uso de suelo, la información es de tipo discreto y se conserva la clasificación entregada por el algoritmo MODIS (Tabla 4).

Tabla 4. Clase de uso de suelo algoritmo MODIS-derived LAI/fPAR scheme

Número de Clase	Nombre de Clase
0	Agua
1	Praderas/Cereales
2	Matorrales
3	Cultivos anuales (hoja ancha)
4	Espinal
5	Bosque siempre verde de hoja ancha
6	Bosque decido de hoja ancha
7	Bosque siempre verde coníferas
8	Bosque decido coníferas
9	Suelo desnudo
10	Urbano

Para el caso de las temperaturas, se genera para cada mes un modelo a partir de las covariables diferenciadas por los mapas de efectos locales representando el modelo mixto dado por clases de uso de suelo.

En cuanto a las precipitaciones se considera un modelo con un efecto total de las covariables (sin efectos locales) y un modelo según el efecto local de las clases de uso de suelo, estos dos productos también ingresan a una optimización que devuelve el modelo que produce el menor error medio cuadrático de las estimaciones (Figura 6).



Grupo de variables	Nombre de la variable	Tipo	Abr.	Fuente	Descripción y vínculo web
1.- Topográficas	Modelo de elevación digital	Raster	DEM	Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)	DEM proveniente del sensor SRTM con resolución de pixel de 90m. https://lpdaac.usgs.gov/products/measures_products_table/srtmgl30
	Pendientes	Raster	PTE	Derivación SRTM en ArcMap	Generado a partir del DEM, cada celda representa tasa máxima de cambio respecto de las celdas vecinas, expresado en grados.
	Orientación	Raster	ASP	Derivación SRTM en ArcMap	Generado a partir del DEM, identifica la dirección de la pendiente descendente desde cada celda hacia sus vecinas. Se mide en grados siendo 0° el norte, 90° el este, 180° el sur, etc.
2.- De distancia	Latitud	Raster	LAT	Derivación SRTM en ArcMap	Identifica la latitud en el sistema WGS84 a la que corresponde el centro de cada celda.
	Longitud	Raster	LON	Derivación SRTM en ArcMap	Identifica la longitud en el sistema WGS84 a la que corresponde el centro de cada celda.
	Distancia a la costa	Raster	DCOS	Derivación SRTM en ArcMap	Cada celda representa la distancia en metros más corta desde el centro de cada celda hacia la línea de borde costero más cercana.
	Distancia a cuerpos de agua	Raster	DCA	Explorador de energía solar	Cada celda representa la distancia en metros más corta desde el centro de cada celda hacia la línea del borde de río, lago o laguna más cercana.
3.- Climáticas	Radiación Global	Raster	RAD	Explorador de energía solar	Estimación de la radiación solar incidente (W/m ²) a partir de un modelo de transferencia radiativa (CLIRAD-SW) en cielo despejado. http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar2/
	Velocidad del Viento	Raster	VTO	Explorador de energía eólica	Estimación de la velocidad del viento (m/s) a 95 metros del atura a partir del modelo WRF (Weather Research and Forecasting) http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/
	Temperatura superficial	Raster	TS	MODIS (MOD11A2)	Imagen satelital de la temperatura superficial tomada por el sensor MODIS a intervalo de 8 días, y agrupado de forma mensual. https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/mod11a2
4.- Vegetación	NDVI	Raster	NDVI	MODIS (MYD13A3)	Imagen satelital de los índices de vegetación de diferencia normalizada e índice de vegetación mejorado obtenido a partir de imágenes del sensor MODIS a intervalo de 8 días, y agrupado de forma mensual. https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/myd13a3
	EVI	Raster	EVI		
5.- Efectos locales	Uso de Suelo	Raster	LCT	MODIS (MCD12Q1) Tipo 3	Imagen de uso de suelo proporcionada por el sensor MODIS para el modelo tipo 3: LAI/fPAR que considera la clasificación en base a características de la vegetación.



APLICACIÓN DEL MODELO

Por medio de álgebra de mapas se realiza la aplicación del modelo obtenido sobre las imágenes. Cada covariable se encuentra asociada a un coeficiente en particular que da cuenta de su peso en influencia sobre la variable a interpolar. Además, existe un coeficiente asociado a cada clase de uso de suelo el cual suma o resta al resultado obtenido para la mezcla de covariables, de forma de ajustar mejor el resultado a nivel espacial.

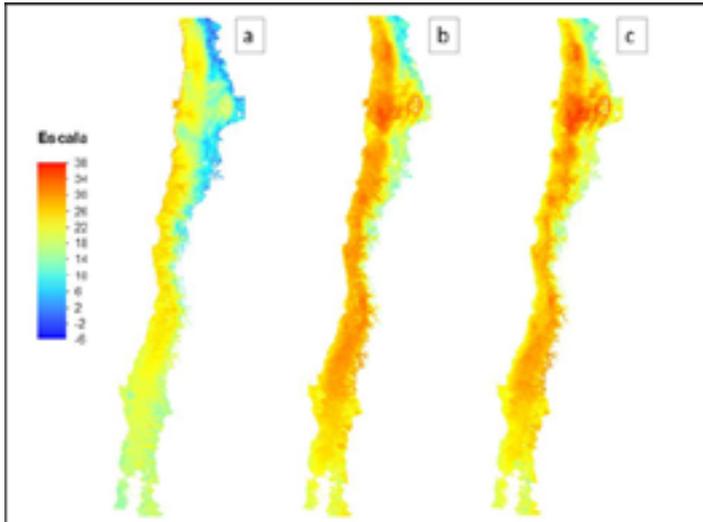


Figura 5. Mapas topoclimáticos: a) Temperatura mínima, b) Temperatura máxima, c) Temperatura Media.

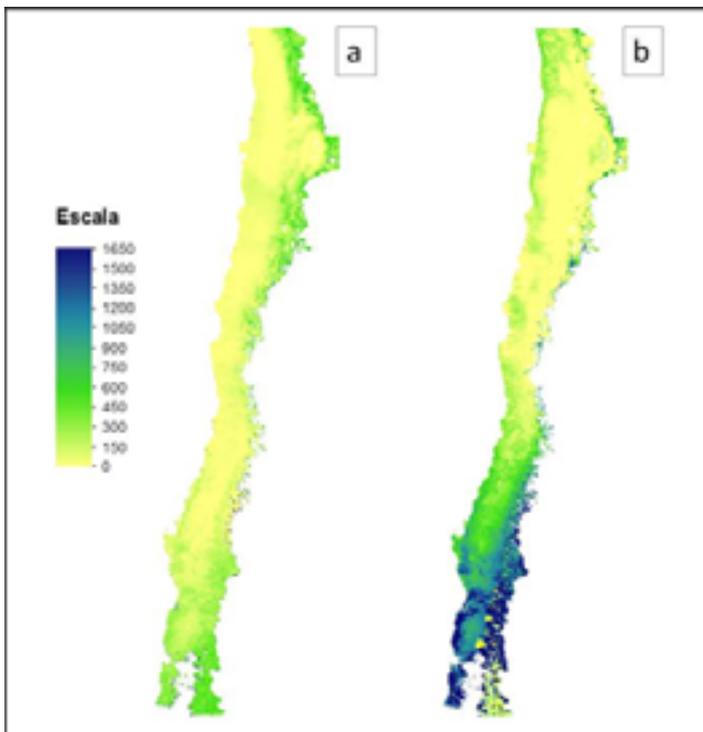


Figura 6. Mapas topoclimáticos: a) Precipitación media mensual enero, b) Precipitación media mensual agosto.

Los mapas obtenidos para precipitación y temperatura fueron sometidos a una validación por expertos los cuales evaluaron la correspondencia espacial de los mapas, centrándose en los principales valles vitivinícolas. Para el caso de las temperaturas, los mapas se condicen bien con la realidad para los meses de verano e invierno, representando de buena forma el patrón altitudinal, las islas de calor en ciudades y la disminución de las temperaturas por efecto del mar.

Pese a la estimación mensual de precipitaciones, se encuentra que existe una mayor representatividad de información espacial al agrupar los valores de forma anual, dado que se evitan saltos abruptos en la estimación de montos en zonas muy cercanas o en aquellas en que, por efecto de la temperatura, debiese existir un clima similar.

Finalmente, luego de la aplicación del modelo, se obtuvo 25 mapas: 12 correspondientes a las temperaturas mínimas para cada mes, 12 para temperaturas máximas y un mapa que representa la precipitación anual para la zona de estudio.



CÁLCULO DE ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS

Dentro de la viticultura, existen distintos índices bioclimáticos que presentan diversa utilidad, ya sea para saber estado de envero u otro estado fenológico de importancia en el desarrollo de la uva para vino. Dentro de estos índices algunos destacan por su simplicidad de estimación o por la amplitud con que son conocidos. Actualmente, dentro de la literatura científica, ya existen estudios sobre la transformación de las actuales zonas vitícolas bajo los efectos asociados al cambio climático (cambios en patrones de temperaturas y precipitaciones), lo que han tenido en común estos estudios ha sido el uso de un conjunto de índices bioclimáticos, que permiten ser calculados con bajos niveles de incertidumbre, tanto para la situación actual como para escenarios de cambio climático, y bajo el supuesto crítico de que el periodo de desarrollo de la vid se encontrará comprendido dentro del mismo periodo que en la actualidad.

Como principal criterio se seleccionaron aquellos índices que pudieran ser calculados mediante las imágenes ráster obtenidas, y/o que permitan su aplicación tanto en escenarios actuales como en escenarios de cambio climático. Y si bien el uso de índices de tipo térmico (Winkler, entre otros) poseen limitaciones, constituyen una herramienta de diferenciación entre diferentes zonas a falta de información más detallada (Jones and Davis, 2000; OIV, 2012). Un ejemplo de los resultados obtenidos para índices térmicos se presenta en las Figuras 7 y 8. Los índices obtenidos fueron sometidos a la validación mediante la opinión de expertos ligados al vino y clima. Una vez verificado que los índices poseen una correspondencia con la realidad en el territorio nacional, se procedió a realizar la proyección de estos a futuro bajo escenarios de cambio climático.



Tabla 3. Listado de índices bioclimáticos aplicados dentro del estudio

Índice	Fórmula de Estimación	Variables	Valores de Referencia	Usado por:														
Precipitación anual	Precipitación anual acumulada.	01 Enero – 31 Diciembre		(Bois et al., 2008; Hannah et al., 2013; Santibañez, 1989)														
Índice de Winkler ó Suma de días grado ó Sumas térmicas efectivas	$\sum_{d=1}^n \left[\frac{(T_{max} + T_{min})}{2} - 10 \right] > 0$	01 Octubre – 30 Abril (Unidad °C, se suman solo los valores sobre 0) Donde: Tmed : Temperatura media Tmax : Temperatura máxima	Demasiado frío < 850 Zona I : 850 – 1389 Zona II: 1389-1667 Zona III: 1667-1944 Zona IV: 1944-2222 Zona V : 2222-2700 Demasiado caliente > 2700 <i>*El valor más bajo con idoneidad vitícola es de 850 unidades de calor.</i>	(Amerine and Winkler, 1944; Bois et al., 2008; Fraga et al., 2015; Hall and Jones, 2010; Hannah et al., 2013; Santibañez, 1989)														
Índice Heliothermal ó Índice de Huglin	$\sum_{d=1}^n \max \left[\frac{(T_{med}-10) + (T_{max}-10)}{2} \times d \right] > 0$ <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>LAT</th> <th>Valor d</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 40°</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>40°01' - 42°00'</td> <td>1.02</td> </tr> <tr> <td>42°01' - 44°00'</td> <td>1.03</td> </tr> <tr> <td>44°01' - 46°00'</td> <td>1.04</td> </tr> <tr> <td>46°01' - 48°00'</td> <td>1.05</td> </tr> <tr> <td>48°01' - 50°00'</td> <td>1.06</td> </tr> </tbody> </table>	LAT	Valor d	≤ 40°	1.00	40°01' - 42°00'	1.02	42°01' - 44°00'	1.03	44°01' - 46°00'	1.04	46°01' - 48°00'	1.05	48°01' - 50°00'	1.06	01 Octubre – 31 Marzo Donde: Tmed : Temperatura media Tmax : Temperatura máxima d: Longitud de los días (entre 1,02 y 1,06 equivalentes a 40° y 50° de latitud)	Demasiado frío < 1200 Muy frío = 1200-1500 Frío = 1500-1800 Templado = 1800-2100 Cálido templado = 2100-2400 Cálido = 2400-2700 Muy cálido = 2700-3000 Demasiado caliente > 3000 <i>*El valor idóneo más bajo corresponde a 1400.</i>	(Fraga et al., 2015, 2014a, 2014b, 2013; Montes et al., 2012; Tonietto and Carbonneau, 2004)
LAT	Valor d																	
≤ 40°	1.00																	
40°01' - 42°00'	1.02																	
42°01' - 44°00'	1.03																	
44°01' - 46°00'	1.04																	
46°01' - 48°00'	1.05																	
48°01' - 50°00'	1.06																	
Temperatura Promedio Periodo de crecimiento	$\sum_{d=1}^n \left[\frac{(T_{max} + T_{min})}{2} \right]$	01 Octubre – 30 Abril Donde: Tmed : Temperatura media. Tmax : Temperatura máxima. n : El número de días. d : día de inicio.	Muy frío < 13 °C Frío = 13 - 15 °C Intermedio = 15 - 17 °C Templado = 17 - 19 °C Cálido = 19 - 21 °C Muy cálido 21 - 24 °C Demasiado cálido > 24 °C	(Hannah et al., 2013; Jones and Goodrich, 2008)														
Temperatura media del mes más cálido. Temperatura media de enero.	Tmedia _{Enero}	Mes de enero (unidad °C)	TmedEnero < 19°C zona con potencial de vinos blancos 19°C > TmedEnero < 22°C zona con potencial de vinos tintos.	(Santibañez, 1989)														
Índice de noches frías (Cool Nights, CI)	Temperatura promedio durante el mes antes de la cosecha septiembre en el hemisferio Norte.	Marzo	Este índice se estima durante el mes de marzo para el hemisferio sur. Noches muy frías : ≤ 12 °C Noches frías : 12 < CI ≤ 14°C Noches templadas : 14 < CI ≤ 18°C Noches cálidas : CI > 18°C	(Malheiro et al., 2010; Montes et al., 2012; Tonietto, 2007; Tonietto and Carbonneau, 2004)														
Amplitud térmica media de marzo. ó Mean Thermal Amplitude (MTA)	$MTA = \frac{1}{n} \sum_{1}^n (T_{max} - T_{min})$	Se calcula solo para marzo (mes cosecha, habitual hemisferio sur) Tmax : Temperatura máxima Tmin : Temperatura mínima.	El rango de valores mencionado en la literatura va entre 8° y 22°, siendo la frecuencia más alta entorno a los 16°. Esta amplitud es importante ya que favorece a las propiedades de la uva y de la calidad de los vinos. Si existe una amplitud térmica durante al desarrollo de 10.1°C, durante una temperatura diurna alta para el periodo de enero, da como resultado vinos de mayor calidad.	(Montes et al., 2012)														

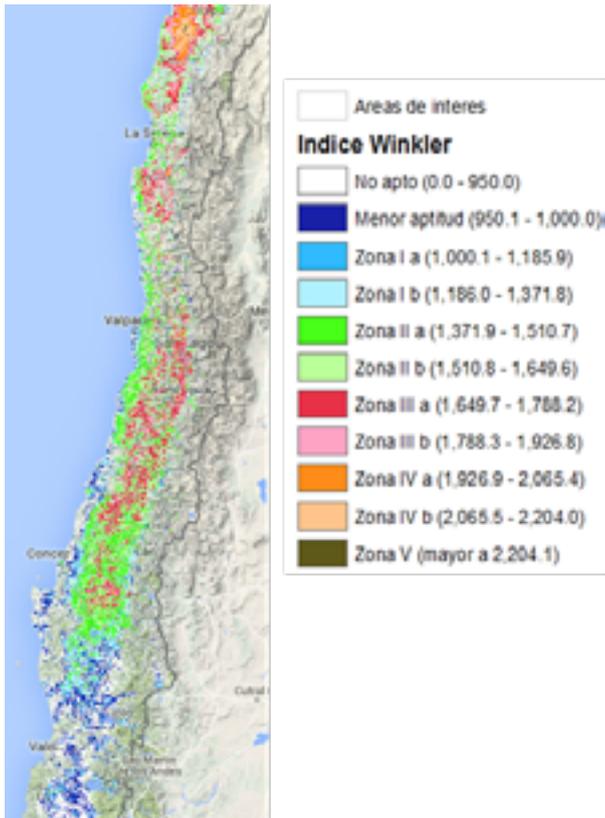


Figura 7. Estimación de Índice de Winkler a lo largo de Chile, en esta representación se subdividieron las típicas zonas de Winkler, y solo se representaron aquellas zonas que geográficamente tienen condiciones para la agricultura. Fuente: Elaboración propia.



Figura 8. Estimación de Índice de Huggin a lo largo de Chile, solo se representaron aquellas zonas que geográficamente tienen condiciones para la agricultura. Fuente: Elaboración propia.

PROYECCIÓN CLIMÁTICA E ÍNDICES EN ESCENARIOS FUTUROS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Para la estimación de escenarios de cambio global, se usaron distintos Modelos y escenarios de Circulación Global (ver Tabla 11), estos modelos a nivel mundial muestran las señales de cambio a nivel regional, inicialmente, se seleccionó una ventana espacial delimitada por el territorio chileno. Se decidió procesar los siguientes escenarios de concentración radiativa: histórico, 4.5, 6.0 y 8.5, los cuales tienen una mayor probabilidad de ocurrencia, ya que los escenarios de tipo 2.6 sugieren volver a una situación pre industrial, la cual es poco probable de ocurrir.

Se procesaron todos los GCM (de manera de tener una gama de opciones disponibles para el posterior análisis de información. Esencialmente, porque es difícil determinar a priori cuáles serán las condiciones establecidas por los GCM como mejores o peores para Chile continental y sector vitícola. No obstante, esto solo se aplicó a la información climática tabulada.

A escala espacial (mediante imágenes raster), se seleccionaron tres modelos: ACCESS1-0, CSIRO-MK3-6-0 y GFDL-CM3 para los escenarios de concentración 4.5 y 8.5. La elección de estos modelos y escenarios tiene relación con la representatividad que ellos tienen tanto en trabajos de divulgación como de investigación asociadas al análisis del cambio climático en el mundo y a que su metodología de construcción se encuentra acorde a los procedimientos de estimación futura utilizados en este proyecto.



Tabla 6. Modelos de Circulación General utilizados como base para la estimación de escenarios futuros de variables climáticas (<http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/availability.html>).

Modelo	Instituto	Escenarios
ACCESS1-0	CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia), and BOM (Bureau of Meteorology, Australia)	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
bcc-csm1-1	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
CCSM4	National Center for Atmospheric Research, University Corporation for Atmospheric Research	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
CNRM-CM5	National Centre for Meteorological Research	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
CSIRO-Mk3-6-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in collaboration with the Queensland Climate Change Centre of Excellence	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
FGOALS-g2	LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences; and CESS, Tsinghua University	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
GFDL-CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
GFDL-ESM2G	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
GFDL-ESM2M	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
GISS-E2-R	NASA Goddard Institute for Space Studies	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
HadCM3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research (uk)	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
HadGEM2-CC	Hadley Global Environment Model 2 - Carbon Cycle	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre (additional HadGEM2-ES realizations contributed by Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
inmcm4	Institute for Numerical Mathematics	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre-Simon Laplace	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
MIROC-ESM-CHEM	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), and National Institute for Environmental Studies	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
MIROC-ESM	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), and National Institute for Environmental Studies	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
MIROC4h	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
MIROC5	Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5
NorESM1-M	Norwegian Climate Centre	histórico, RCP 4,5-6,0-8,5



PROCESO DE REDUCCIÓN DE ESCALA (DOWNSCALING)

Downscaling es un concepto que busca mediante el uso de distintos métodos aumentar la resolución espacial o temporal de datos, de manera de reducir el sesgo y mejorar el uso de la información obtenida (IS-ENES, 2015). Esta metodología ha sido utilizada con imágenes satelitales para mejorar la resolución de los objetos distinguibles. Actualmente este tipo de metodologías se utiliza en estudios de cambio climático, con el fin de mejorar la resolución espacio-temporal de los resultados obtenidos desde los GCM.

Para la aplicación de un downscaling a las series climáticas, es necesario contar con estaciones espacialmente distribuidas y con registros históricos suficientemente amplios para permitir tener de 30 a 50 años de datos de información, los cuales posteriormente serán contrastados con las modelaciones históricas de los GCM seleccionados para el análisis (16 con sus respectivas combinaciones de corrida y escenario). Debido a las características de la información recopilada, solo 175 estaciones a lo largo de Chile se encontraban con un registro suficientemente amplio para ser rellenas con información. Este registro amplio consiste en al menos 30 años de información mensual continua en la estación. Del total de estaciones mencionadas hubo varias que aunque no cumplían con este requisito, si se encontraban dentro de un dominio espacial que involucraba al menos una estación con el periodo de tiempo deseado. De esta forma, se utilizaron las estaciones con mayor cantidad de datos para completar los registros faltantes en aquellas estaciones candidatas con representatividad espacial y temporal.

Para el método de downscaling temporal, se utilizó el método conocido como "Bias Correction", el cual consiste en un downscaling de tipo estadístico que compara los rangos de valores de observados y modelados para obtener así una serie de tiempo futura que se acople en sus estadísticas de base con los datos históricos. Mediante un análisis de percentiles, se relacionan los valores futuros con su valor equivalente de los históricos observados, haciendo coincidir las series de tiempo para proyectar los resultados actuales históricos de cada estación hacia el futuro. El uso del método de Bias Correction, no es el más sofisticado con respecto al proceso de downscaling de datos futuros, pero sí uno de los más simples de ser aplicado.

En este sentido, se establecen tres periodos de proyección a escala mensual: el Periodo 1 que comprende desde 2011 hasta 2040, un Periodo 2 entre 2041 y 2070 y un Periodo 3 comprendido entre 2071 y 2100. Para efectos de análisis, cada uno de estos tres periodos se analiza de manera independiente (Figura 9).

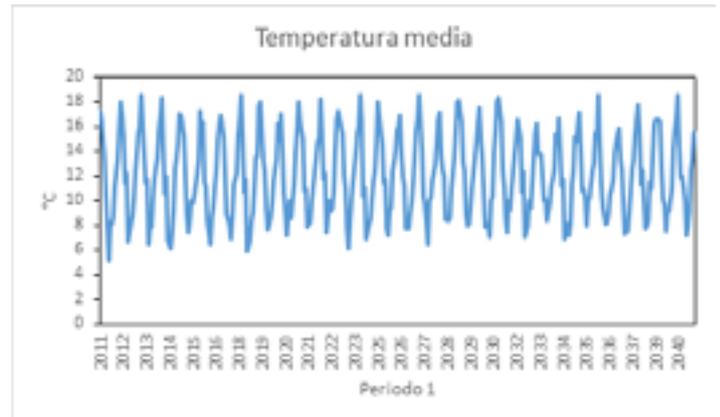


Figura 9. Temperaturas media estación Adolfo Mathei para el Periodo 1 (2011-2040) construidas a partir de downscaling.

La aplicación de la metodología ha permitido la obtención de mapas mensuales de temperatura y precipitación (estos últimos se procedieron a sumar para obtener un mapa anual que fuese más representativo) para la combinación de modelos y escenarios descrita con anterioridad. De forma posterior, se realizó el proceso de validación de las imágenes generadas para ser utilizadas en la generación de los índices bioclimáticos considerando cambio climático para evaluar su evolución y la aplicación de un modelo de balance hídrico.



CÁLCULO DE VARIABLES CLIMÁTICAS A FUTURO

Luego de la obtención de las series de temperatura y precipitación en 175 estaciones meteorológicas para la estimación de series de tiempo futuras a partir de downscaling, estos registros fueron agrupados a nivel mensual a partir de promedios, en cada uno de los tres periodos descritos con anterioridad. Estos registros fueron asociados espacialmente con las variables espaciales topográficas (Modelo de elevación digital (en bruto y elevado al cuadrado), pendientes y orientación) y de distancia (Latitud, Longitud, Distancia a la Costa y Distancia a Cuerpos de Agua) y a las imágenes de la zona de estudio obtenidas de temperaturas máximas y mínimas mensuales y de precipitación anual.

Para cada ubicación de las 175 estaciones se extrajo el valor de las variables descritas para armar una matriz de datos que contuviera esta información y los valores de temperatura media y precipitación media estimadas a partir del método de downscaling. La diferencia entre cada valor utilizado como covariable y aquel asociado a temperatura y precipitación, estimados para el futuro, fueron comparados mediante un modelo mixto, utilizando para discernir su capacidad predictiva y de ajuste a los coeficientes de determinación (R^2) y el error absoluto medio (MAE) (Tabla 13).

Tabla 5. Ejemplo de coeficientes de ajuste para los tres periodos (1: 2011-2040; 2: 2041-2070; 3: 2071-2100) para el mes de enero en dos modelos GCM, para dos escenarios y en las dos variables meteorológicas utilizadas: Temperatura y precipitación.

Modelo	RCP	Variable	Enero R^2	Periodo 1 MAE	E n e r o R^2	Periodo 2 MAE	E n e r o R^2	Periodo 3 MAE
CSIRO-Mk3-6-0	Rcp4.5	Temp	0,76	4,93	0,73	2,68	0,70	2,80
		Pp	0,71	5,05	0,70	4,16	0,66	2,91
	Rcp8.5	Temp	0,66	5,92	0,67	4,59	0,69	7,72
		Pp	0,68	5,62	0,63	4,44	0,63	4,99
GFDL-CM3	Rcp4.5	Temp	0,84	0,82	0,84	0,85	0,84	0,87
		Pp	0,86	0,81	0,85	0,84	0,83	0,89
	Rcp8.5	Temp	0,85	0,82	0,85	0,82	0,86	0,81
		Pp	0,85	0,81	0,85	0,84	0,83	0,88



CÁLCULO DE ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS FUTUROS

El cálculo de los Índices Bioclimáticos a Futuro se realizó mediante álgebra de mapas desde las imágenes raster de precipitación y temperatura obtenidas para los periodos futuros y escenarios de cambio climático obtenidas en el punto anterior.

A modo de ejemplo, se muestra el índice de Winkler en el valle de Casablanca (Figura 10). Como una primera aproximación de resultados, se puede apreciar que existen diferencias importantes en cuando a los valores históricos y los valores obtenidos mediante la modelación.

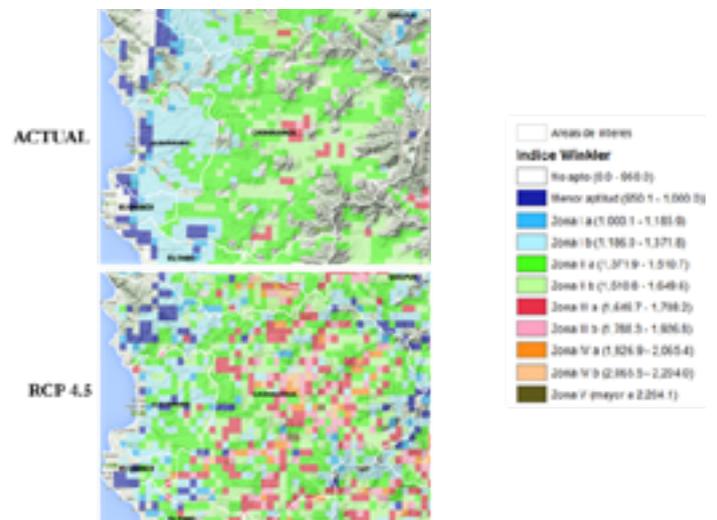


Figura 10. Índice de Winkler para el valle vitícola de Casablanca, en donde se puede apreciar una transición entre la situación actual y el periodo 2020-2050 para el escenario 4.5, donde se estima un aumento de las acumulaciones térmicas, con un posible desplazamiento de las cepas blancas por cepas tintas.

A partir de los productos de precipitación y temperatura a futuro, se calcularon los índices bioclimáticos de Huglin, Winkler, Integrar Térmica Activa, Temperatura Media del Periodo de Crecimiento, Índice de Noches Frías y Temperaturas Extremas del Periodo de Crecimiento para los tres periodos señalados, de modo de poder compararlos posteriormente con las mismas variables estimadas para el periodo actual.



MAPAS DE APTITUD GENERAL

Contando con los productos actuales y futuros de índices bioclimáticos, se realizaron mapas de aptitud general para cinco de las variedades más importantes de vino en Chile (Cabernet-Sauvignon, Sauvignon-Blanc, Chardonnay, Carmenere y Pinot Noir), en base a valores obtenidos desde la literatura para los tres índices más importantes al momento de realizar una zonificación, el índice de Winkler, el índice de Huglin y el índice de Temperatura Media de Enero.

Los criterios de clasificación se encuentran en la Tabla 2. En este caso no se consideró la clasificación desde Zona Climática, sino que, por las Cepas Apropriadas, de este modo, una cepa puede estar presente en más de una zona climática, lo que resulta en mapas de aptitud específicos para cada cepa.

Tabla 2: Propuesta de clasificación y criterios para establecimiento de zonas climáticas en base a los índices de Winkler, Huglin y MJT (Hidalgo, 1993; Tonietto y Carbonneau, 2004; Jones, 2006).

Índice Bioclimático					
Aptitud	Zona climática	Winkler	Huglin	MJT	Cepas apropiadas
Tintos	Zona A1	1.000 a 1659	2.100 a 2.400	≥19	Zinfandel, Mourvèdre, Cabernet-Sauvignon, Carménere, Carignan
	Zona A2			< 19	Cabernet-Sauvignon, Grenache, Carignan, Carménere, Syrah, País
Mixta	Zona B1		1.800 a 2.100	≥18,6	Syrah, Merlot, Cabernet-Sauvignon, Cabernet franc, Semillón
	Zona B2			< 18,6	Syrah, Merlot, Viognier, Semillón, Sauvignon blanc, Chardonnay
Blancos	Zona C1		1.500 a 1.800	≥18	Sauvignon blanc, Chardonnay, Syrah, Riesling
	Zona C2			< 18	Sauvignon blanc, Chardonnay, Pinot noir, Gewürztraminer



BALANCE HÍDRICO GENERAL

Para la elaboración del balance hídrico general se calcularon las entradas de agua a partir de la precipitación efectiva, obtenida a partir de la precipitación real corregida por un coeficiente de escorrentía que tiene directa relación con el uso de suelo correspondiente, que a su vez, es un parámetro que ya se ha obtenido a partir del modelo MODIS de clases de uso de suelo descargado. Para calcular las salidas de agua del sistema se calculó la evapotranspiración de referencia a partir del método de Hargreaves modificado, el cual utiliza las temperaturas extremas y la radiación extraterrestre (que es un parámetro que se calcula con relativa facilidad a escala espacial al depender solo del día del año):

$$ET_0 = 0.0023 (T_{\text{media}} + 17.8) (T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0.5} R_a$$

Ec 1. Ecuación de Hargreaves modificada.

Teniendo las entradas y las salidas es posible realizar un balance de modo de notar las zonas de superávit y déficit de agua, identificando junto con la ayuda de los índices bioclimáticos calculados aquellas zonas más proclives al cultivo de la vid y por ende aquellas en donde su establecimiento no sería recomendado.



B. GEOLOGÍA

2. CAPAS UTILIZADAS EN MAPA GEOLÓGICO-VITIVINÍCOLA DE CHILE

La información digital vectorial debe ser procesada en formato shapfile (.shp) y la información raster en formato geoTiff (.tif) y debe ser georeferenciada en el sistema internacional WGS84 con Huso 19 del hemisferio Sur.

Cabe destacar que la información a visualizar en la plataforma se muestra a una escala máxima de 1:500.000, lo que condiciona radicalmente los detalles y la resolución involucradas en cada uno de los productos cartográficos.

Explicando de otra forma lo anterior, por ejemplo, una línea de 300 metros en la realidad, a escala 1:500.000 en un mapa sería una línea de 0,06 cm (0,6 mm) o un píxel de 1 km x 1 km en el mismo mapa sería de 0,2 cm (2 mm). Esto determina que la información a ingresar a la plataforma tiene ese nivel de detalle y debe ser utilizada considerando un análisis regional del cultivo.

Las diferentes capas geológicas que se presentan en esta plataforma corresponden a:

1. Geología
2. Fallas
3. Cuencas
4. Litología
5. DEM
6. Aspecto
7. Pendiente
8. Arcillas
9. Geología de detalle 1:100.000

A continuación, se describen los procesos que se deben llevar a cabo antes de cargar cada capa a la plataforma (ordenados por fuente de información).

3. TRATAMIENTO DE CADA UNA DE LAS CAPAS

3.1. CAPA GEOLOGÍA

Descripción: esta capa muestra diferentes unidades geológicas presentes en una subcuenca.

Fuente: Mapa Geológico de Chile, SERNAGEOMIN

Escala original: 1:1.000.000

Tipo de datos: vectorial, shapefile (.shp)

Despliegue: Se utiliza el estándar del Cuadro Estratigráfico USGS1 de USA, por ejemplo, a todas las unidades del Cenozoico2 se les asignan tonos amarillos y a las Cretácicas3 verdes.

Cada uno de los polígonos de cada unidad geológica, se despliega sin color de contorno, solo su relleno de acuerdo al cuadro estratigráfico antes mencionado, utilizando el campo CD_GEOL de la tabla de atributos. Cada polígono posee una etiqueta en su centroide utilizando el campo CD_GEOL de la tabla de atributos (*Figura 1*).

Tabla de atributos: La tabla de atributos muestra los campos: CD_GEOL, UNIDAD, EDAD_MAX y EDAD_MIN; para no confundir al usuario de la plataforma y para que al ejecutar el comando INFO no se muestre información irrelevante para el objetivo del usuario.

Zona: Esta capa abarca desde la Región de Atacama a la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.



Figura 1. Ejemplo de visualización sobre la plataforma web de la capa de geología.



3.2 FALLAS

Descripción: Esta capa contiene la traza en superficie de fallas geológicas.

Fuente: Mapa Geológico de Chile, SERNAGEOMIN

Escala original: 1:1.000.000

Tipo de datos: vectorial, shapefile (.shp)

Despliegue: Se utiliza el estándar de tipos de fallas utilizado en los mapas 1:100.000 de SERNAGEOMIN, dando diferencia a las fallas normales*, inversas* y de rumbo*.

Cada falla se despliega en color negro (Figura 2).

Tabla de atributos: La tabla de atributos muestra los campos: MOVIMIEN, TP_FALLA, TP_INFO y D_MANTEO; para no confundir al usuario de la plataforma y para que al ejecutar el comando INFO no se muestre información irrelevante para el objetivo del usuario.

Zona: Esta capa abarca desde la Región de Atacama a la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.



Figura 2. Ejemplo de visualización sobre la plataforma web de la capa de fallas.

3.3 MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (DEM) NACIONAL/REGIONAL

Descripción: Esta capa es un raster4 que se utiliza para generar los modelos de pendiente y aspecto, además de ser un modelo de elevaciones por sí solo.

Fuente: Servicio geológico de Estados Unidos, <https://glervis.usgs.gov/>

Escala original: No definida

Resolución original: 30 metros

Tipo de datos: raster, geotiff (.tif)

Despliegue: En esta capa se utiliza la escala de grises (de blanco a negro), dando el color negro a los sectores más deprimidos y blanco a los sectores con mayor altitud (Figura 3). Las imágenes originales del sensor Aster vienen con una resolución de 30 m., por lo que el usuario que desee subir algún DEM debe realizar un resamplio de la imagen original de 30 m a una resolución de 1.000 m (1 Km), con algún software que lo permita (Ej ArcGIS 10.3: ArcToolbox>Data Management Tools>Raster>Raster Processing>Resample).

Para el DEM nacional se elabora un producto cartográfico llamado hillshade a partir del DEM, el cual se despliega con un nivel de transparencia de 40% sobre el DEM original, creando así un efecto visual de terreno realístico (Ej ArcGIS 10.3: ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Surface>Hillshade).

Para el caso del DEM regional se utiliza el mismo producto antes descrito, con la diferencia de que el área que se muestra corresponde al de las subsubcuencas que se describen más adelante en el apartado 3.6.

Zona: Para el caso Nacional la capa abarca desde la Región de Atacama a la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo y para el caso Regional abarca cada una de las subsubcuencas que contenga un valle vitivinícola.

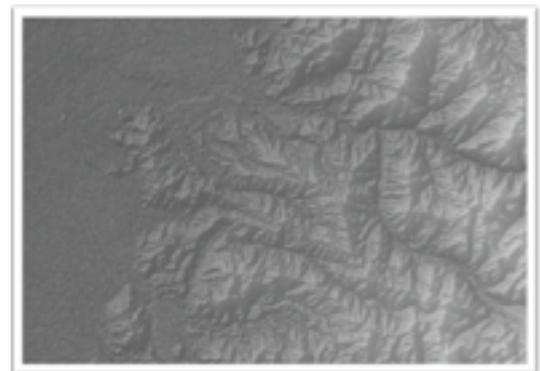


Figura 3. Ejemplo de visualización sobre la plataforma web de la capa del Modelo digital de elevaciones (DEM).



3.4 ASPECTO

Descripción: Modelo digital de exposición al sol de laderas.

Fuente: Servicio geológico de Estados Unidos, <https://glovis.usgs.gov/>

Escala original: No definida

Resolución original: 30 metros

Tipo de datos: raster, geotiff (.tif)

Despliegue: Se utiliza una escala color de 9 categorías, dando un color a cada una de las exposiciones de las laderas. Es decir, si se consideran los 360° en que las laderas pueden estar expuestas, cada categoría corresponde a una división o arco de 45°, más una ladera de exposición cercana a los 0° que corresponden a las llanuras o llanos (Figura 4).

Se utiliza el límite de las subsubcuencas para cortar el raster de aspecto, de acuerdo a esa unidad de estudio.

Zona: Cada una de las subsubcuencas que contenga un valle vitivinícola.

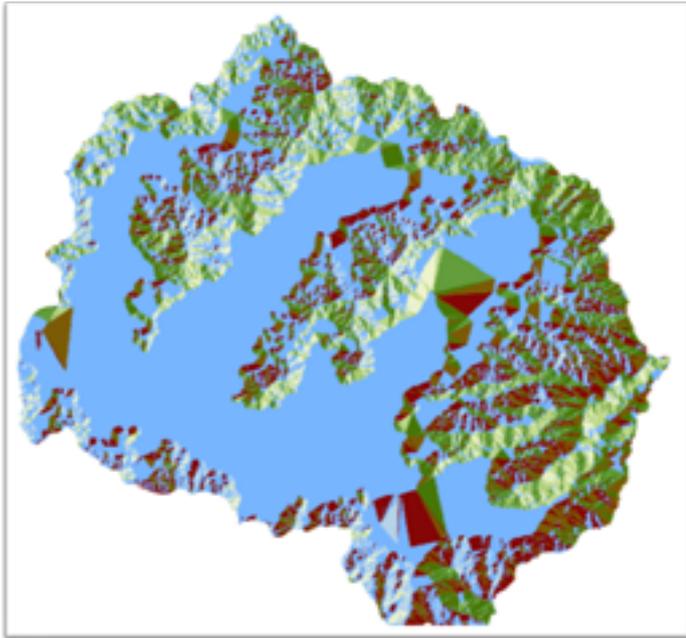


Figura 4. Ejemplo de visualización sobre la plataforma web de la capa de Aspecto.

3.5 PENDIENTE

Descripción: Modelo digital de pendientes. Este modelo es muy útil para complementarlo con las zonas cultivables.

Fuente: Servicio geológico de Estados Unidos, <https://glovis.usgs.gov/>

Escala original: No definida

Resolución original: 30 metros

Tipo de datos: raster, geotiff (.tif)

Despliegue: Se utiliza una escala de color verde-amarillo-rojo, dando el color verde a las pendientes más suaves y el color rojo a las pendientes más elevadas. Es decir, los tonos verdes representan pendientes menores a 20°, amarillo las pendientes entre 20° y 70° y los tonos rojos pendientes mayores a 70° (Figura 5).

Se utiliza el límite de las subsubcuencas para cortar el raster de pendiente, de acuerdo a esa unidad de estudio.

Zona: Cada una de las subsubcuencas que contengan un valle vitivinícola.

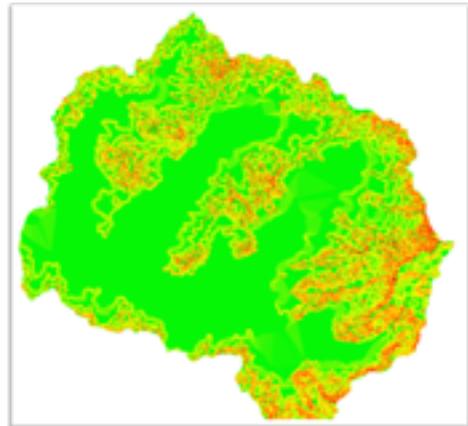


Figura 5. Ejemplo de visualización sobre la plataforma web de la capa de Pendientes.

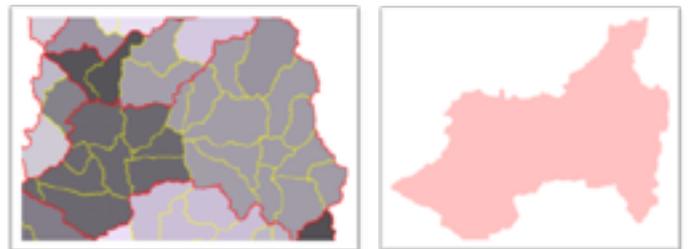


Figura 6. A la izquierda se muestra un ejemplo de visualización sobre la plataforma web de todas la capas de Cuencas de la DGA (líneas rojas), Subcuencas (polígonos en tonos de grises) y Subsubcuencas (líneas amarillas); a la derecha se muestra la capa procesada, con las subsubcuencas unidas, la que finalmente se ingresa a la plataforma.



3.7 VALLES VITIVINÍCOLAS

Descripción: Los Valles Vitivinícolas son básicamente las zonas cultivables dentro de cada valle.

Fuente: propia de este trabajo.

Escala: Local, se recomienda no trabajar a escalas menores a 1:100.000

Tipo de datos: vectorial, shapefile (.shp)

Despliegue: Los valles vitivinícolas son la unidad de estudio mínima dentro de este trabajo y corresponde a la zona cultivable relacionada con cada uno de los valles, los cuales están enmarcados por la cobertura de las subsubcuencas, antes mencionada. Estos valles se confeccionan con el apoyo de las unidades del Cenozoico de la cobertura de geología (Figura 7).

Es importante mencionar que estas unidades (valles vitivinícolas) son la información básica para los estudios posteriores.

Tabla de atributos: Esta tabla, es recomendable que al menos lleve un campo llamado NOMBRE para ingresar el nombre del valle, si se desea puede crear un campo llamado Area o Valle para calcular en ArcGIS o QGIS las áreas por cada polígono antes de subirlos a la plataforma. Zona: Esta capa abarca desde la Región de Atacama a la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, a escalas locales.

3.8 TIPOS DE ROCA

Descripción: Cobertura que muestra los dominios morfoestructurales.

Fuente: Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Escala original: Nacional

Tipo de datos: Vectorial, shapefile (.shp)

Despliegue: Este mapa se usa ya que cada dominio morfoestructural está asociado a grupos litológicos, de esta forma se pueden extraer las litologías para cada subsubcuenca y valle vitivinícola.

Los colores de este mapa que se asignan a las unidades, siguen el estándar de litologías y edades de rocas de Cuadro Estratigráfico USGS1 de USA. Esto se realiza a partir del campo GeoMOD de la tabla de atributos.

Tabla de atributos: Los campos que se muestran son GEO y GeoMod.

Zona: Esta capa abarca desde la Región de Atacama a la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.



Figura 7. Ejemplo de visualización sobre la plataforma web de la capa de Valles Vitivinícolas.



3.9 ARCILLAS

Descripción: Capa que muestra un mapeo, a escala regional, de presencia de minerales de arcilla en el suelo de forma superficial.

Fuente: propia de este trabajo

Escala original: Local, se recomienda no trabajar a escalas menores a 1:100.000

Resolución original: 30 metros

Tipo de datos: raster, geotiff (.tif)

Despliegue: Esta capa corresponde al mapeo, mediante el software ENVI, de imágenes satelitales ASTER obtenidas de la página <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Se pasa a formato .shp, para poder ser trabajada de la misma forma que las capas de geología.

Se realiza para poder prever, de manera regional, el contenido de arcillas y qué tipo de arcillas que puede tener un suelo.

Para visualizar esta capa se debe escoger un color diferente para cada una de las arcillas identificadas (Figura 8).

Zona: Esta capa existe en la plataforma para la Región de Atacama, pero se puede elaborar para la zona que se desee.



Figura 8. Ejemplo de interpretación de arcillas, mediante método de sensores remotos (el fondo de la imagen es solo referencial)

3.10 GEOLOGÍA DE DETALLE 100K (CASABLANCA)

Descripción: La capa de Geología de Detalle presenta las distintas unidades geológicas dentro de una subcuenca pero con mapeo 1:100.000.

Fuente: Hoja Geológica Valparaíso Curacaví, escala 1:100.000, 1996 de SERNAGEOMIN.

Escala original: 1:100.000

Tipo de datos: vectorial, shapefile (.shp)

Despliegue: Se utiliza el estándar del Cuadro Estratigráfico USGS1 de USA.

Las unidades geológicas contenidas en esta capa fueron digitalizadas de la hoja Valparaíso-Curacaví (Gana, 1996) escala 1:100.000 de SERNAGEOMIN. Cada una de las unidades geológicas, deberá ser desplegada sin color de contorno, solo su relleno de acuerdo al cuadro estratigráfico antes mencionado, utilizando el campo Código de la tabla de atributos.

Cada polígono posee una etiqueta en su centroide utilizando el campo Código de la tabla de atributos.

Tabla de atributos: La tabla de atributos tendrá un campo de texto llamado "Código" para identificar cada una de las unidades digitalizadas. Si desea, opcionalmente se puede crear un campo llamado DESCRIPCION, para ingresar el detalle de cada unidad geológica.

Zona: Esta es una capa de ejemplo y solo se trabajó el valle de Casablanca (Figura 9).

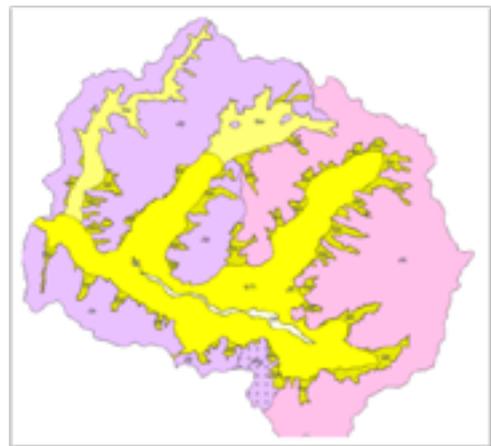


Figura 9. Ejemplo de geología de detalle, escala 1:100.000 sobre la cuenca del Valle Vitivinícola Casablanca.



BIBLIOGRAFÍA

Amerine, M., Winkler, A., 1944. Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia*, A J. Agric. Sci. Publ. by Calif. Agric. Exp. Stn. 15, 493–675.

Bois, B., Leeuwen, C.V.A.N., Pieri, P., Gaudillere, J., Universitaire, I., Vigne, D., Jules, V., Bourgogne, U. De, 2008. Viticultural agroclimatic cartography and zoning at mesoscale level using terrain information, remotely sensed data and weather station measurements. Case study of Bordeaux winegrowing area. *Cartographie agroclimatique viticole et zonage à méso-échelle*. Congr. Int. des Terroir Vitic. VII Int. terroir Congr. 1–8.

Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J., Jones, G. V., Alves, F., Pinto, J.G., Santos, J.A., 2014a. Very high resolution bioclimatic zoning of Portuguese wine regions: present and future scenarios. *Reg. Environ. Chang.* 14, 295–306. doi:10.1007/s10113-013-0490-y

Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J., Santos, J.A., 2013. Future scenarios for viticultural zoning in Europe: Ensemble projections and uncertainties. *Int. J. Biometeorol.* 57, 909–925. doi:10.1007/s00484-012-0617-8

Fraga, H., Malheiro, a. C., Moutinho-Pereira, J., Santos, J. a., 2014b. Climate factors driving wine production in the Portuguese Minho region. *Agric. For. Meteorol.* 185, 26–36. doi:10.1016/j.agrformet.2013.11.003

Fraga, H., Santos, J. a., Malheiro, a. C., Oliveira, a. a., Moutinho-Pereira, J., Jones, G. V., 2015. Climatic suitability of Portuguese grapevine varieties and climate change adaptation. *Int. J. Climatol.* n/a-n/a. doi:10.1002/joc.4325
Hall, A., Jones, G. V., 2010. Spatial analysis of climate in winegrape-growing regions in Australia. *Aust. J. Grape Wine Res.* 16, 389–404. doi:10.1111/j.1755-0238.2010.00100.x

Hannah, L., Roehrdanz, P.R., Ikegami, M., Shepard, A. V., Shaw, M.R., Tabor, G., Zhi, L., Marquet, P.A., Hijmans, R.J., 2013. Climate change, wine, and conservation. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 110, 6907–6912. doi:10.1073/pnas.1210127110
IS-ENES, 2015. *Climate4Impact* [WWW Document]. April 15, 2014.

Jones, G. V., Davis, R.E., 2000. Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and wine production and quality for Bordeaux, France. *Am. J. Enol. Vitic.* 51, 249–261.

Jones, G. V., Goodrich, G.B., 2008. Influence of climate variability on wine regions in the western USA and on wine quality in the Napa Valley. *Clim. Res.* 35, 241–254. doi:10.3354/cr00708

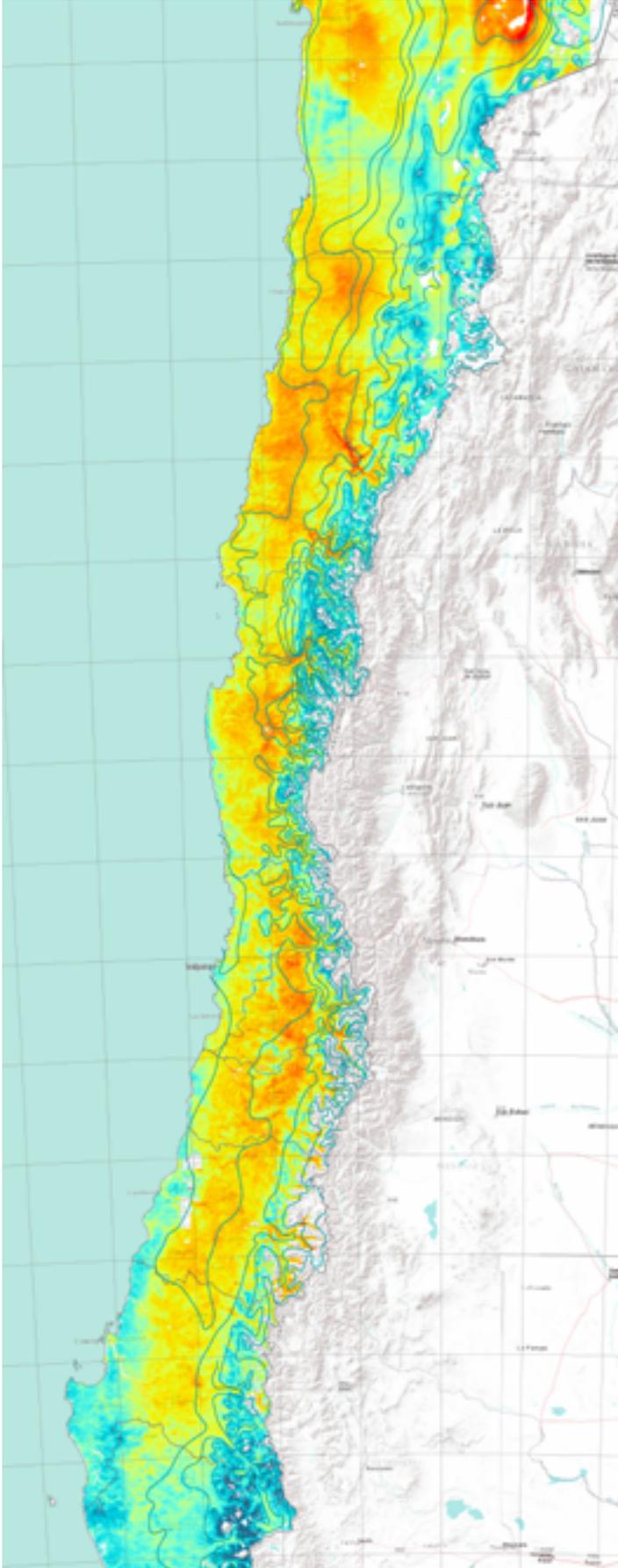
Malheiro, A.C., Santos, J. a., Fraga, H., Pinto, J.G., 2010. Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. *Clim. Res.* 43, 163–177. doi:10.3354/cr00918
Montes, C., Perez-Quezada, J.F., Peña-Neira, a., Tonietto, J., 2012. Climatic potential for viticulture in Central Chile. *Aust. J. Grape Wine Res.* 18, 20–28. doi:10.1111/j.1755-0238.2011.00165.x

OIV, 2012. VITI 423-2012. OIV Guidel. vitiviniculture Zo. Methodol. a soil Clim. level. Adopt. by 10th Gen. Ansssembly OIV 12, 33–44.

Santibañez, F., 1989. *Agroclimatología y zonificación de la región vitivinícola chilena: bases para la denominación de origen de los vinos*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago de Chile.

Tonietto, J., 2007. Evaluación Climática Global De Las Zonas Vitícolas. *Rev. Enol. Ntextordmasculine2* 4, 2–11.

Tonietto, J., Carbonneau, A., 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agric. For. Meteorol.* 124, 81–97. doi:10.1016/j.agrformet.2003.06.001



i+D Consorcio
Vinos de Chile



CORFO