

MODELOS Y RESULTADOS

Aplicación de metodología de espacialización y reducción de escala a variables climáticas e índices vitivinícolas.

i+D Consorcio
Vinos de Chile



CORFO



MODELOS Y RESULTADOS

El presente documento muestra la construcción y resultados visibles principales tanto del modelo climático espacial para el periodo presente como el modelo de downscaling para el periodo futuro.

Se hace énfasis en la utilización de estos productos para el cálculo de distintos índices bioclimáticos de interés en viticultura, y su utilización para generar zonificación para distintas variedades.



ÍNDICE

Modelos y resultados	2
Indice	2
Construcción de modelo topoclimático	3
Resultados de la modelación topoclimática	5
Índices bioclimáticos	6
Escenarios climáticos futuros	8
Índices bioclimáticos en periodo futuro	8
Evaluación de la aptitud vitivinícola	9



CONSTRUCCIÓN DE MODELO TOPOCLIMÁTICO

El modelo se construye a partir de la información puntal de estaciones meteorológicas agrupadas mensualmente para las variables de temperatura y precipitación, más la inclusión de 13 covariables espacialmente distribuidas utilizadas para ajustar y calibrar el modelo. Todas ellas escaladas a resolución de un kilómetro. La tabla 1 muestra las covariables utilizadas para la construcción del modelo.

Tabla 1: Covariables utilizadas en modelo topoclimático.

ID Grupo	Grupo de variables	Nombre de la variable	Descripción
1	Topográficas	Modelo de elevación digital (DEM)	DEM proveniente del sensor SRTM con resolución de pixel de 90m.
		Pendientes	Generado para el estudio a partir de Modelo de elevación espacial.
		Orientación	
2	De distancia	Latitud	Generado para el estudio a partir de Modelo de elevación espacial.
		Longitud	
		Distancia a la costa	
		Distancia a cuerpos de agua	Generado a partir del modelo de elevación espacial y capa de ríos, lagos, lagunas, embalses.
3	Climáticas	Radiación	Explorador de energías renovables de la Universidad de Chile (http://ernc.dgf.uchile.cl/Explorador/E3S/).
		Viento	
		Temperatura superficial	Recopilada desde el sensor Terra, misión MODIS.
4	Vegetación	NDVI	Recopilada desde el sensor AQUA, misión MODIS.
		EVI	
5	Efectos locales	Uso de Suelo	Recopilada desde el sensor Terra, misión MODIS.



Por ejemplo, la información espacial del sensor MODIS, fue utilizado en un continuo para contrastar su relación con los datos de temperatura del aire y generar relaciones estadísticas que permitieran generalizar el modelo de regresión correspondiente. La figura 1 ejemplifica la variable descrita para un periodo de tiempo específico.

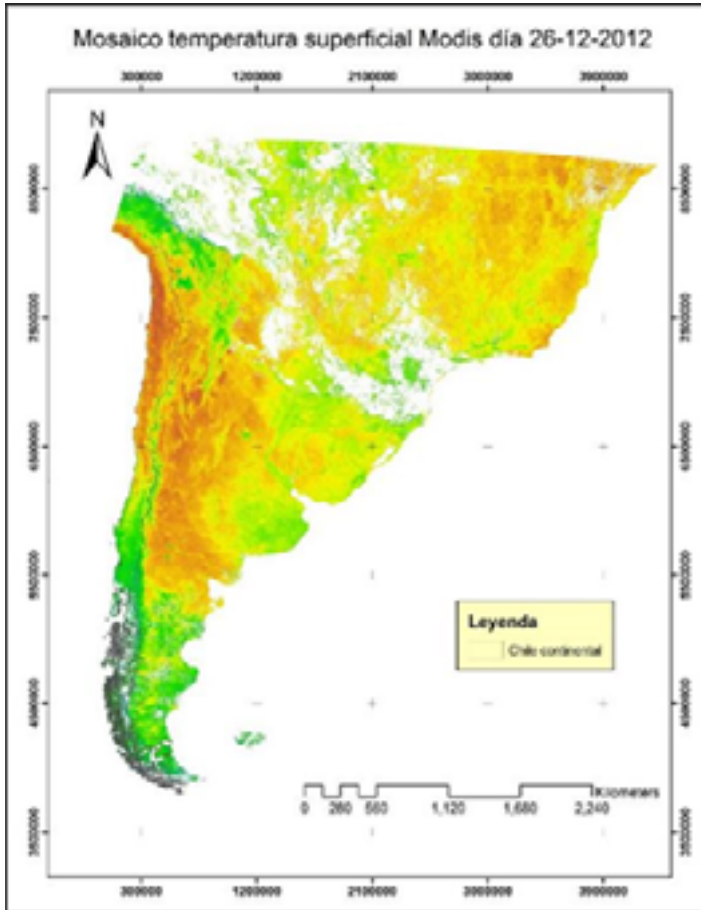


Figura 1: Covariable asociada a temperatura superficial MODIS.

El procedimiento de cálculo que aplica el modelo, genera los pesos para cada una de las covariables (β), por mes, y asigna a cada uso de suelo un coeficiente particular asociado a su representatividad espacial (α) en cada clase de uso de suelo p. La siguiente ecuación

Por ejemplo, la información espacial del sensor MODIS, fue utilizado en un continuo para contrastar su relación con los datos de temperatura del aire y generar relaciones estadísticas que permitieran generalizar el modelo de regresión correspondiente. La figura 1 ejemplifica la variable descrita para un periodo de tiempo específico.

El procedimiento de cálculo que aplica el modelo, genera los pesos para cada una de las covariables (β), por mes, y asigna a cada uso de suelo un coeficiente particular asociado a su representatividad espacial (α) en cada clase de uso de suelo p. La siguiente ecuación describe la temperatura/precipitación calculada Y en cada mes t:

Tabla 2: Clases de uso de suelo utilizada para asignar valores de los coeficientes α

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

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_{12} X_{12} + \alpha_p + \epsilon$$

En donde ϵ corresponde a la variabilidad que no es explicada por el modelo, la cual se busca que sea mínima de forma tal que la representación del clima que se busca sea la más cercana a la realidad.



El modelo divide el paisaje en distintas clases de uso de suelo basadas en el sensor MODIS (Tabla 2), y se aplican para ayudar a cuantificar el efecto que este tiene sobre las estimaciones de la variable respectiva. La representación espacial de lo anterior se muestra en la figura 2. En donde se observa para la zona centro de Chile la distribución de las distintas clases de uso de suelo para el algoritmo de clasificación MODIS LAI/fPAR basando en el área foliar y radiación fotosintéticamente activa. Para cada uno de estos usos habrá un coeficiente del modelo que ajuste su performance y mejore su desempeño.

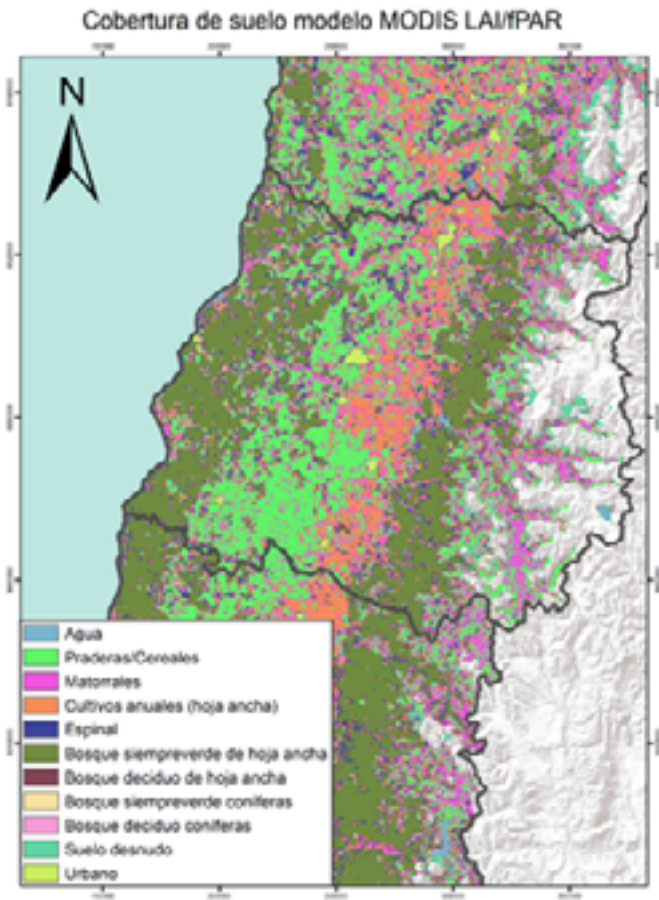


Figura 2: Distribución espacial de las coberturas de suelo utilizadas en la modelación. Acercamiento a la región del Maule.

RESULTADOS DE LA MODELACIÓN TOPOCLIMÁTICA

La figura 3 muestra los resultados del modelo de precipitaciones a escala anual tanto para la zona de estudio como para un acercamiento a la zona central con escala discretizada. Se muestra consistencia física para los valores hallados, teniendo en cuenta que el modelo es un promedio anual de precipitaciones para el periodo 2000-2014 y que posee una escala de 1x1 Km.

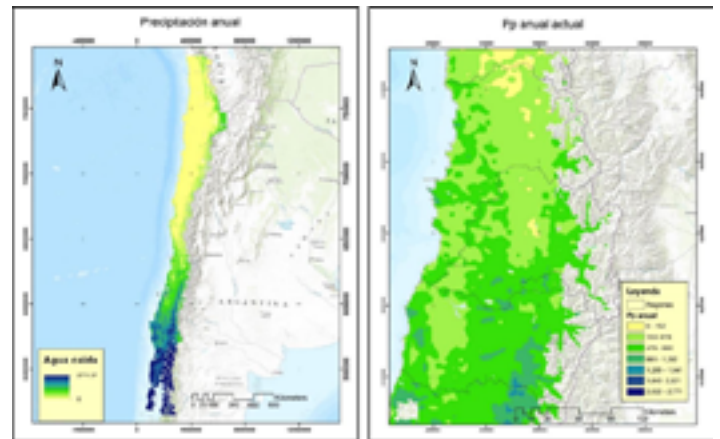


Figura 3: Precipitaciones anuales calculadas para el periodo actual (2000-2014).

En el caso de las temperaturas extremas, se obtienen mapas promedio por mes. La figura 4 ejemplifica lo obtenido para el mes de febrero, identificándose las islas de calor (ciudades) y las variaciones de temperatura debidas a cambios en altitud e influencias costeras.



ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS

La información climática espacial obtenida fue utilizada para la generación de distintos índices bioclimáticos de interés vitivinícola.

Se ejemplifican los casos del índice de Huglin y la integral térmica activa. Ambos índices asociados a la integración de temperaturas. La figura 4 muestra para los valles de Cachapoal y Colchagua la representación espacial de ambos índices, descartando aquellas zonas con pendientes mayores al 15%. Se observa una clara delimitación de las zonas costeras y una influencia térmica similar en la zona de los valles.

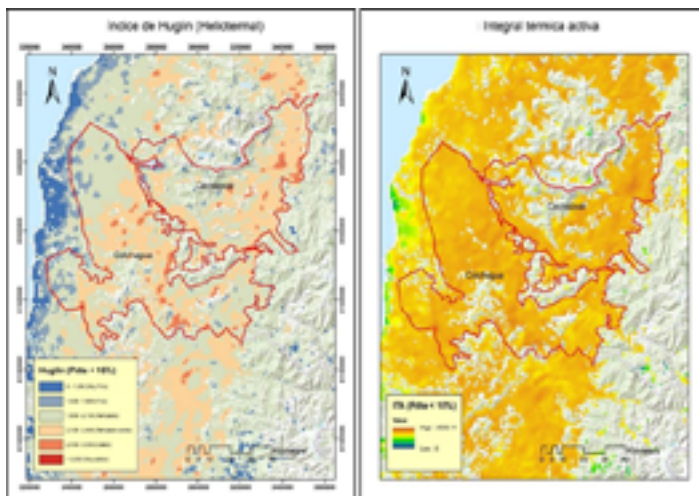


Figura 4: Índice de Huglin e Integral termina activa, acercamiento zona central.

También, se obtuvo el índice de Winkler (O integral térmica eficaz, Ite), un indicador que agrega el acumulado de temperaturas medias sobre base 10°C. Se observan zonas de amplias integrales de temperatura en la zona norte. Las clasificaciones climáticas respectivas hacen zonas a las diferentes categorías de aptitud vitivinícola de las variedades según la acumulación térmica respectiva considerada entre octubre y abril para el hemisferio sur.

A nivel estricto, se establecen cinco zonas con aptitudes diferentes según esta integral (Figura 5):

- Región I, Winkler 1.372: Las variedades para vino seco de mesa de primera calidad, obtienen aquí su mejor desarrollo. Las de gran desarrollo vegetativo, que soportan una gran carga, no deben plantarse, ya que por su producción no pueden competir con vides plantadas en distritos más cálidos, con suelos fértiles.

Variedades tintas: Cabernet franc, Cabernet

Sauvignon, Gamay Beaujolais, Mataró, Pinot negro, etc.

Variedades blancas: Chardonnay, Gewurztraminer, Flora, Folle blanche, Pinot blanc, Parellada, Traminer aromática, Riesling, Chasselas doré, etc.

- Región II, Winkler 1.372 a 1.650: Los valles pueden producir la mayoría de las clases de vinos buenos comunes. Los viñedos menos productivos de las laderas no pueden competir con el cultivo de la uva para vinos comunes, por sus bajos rendimientos, sin embargo, pueden producir vinos finos.

Variedades tintas: Cabernet franc, Cabernet Sauvignon; Gamay, Garnacha, Grignolino, Malbec, Mataró, Merlot, Petite Sirah, Pinot noir, Pinot Saint George, Refosco, Rubí Cabernet, Sirah, Tempranillo, Zinfandel, etc.

Variedades blancas: Aligote Burger, Chardonnay, Chasselas doré, Chenin blanc, Emerald Riesling, Flora, Folle blanche, French Colombart, Gray Riesling, Helena, Parellada, Pinot blanc, Red Veltliner, Riesling, Saint Emilion, Sauvignon vert, Sylvaner, Tempranillo, Xarello, etc.

- Región III, Winkler 1.650 a 1.927: El clima cálido favorece la producción de uva de alto contenido en azúcar, algunas veces con muy poco ácido, como puede ocurrir en las más cálidas. No se producen vinos secos de máxima calidad, ya que los vinos mejor equilibrados pueden obtenerse en las regiones I y II. Pueden producirse excelentes vinos dulces naturales. En los suelos más fértiles pueden producirse buenos vinos comunes.

Variedades tintas: Aleático, Alicante Bouschet, Cabernet franc, Cabernet Sauvignon, Cariñena, Cinsaut, Freisa, Gamay, Garnacha, Grignolino, Malbec, Mataró, Merlot, Monastrell, Nebbiolo, Petit Sirah, Pinot Saint George, Refosco, Ruby Cabernet, Sangiovese, Sirah, Tempranillo, Tinta Madeira, Trousseau, Zinfandel, etc.

Variedades blancas: Aligoté Burger, Emerald Riesling, Flora, Folle blanche, French Colombard, Gray Riesling, Parellada, Pedro Ximénez, Pervella, Pinot blanc, Saint Emilion, Sauvignon vert, Semillon, Sylvaner, Riesling, Viura, Xarello, Sauvignon blanc, etc.

- Región IV, Winkler 1.927 a 2.204: Son posibles los vinos naturales dulces, pero en los años cálidos los frutos de variedades más aceptables tienden a ser de baja acidez. Los vinos blancos comunes y tintos de mesa son satisfactorios si se producen de variedades con acidez alta. Es zona de posible riego.

Variedades tintas: Aleático, Alicante Bouschet, Aramón, Barbera, Cabernet franc, Cabernet Sauvignon, Cariñena, Centurión, Carnelian, Cinsaut, Garnacha, Grignolino, Mission, Monastrell, Nebbiolo,



Refosco, Rubired, Royalty, Ruby Cabernet, Saint Macaire, Sangiovese, Salvador, Sirah, Souzao, Tinto Cão, Tinto Madeira, Tempranillo, Touriga, Trousseau, Valdepeñas, Zinfandel, etc. Variedades blancas: Burger, Chenin Blanc, Folle blanche, French Colombard, Grillo, Inzolia, Malvasia bianca, Moscatel blanco, Orange Muscat, Palomino, Pedro Ximénez, Peverella, Xarello, etc.

- Región V, Winkler 2.204: Los vinos de mesa blancos y tintos comunes pueden hacerse con variedades de acidez alta. Los vinos para postre pueden ser muy buenos. Es zona de riego.

Variedades tintas: Aleático, Aramón, Barbera, Cariñán, Carme-lian, Centurión, Cinsaut, Garnacha, Mision, Monastrell, Refosco, Rubired, Royalty, Ruby Cabernet, Saint Macaire, Salvador, Souzao, Tinto Cão, Tinto Madeira, Touriga, Trousseau, etc.

Variedades blancas: Chenin blanc, Feher Szagos, French Colombard, Grillo, Inzoilia, Malvasía Blanca, Mantúo de Pilas, Moscatel blanco, Orange Muscat, Palomino, Pedro Ximénez, etc.

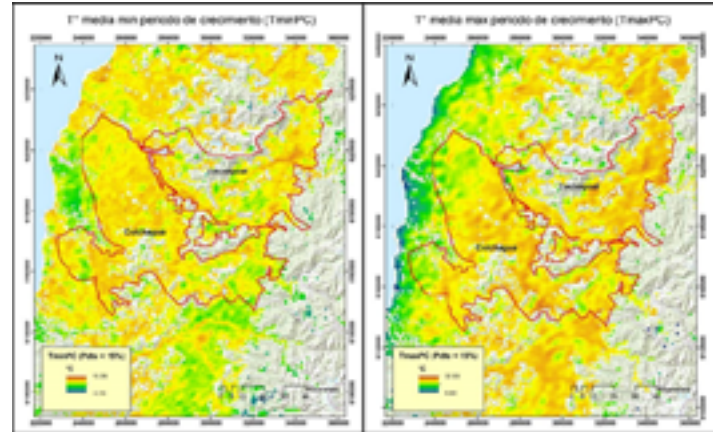


Figura 6: Temperaturas mínimas y máximas de periodo de crecimiento.

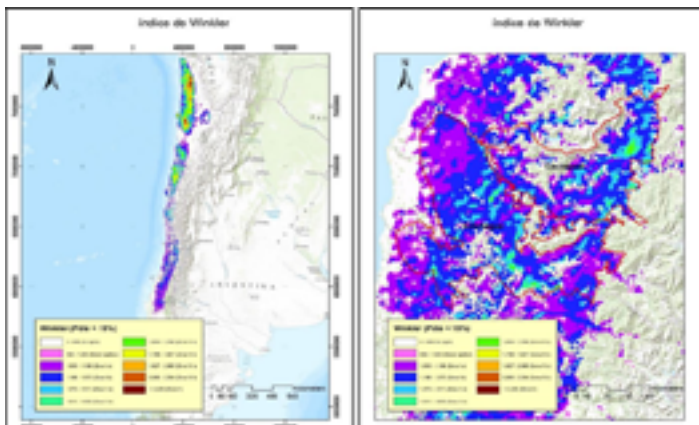


Figura 5: Índice de Winkler.

Otro índice de interés corresponde a las temperaturas del periodo de crecimiento (figura 6). Un indicador que ayuda a comprender las temperaturas basales para el desarrollo óptimo de ciertos cultivares e identificar zonas con potencial productivo.



ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Se evaluaron tres modelos de cambio climático, el modelo CSIRO (Australiano), GFDL (Norteamericano) y HadCM3 (Inglés) en dos escenarios, uno severo (RCP 8.5) y uno moderado (RCP 4.5). Su caracterización depende del grado de forzamiento radiativo que cada uno de estos modelos involucra. Por ejemplo, el modelo RCP 8.5 implica que hacia finales de siglo la radiación incidente sobre la superficie de la tierra será de 8.5 W/m^2 , lo que equivale a una concentración de CO_2 en la atmósfera de 936 ppm.

Por ejemplo, para el caso de las precipitaciones (figura 7) para todos los modelos existe una disminución en los montos. Esta varía según la zona geográfica, acrecentándose en la zona centro. Las proyecciones realizadas muestran cambios promedio hacia 2040, 2070 y 2100.

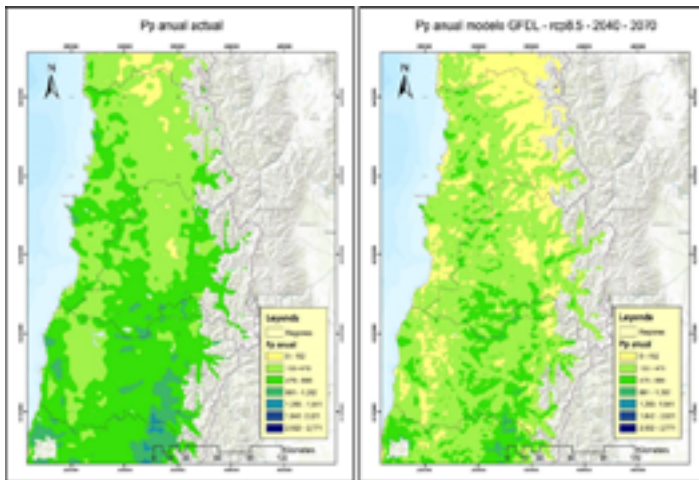


Figura 7: Precipitaciones actuales y futuras en modelo GFDL en escenario severo.

Para el caso de las temperaturas, existen incrementos sostenidos de cerca de 2°C en comparación con el periodo actual. Se observa para la zona central (figura 8) que este incremento es transversal a los valles y se acrecienta hacia zonas de baja cordillera. Para este ejemplo puntual se presenta el escenario más severo, y se debe tener en cuenta que llegar a esta clase de climatología depende de diversos factores, aunque se debe tener en consideración que son principalmente aquellos antropogénicos los que poseen mayor impacto en las proyecciones de clima futuro.

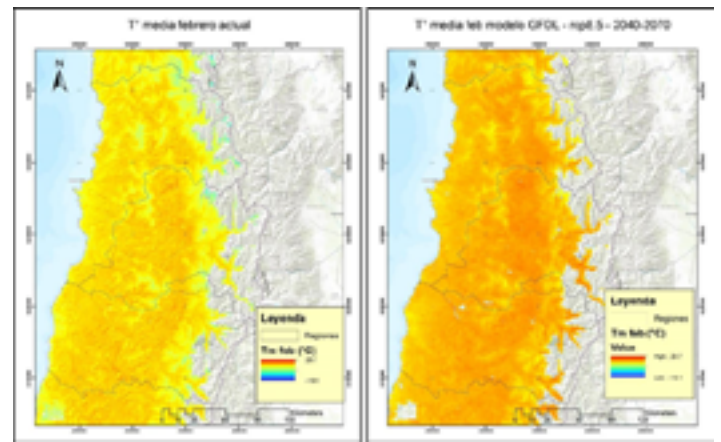


Figura 8: Precipitaciones actuales y futuras en modelo GFDL en escenario severo.

ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS EN PERIODO FUTURO

Mediante una metodología de reducción de escala (downscaling) estadística basada en corrección de sesgo se obtuvieron las series de clima futuro que fueron insumo para la generación de los índices bioclimáticos. La figura 9 muestra para los valles de Colchagua y Cachapoal los cambios que ocurren en las clasificaciones climáticas basadas en el índice de Winkler al considerar el clima futuro bajo el modelo GFDL (Norteamericano) para el modelo más severo.

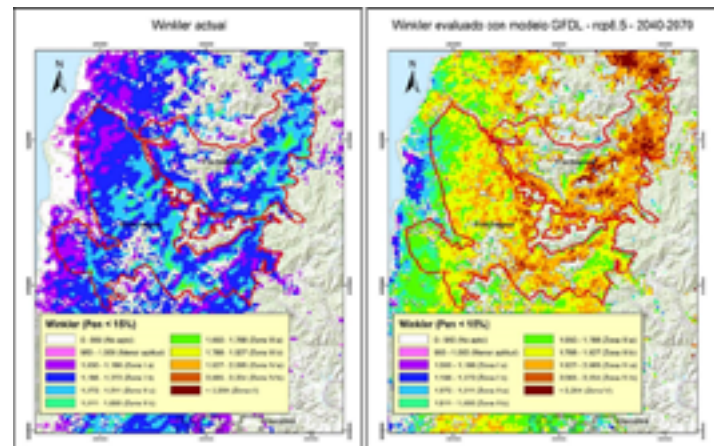


Figura 9: Índice de Winkler considerando clima actual y escenario futuro (GFDL RCP8.5).



EVALUACIÓN DE LA APTITUD VITIVINÍCOLA

La propuesta de clasificación vitivinícola considera el uso de los índices de Winkler, de Huglin y el de la temperatura media de enero para zonificar en base a los criterios descritos en la tabla 3. Según este se definen 6 zonas climáticas para clasificar aptitud para variedades blancas, tintas o mixtas. En base a esto, se obtienen las distintas zonificaciones que se aprecian en el visualizador web.

Tabla 3: Propuesta de clasificación y criterios para establecimiento de zonas climáticas en base a los índices de Winkler, Huglin y MJT

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	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	1.500 a 1.800	≥18	Sauvignon blanc, Chardonnay, Syrah, Riesling
	Zona C2			< 18	Sauvignon blanc, Chardonnay, Pinot noir, Gewürztraminer

Para realizar el procedimiento se toman los indicadores y se aplican los rangos correspondientes a las variedades que se desean evaluar. La figura 10 muestra una clasificación para la cepa Cabernet Sauvignon evaluada tanto para el periodo actual como para el futuro en el escenario severo para el periodo 2040-2070. Se observa con bastante claridad el desplazamiento hacia el sur de las zonas con mayor aptitud.

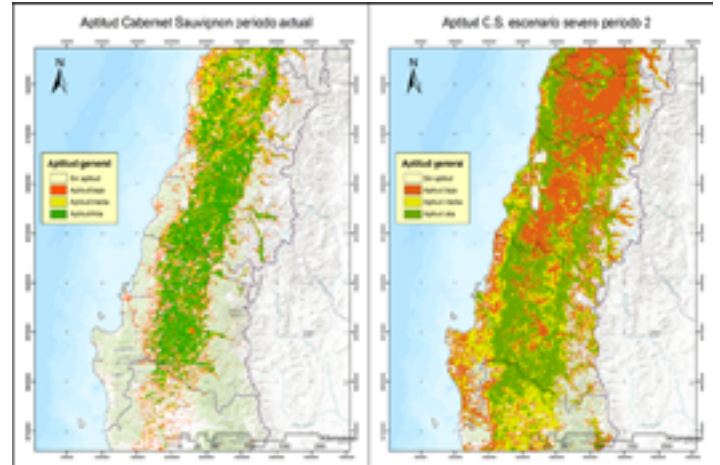
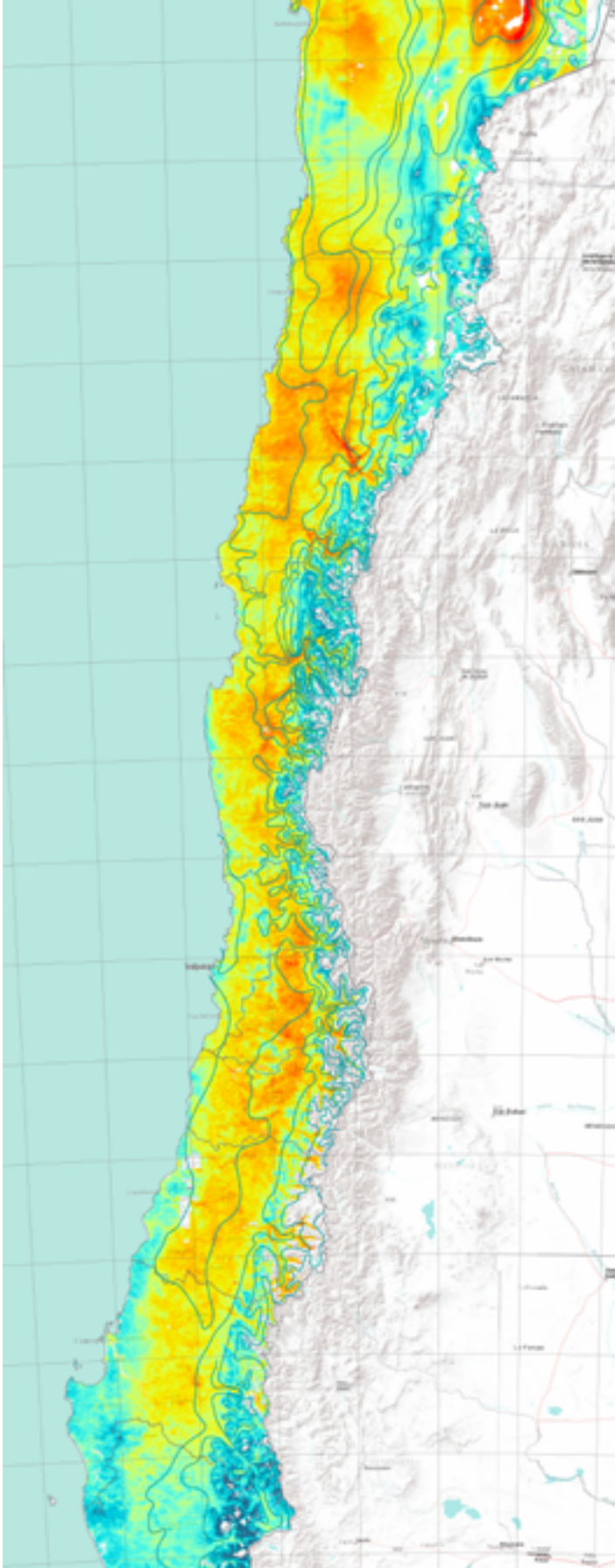


Figura 10: Aptitud vitivinícola, según clasificación por zonas propuesta abarcando el índice de Winkler, índice de Huglin y MJT para los periodos actuales y futuros.



i+D Consorcio
Vinos de Chile



CORFO