



Viticultura andina: caracterización edafoclimática de viñedos establecidos en el Valle de Codpa

Andean Viticulture: Edaphoclimatic Characterization of Vineyards Located in the Codpa Valley

Gastón Gutiérrez-Gamboa, Victoria Contreras Cortez, Sergio Jara, Nicolás Verdugo-Vásquez y Philippo Pszczółkowski¹

Resumen

La viticultura en Codpa se desarrolla en altura bajo un clima subtropical, donde la vid presenta una serie de problemas fisiológicos debido a la falta de frío invernal. El objetivo de este trabajo fue caracterizar edafoclimáticamente los viñedos de Codpa. Los resultados mostraron que el pH de los suelos fue alcalino, mientras que la conductividad eléctrica varió entre 0,81 a 2,10 mmhos/cm. El contenido de nitrógeno de los suelos fue bajo (≤ 20 ppm), mientras que el de boro fue alto ($\geq 2,00$ ppm). El clima de Codpa se caracterizó como intermedio de acuerdo a la temperatura promedio del período de crecimiento (GST = 16,7 °C), y como fresco, de acuerdo con el índice de Heliotérmico de Huglin (HI = 1873,1 unidades de calor). Codpa presentó noches frías de acuerdo al índice de frescor nocturno (CI = 9,8 °C. La tendencia para la temperatura máxima y para la sumatoria de las temperaturas medias y máximas de primavera fue significativa para el período de 1985-2015. La temperatura máxima aumentó 0,044 °C, y la sumatoria de las temperaturas medias y máximas de primavera aumentó en 3,18 y 5,59 unidades de calor, respectivamente, por cada año en Codpa.

Palabras clave: altitud, índices bioclimáticos, parámetros de análisis de suelo, Pintatani.

Abstract

Viticulture in Codpa is developed in altitude under a subtropical climate, where the vines present a series of physiological disorders due to the lack of chilling hour accumulation. The goal of this research was to characterize the soil and climate conditions of the Codpa Valley vineyards. The results showed that soil pH of the vineyards of Codpa Valley was alkaline, whereas the soil electrical conductivity varied from 0.81 to 2.10 mmhos/cm. Soil nitrogen content was low (≤ 20 ppm), whereas soil boron content was high (≥ 2.00 ppm). Climate of Codpa is characterized as intermediate according to the Growing Season Temperature (GST = 16.7 °C), and cool by the Huglin Heliothermal Index (HI = 1873.1 heat units). Codpa presents cold nights according to the Cold Night Index (CI = 9.8 °C). The trend for

¹ Gastón Gutiérrez-Gamboa: Universidad Mayor, Temuco, Chile, ORCID 0000-0003-3207-850X, gaston.gutierrez@umayor.cl; Victoria Contreras Cortez: Cooperativa Lagar de Los Oasis, Pica, Chile, ORCID 0000-0003-2642-2220, victoriacortezcortez@gmail.com; Sergio Jara: Cooperativa Lagar de los Oasis, Pica, Chile, ORCID 0000-0003-0528-8245, sfjara@uc.cl; Nicolás Verdugo-Vásquez: Centro de Investigación Intihuasi e Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, La Serena, Chile, ORCID 0000-0002-0016-5644, nicolas.verdugo@inia.cl; Philippo Pszczółkowski: Universidad Mayor, Santiago, Chile, ORCID 0000-0001-7220-2347, philippo.pszczolkowski@umayor.cl

the maximum temperature and for the sum of the mean and maximum spring temperatures in Codpa was highly significant for the period from 1985 to 2015. Thereby, the maximum temperature increased by 0.044 °C, and the sum of the mean and maximum temperatures spring increased by 3.18 and 5.59 heat units, respectively for each year in Codpa.

Keywords: altitude, bioclimatic indices, soil analysis parameters, Pintatani wine.

RECIBIDO: 13/04/2022 · ACEPTADO: 21/07/2022 · PUBLICADO: 01/01/2023

Introducción

El origen de la viticultura en Codpa se remonta al siglo XVI, cuando estacas de vides Listán Prieto (cv. País) provenientes de las Islas Canarias se empezaron a cultivar en los valles australes del Virreynato del Perú, específicamente en las cuencas de Azapa y Codpa. Desde fines del siglo XVI hasta entrado el siglo XVIII, la demanda de vino por parte de los misioneros católicos, y de vino, alcohol y vinagre desde la pujante urbe de Potosí, dió lugar a un importante desarrollo vitivinícola en Codpa, que tenía en Arica su principal puerto de distribución (Castro *et al.*, 2015). La alta demanda de vino y sus derivados era un negocio seguro para los productores del valle, quienes fueron produciendo vino del año según la costumbre vitivinícola venida de la península ibérica (Castro *et al.*, 2015). A la caída de la demanda de productos vitivinícolas desde Potosí, se fue instalando la demanda de las propias comunidades andinas que tenían en el vino de Codpa uno de los ingredientes principales de sus fiestas religiosas y costumbres; y de los nuevos centros mineros, como Huantajaya o, en tiempos más recientes, de las oficinas salitreras de Tarapacá (Castro *et al.*, 2015; Muñoz y Hurtado, 2020). En la actualidad, la viticultura del Valle de Codpa se desarrolla principalmente entre los 18°49' y 18°50' latitud sur y entre los 69°46' y 69°42' longitud oeste, a una altitud aproximada entre los 1.743 y los 2.010 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) (Poblete *et al.*, 2011). El valle se encuentra rodeado por las paredes de la quebrada de Vitor, las cuales se elevan a unos 2.500 m.s.n.m. (Castro *et al.*, 2015).

En términos climáticos, Codpa presenta un clima subtropical. Bajo estas condiciones, la vid presenta una serie de problemas fisiológicos que se producen principalmente debido a la falta de acumulación de frío invernal, entre las cuales destacan una marcada acrotonía, un crecimiento disparado de los brotes y un envejecimiento acelerado de las vides (Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2020). Los efectos fisiológicos producidos por cultivar la vid en zonas subtropicales pueden suavizarse estableciendo la vid a mayor altura debido al enfriamiento adiabático (Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2020). En este caso, la altitud puede generar una disminución en la temperatura entre 0,60 a 0,65 °C cada 100 m de altitud (Pszczółkowski *et al.*, 2010), aunque recientes estudios estiman que, hacia finales del presente siglo, la disminución de la temperatura solo será de 0,41 a 0,49 °C por cada 100 m de altitud (Alikadic *et al.*, 2019).

El Valle de Codpa presenta una topografía irregular, dando lugar a numerosos mesoclimas, los cuales se diferencian, particularmente, por el número de horas de luz que reciben los diversos sectores a lo largo del valle. Por otro lado, producto de estas diferencias, en las laderas no hiela, mientras que en las partes bajas pueden ocurrir heladas hasta agosto. Es interesante destacar que el cultivo de la vid se realiza asociado a otras especies hortofrutícolas, tales como maracuyá, tumbo, palto, manzano, peral, membrillo, naranjo, limonero, pomelo, mora, guayabo, higo, alfalfa, entre otras, las cuales presentan un manejo agronómico común (Castro *et al.*, 2015). En este ecosistema, las vides se conducen en un sistema de vaso o libremente, formando semi parrones (Castro *et al.*, 2015), y se riegan a tendido con aguas del río Vitor, nacido en el altiplano en el sector de Umirpa. Las chacras y bodegas localizadas en Codpa tienen su propio relato ancestral en relación con el momento de la poda, la aplicación de azufre, cosecha, asoleado de la uva, pisado de la uva y fermentación alcohólica, saberes que son conservados con celo por las familias viñateras.

La zona se destaca por la producción del vino Pintatani, el cual es producido por pequeños agricultores de origen aymara (Muñoz y Hurtado, 2020), quienes mencionan que su historia productiva data de hace más de cuatro siglos. La elaboración de Pintatani sigue un método tradicional de vinificación, en donde posterior a la cosecha, se realiza el asoleado de la uva en el suelo, el cual tiene una duración de entre 7 y 10 días. Luego, se realiza el prensado de la uva en antiguos lagares de piedra, el cual, en primera instancia, se hace mediante pisado, lo que comúnmente se denomina como “pisa pisa”. Posteriormente, el orujo se prensa con piedras de gran tamaño que se lanzan al lagar. La fermentación alcohólica se inicia una vez que se introduce el mosto a los estanques de vinificación o vasijas de greda y se establece que termina 30 días después de esto. El vino fermentado se guarda en vasijas de greda, barricas de madera o chuicas de vidrio, el cual, tras uno o dos trasvasijos, se embotella y se distribuye en el mismo año de producción. El Pintatani se trata de un vino generoso que presenta un color que va desde el rosado claro a intenso, con diversos grados de limpidez, aromas a uva sobremadura, pasas y variados niveles de oxidación y añejamiento (Castro *et al.*, 2015). En boca se describe como un vino dulce, alcohólico, de baja acidez y astringencia (Castro *et al.*, 2015). En la actualidad, la cosecha de la fruta se realiza hacia fines de abril más por calendario que por mediciones fisicoquímicas de la fruta, coincidiendo en ocasiones con la Semana Santa. Esta se realiza en el momento en que la uva alcanza un cierto grado de pasa y se tiene conocimiento empírico de que la uva madura anticipadamente en los sectores más altos, como en Guañacagua (18°49' LS, 69°42' LO, 2.015 m.s.n.m.), en comparación a los más bajos, como Ofragía (18°49' LS, 69°46' LO, 1.762 m.s.n.m.).

El vino elaborado en Codpa posee un tremendo valor desde la perspectiva histórica, tanto por la riqueza del material vegetal, así como también, por el respeto al saber hacer ancestral de la gente de este territorio. Sin embargo, estos aspectos han ido históricamente de la mano con una serie de dificultades tanto a nivel vitícola como enológico. El ataque de animales, en especial, de aves y roedores, es uno de los principales problemas que enfrentan los productores. Por otro lado, en la actualidad, la producción de vino se ha mantenido en pequeña escala, con técnicas de vinificación de baja intervención y que respetan la identidad de los vinos del valle. Esto ha permitido traspasar a los vinos colores, aromas y sabores característicos de la zona y del manejo vitivinícola. A pesar

de lo mencionado anteriormente, se observan una serie de problemas técnicos en la producción de vino, entre los que destacan (i) la baja conversión de uva a litro de vino, (ii) fermentaciones alcohólicas estancadas y/o aceleradas, (iii) corta vida útil de los vinos, (iv) presencia de gas en botella y (v) pérdida de vino por aumentos excesivos de la acidez volátil y picadura acética. La sumatoria de estos aspectos determina que la producción vitivinícola en Codpa se vea restringida, afectando la producción anual y la economía de los productores.

Durante los últimos años, existe un gran interés por parte las viñas, enólogos y productores independientes por hacer vinos distintos, con sentido de lugar, lo que los ha llevado a transitar por el camino del rescate de técnicas antiguas de vinificación, poniendo en valor las vides antiguas y algunos vinos que estaban en el olvido, y que hoy son considerados por muchos como patrimoniales (Tello, 2017). La búsqueda de elementos patrimoniales en la cultura vitivinícola chilena se ha instalado con fuerza, pero ha resultado un trabajo complejo, pues no existe un solo criterio acerca de su significado (Tello, 2017). En este sentido, un ejemplo de patrimonio es el Pintatani de Codpa que aúna un espacio geográfico con un relato histórico (Castro *et al.*, 2015; Muñoz y Hurtado, 2020). Este vino presenta un valor tremendo desde la perspectiva histórica, tanto por la riqueza del material vegetal, como también por el respeto al saber hacer ancestral de la gente de este territorio. Sin embargo, como ha sido mencionado anteriormente, estos aspectos han ido históricamente de la mano con una serie de dificultades, tanto a nivel vitícola como también enológico. Estos problemas se han traducido en importantes disminuciones en el rendimiento de los viñedos, en la pérdida significativa de botellas por problemas de refermentación y picadura acética. Esto último, a su vez, ha afectado tanto la comercialización como el renombre de los vinos elaborados en el Valle de Codpa. En base a esto, resulta oportuna su investigación debido a su posible contribución al proyecto de postular los viñedos patrimoniales de Chile como Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO, idea que cada vez tiene más fuerza en el sector (Rojas Aguilera, 2021). Sin embargo, a pesar de lo mencionado anteriormente, diversos problemas sociales, políticos, económicos e históricos han hecho que la viticultura de Codpa esté al borde de desaparecer.

Por lo tanto, debido a las particularidades de la viticultura desarrollada en Codpa y al desconocimiento por parte de los consumidores y de la industria del vino que se posee del valle, en relación con la producción de uva para la elaboración de vinos, el objetivo de este trabajo fue caracterizar edafológica y climáticamente viñedos del Valle de Codpa y definir lineamientos futuros para su manejo agronómico.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

La investigación está ubicada en el Valle de Codpa entre los 18°49' y 18°50' Latitud Sur y entre los 69°46' y 69°42' Longitud Oeste y entre los 1.743 y los 2.010 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) (Figura 1). El Valle de Codpa corresponde a un valle estrecho con orientación Este a Oeste, ubicado en la quebrada de Vitor, Comuna de Camarones, Provincia de Arica, Región de Arica y Parinacota. El sector agrícola visitado posee aproximadamente 110 hectáreas regables.

Figura 1. La agricultura en el Valle de Codpa. Petroglifos ubicados en Ofragía sobre un predio agrícola (izquierda). Parcela agrícola cultivada con vides y otras especies frutales (derecha)
Figure 1. Agriculture in the Codpa Valley. Petroglyphs located in Ofragía on an agricultural property (left).
Agricultural plot cultivated with vines and other fruit species (right)



Fuente: fotografías de Sergio Jara y Victoria Contreras.
Source: photographs by Sergio Jara and Victoria Contreras.

Caracterización edáfica de viñedos del Valle de Codpa

La caracterización edáfica fue efectuada mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos y de elementos minerales ubicados en los distintos suelos seleccionados de forma aleatoria en viñedos del Valle de Codpa. Se obtuvieron muestras desde calicatas que se elaboraron en once suelos distintos a lo largo del valle, lo que correspondió a once parcelas distintas. En cada zona seleccionada, se realizaron tres calicatas con dimensiones de 1,0 x 1,0 m y se tomaron al menos diez submuestras a una profundidad de 20 a 40 cm. Las muestras se obtuvieron desde las cuatro paredes de cada calicata en cilindros de 5,4 cm de diámetro y 3,0 cm de altura con ayuda de un barreno. Posteriormente, las muestras se llevaron al Laboratorio de Servicios de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile para su procesamiento. Las muestras tomadas fueron llevadas al laboratorio en cajas metálicas tapadas siguiendo las recomendaciones de la norma técnica internacional. El análisis del suelo contempló un análisis de salinidad que correspondió a determinaciones de pH, conductividad eléctrica, sodio (CE), cloro (Cl), bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) y se calculó la relación de adsorción de sodio. Por otro lado, se realizaron análisis complementarios como nitrógeno nítrico (N-NO_3), nitrógeno amoniacal (N-NH_4) y otros elementos como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y boro (B).

Caracterización climática de Codpa

La caracterización climática, por su parte, se realizó a partir de información climática registrada por una estación meteorológica administrada por la Dirección General de Aguas (DGA) ubicada en Codpa (18°33' LS, 69°74' LO, 1.870 m.s.n.m.). Se definió un período de análisis desde 1985 hasta 2015 con el objetivo de analizar las tendencias y significancias

de diferentes índices meteorológicos y bioclimáticos calculados. Cabe destacar que no se incluyeron índices de riesgo, ya que durante el período analizado no hubo eventos de riesgo climático en Codpa, es decir, número de días con temperaturas por debajo de 0°C o por sobre los 30 y 35°C (período septiembre-marzo). Los índices meteorológicos calculados fueron la temperatura mínima (Min T), la temperatura máxima (Max T) y las precipitaciones (PP) para el período del 01 de enero al 31 de diciembre, de acuerdo con las indicaciones de la OIV (2015). Los índices bioclimáticos calculados fueron la temperatura promedio del período de crecimiento (GST), los grados días acumulados (GDD), el índice Heliotérmico de Huglin (HI), los grados días acumulados biológicamente efectivos (BEDD), el índice de frescor nocturno (CI) y la sumatoria de las temperaturas medias (SONMean) y máximas (SONMax) de primavera, tal como se muestra en Tabla 1.

Tabla 1. Índices meteorológicos y bioclimáticos calculados para el período 1985-2015 en Codpa
Table 1. Meteorological and bioclimatic indices calculated for the 1985 to 2015 period in Codpa

Nombre índice	Ecuación	Período cálculo	Referencia
Índice meteorológico			
Temperatura mínima (Min T, °C)	$Min\ T = \frac{\sum_{d=1}^n T\ Min}{n}$	01 enero al 31 diciembre	OIV (2015)
Temperatura máxima (Max T, °C)	$Max\ T = \frac{\sum_{d=1}^n T\ Max}{n}$		
Precipitaciones (PP, mm)	$PP = \frac{\sum_{d=1}^n PP}{n}$		
Índice bioclimático			
Temperatura promedio período de crecimiento (GST, °C)	$GST = \frac{\sum_{d=1}^n \frac{T\ Max + T\ Min}{2}}{n}$	01 octubre al 30 abril	Jones <i>et al.</i> (2005)
Grados días (GDD, UC)	$GDD = \sum_{d=1}^n \max \frac{(T\ Max + T\ Min)}{2} - 10$	01 octubre al 30 abril	Amerine y Winkler (1944)
Índice Heliotérmico de Huglin (HI, UC)	$HI = \sum_{d=1}^n \max \left(\frac{(T\ Mean - 10 + T\ Max - 10)}{2} \right) k$	01 octubre al 31 marzo	Huglin (1978)
Grados días biológicamente efectivos (BEDD, UC)	$BEDD = \sum_{d=1}^n \min \left[\max \left(\frac{T\ Max + T\ Min}{2} - 10 \right), 9 \right] T Radj. k$ $TRadj = \begin{cases} 0,25[TR - 13], [TR] > 13 \\ 0,0, & 10 < [TR] < 13 \\ 0,25[TR - 10], [TR] < 10 \end{cases}$	01 octubre al 30 abril	Gladstones (1992)
Índice de frescor nocturno (CI, °C)	$CI = \frac{\sum_{d=1}^n T\ Min}{n}$	01 marzo al 31 marzo	Tonietto y Carbonneau (2004)
Sumatoria de temperaturas medias de primavera (SONMean, UC)	$SONMean = \sum_{d=1}^n T\ mean$	01 septiembre al 30 noviembre	Jarvis <i>et al.</i> (2017)
Sumatoria de temperaturas máximas de primavera (SONMax, UC)	$SONMax = \sum_{d=1}^n T\ max$		

UC: unidades de calor. Fuente: elaboración propia. UC: calor unities. Source: own elaboration.

Análisis estadístico

Para estimar las tendencias y significancias de cada índice durante el período mencionado se usó la prueba no paramétrica Mann-Kendall y el estimador de la pendiente de Sen. La prueba de Mann-Kendall indica cuando una tendencia es significativa o no, con un nivel de confianza del 95%. El estimador de Sen en cambio, indica la magnitud de la tendencia (positiva o negativa), expresada como cambios por año. El programa XLSTAT versión 2020.3.1 (Addinsoft SARL, París, Francia) fue utilizado para realizar los análisis mencionados.

Resultados y discusión

Caracterización edáfica de viñedos del Valle de Codpa

La Tabla 2 muestra las propiedades fisicoquímicas (pH y conductividad eléctrica), el contenido de sales solubles (sodio, cloro, bicarbonato y sulfato) y la relación de adsorción de sodio (RAS) de once suelos cultivados con vides en el Valle de Codpa. El pH de los suelos de los viñedos de Codpa es alcalino y sus niveles variaron entre 7,09 y 7,86 (Tabla 2). Cabe destacar que se evidenciaron importantes deficiencias de magnesio (Mg) en terreno (Figura 2), lo cual pudo ser inducido por el pH del suelo. En este sentido, se observó también la presencia ocasional de álcali negro, el cual se produce por la presencia de carbonato de sodio en suelos con pH alcalino. La alta disponibilidad de calcio (Ca) y potasio (K) en suelos calcáreos con pH básico puede frenar la absorción de Mg e inducir su deficiencia en tejidos vegetales debido a la competencia entre estos cationes (Keller, 2020). Lo mismo aplica con el sodio (Na) en suelos salinos (Shaul, 2002).

La conductividad eléctrica de los suelos varió entre 0,81 a 2,10 dS/m, por lo que los suelos de Codpa presentan niveles bajos de salinidad, con excepción del Suelo X (Tabla 2). El umbral por sobre el cual las vides comienzan a afectarse por la salinidad en su crecimiento y productividad es aproximadamente a los 2 dS/m, y a niveles por sobre los 16 dS/m las vides no pueden sobrevivir (Keller, 2020). El contenido de sales en la mayoría de los suelos de Codpa fue bajo con excepción del Suelo X. En este sentido, el contenido soluble de sodio (Na^+) varió entre 2,64 y 4,81 meq/L; el de cloro (Cl^-), entre 1,22 y 2,73 meq/L; el de bicarbonato (HCO_3^-), entre 1,6 y 5,2 meq/L; y el de sulfato (SO_4^{2-}), entre 1,84 y 8,54 meq/L (Tabla 2). Sin embargo, el Suelo IV, el Suelo VI, el Suelo VII, y el Suelo VIII presentaron niveles por sobre los 4 meq/L de HCO_3^- , por lo que podrían manifestarse ciertos problemas de clorosis en sus viñedos. La relación de adsorción de sodio (RAS) es la proporción relativa en que se encuentra el sodio y los iones calcio y magnesio, la cual, resultó ser baja ($< 13\%$) (Sposito y Mattigod, 1977). El sodio favorece la degradación del suelo y sustituye al calcio en los suelos de zonas áridas (Gil y Pszczółkowski, 2015). Esta sustitución da lugar a una dispersión de los agregados y a una pérdida de la estructura del suelo, por lo que adquiere un aspecto pulverulento y amorfo, perdiendo rápidamente su permeabilidad (Gil y Pszczółkowski, 2015).

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas y contenido de sales solubles de distintos suelos del Valle de Codpa
Table 2. Physicochemical properties and soluble salt content of different soils from Codpa Valley

	pH	Conductividad eléctrica (dS/m)	Sodio soluble (meq/L)	Cloro soluble (meq/L)	Bicarbonato soluble (meq/L)	Sulfato soluble (meq/L)	Relación de adsorción de sodio (RAS)
Suelo I	7,71	1,02	3,02	1,51	3,8	2,31	1,53
Suelo II	7,84	1,19	3,08	1,56	4,0	2,86	1,42
Suelo III	7,09	0,81	2,88	1,51	1,6	2,34	1,79
Suelo IV	7,86	1,34	3,89	2,39	4,8	3,16	1,66
Suelo V	7,47	0,94	2,89	1,22	4,0	2,24	1,51
Suelo VI	7,51	0,96	3,31	1,39	4,2	1,87	1,73
Suelo VII	7,78	0,92	2,77	1,73	4,7	2,02	1,45
Suelo VIII	7,47	1,33	3,98	1,90	5,2	3,56	1,67
Suelo IX	7,59	0,93	3,42	1,22	3,5	2,56	1,84
Suelo X	7,55	2,10	4,81	2,73	4,0	8,54	1,46
Suelo XI	7,45	0,84	2,64	1,65	3,5	1,84	1,50

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

La Tabla 3 muestra el contenido de nitrógeno (N), amonio (N-NH_4), nitrato (N-NO_3), fósforo (P), potasio (K) y boro (B) disponible en once suelos cultivados con vides en el Valle de Codpa. El contenido de nitrógeno en los viñedos del Valle de Codpa varió entre 8 y 10 ppm, mientras que el de amonio varió entre 4,17 y 7,85 ppm. Por su parte, el contenido de nitrato varió entre 3,71 y 12,31 ppm (Tabla 3). En este sentido, el contenido de nitrógeno de los suelos de los viñedos en Codpa resultó ser bajo (< 20 ppm), a excepción del Suelo VII, por lo que es importante considerar la aplicación de fertilizantes o de materia orgánica dado el pH de los suelos (Tabla 2). Las vides normalmente requieren de N en la forma de nitrato inorgánico (N-NO_3). Sin embargo, la mayoría del N presente en el suelo está ligado a la materia orgánica, el cual no está disponible para ser directamente absorbido por las raíces (Keller, 2020). En suelo áridos y salinos, la absorción excesiva de cloro interfiere con la nutrición de nitrógeno porque la absorción de nitrato responde a la concentración de nitrato con cloro más que a la concentración de nitrato por sí sola (Clarkson, 1985). Esta competencia por la absorción entre cloro y nitrato requiere de la aplicación de abundante nitrógeno para aumentar el estado nitrogenado de la planta en suelos salinos (Keller, 2020). Cabe destacar que la falta de nitrógeno sumado al manejo tradicional de los viñedos, en donde se deja un exceso de yemas por planta, contribuye a agravar el problema de envejecimiento de las vides, lo cual fue observado en terreno.

Por otro lado, el contenido de fósforo de los suelos varió entre 5 a 49 ppm presentando niveles bajos (Suelo V, Suelo VI y Suelo IX), medios (Suelo IV y Suelo XI) y altos (resto de los predios) de este macronutriente dependiendo del sitio de estudio (Tabla 3). Niveles bajos de fósforo limitan la división celular, restringiendo la iniciación foliar en el meristema apical y la expansión de nuevas hojas (Keller, 2020). Por otro lado, es importante destacar que bajos niveles de fósforo pueden restringir el transporte de Mg en el xilema (Skinner y Matthews, 1990). El contenido de potasio en los suelos de Codpa fue alto (> 300 ppm) y varió entre 357 y 894 ppm (Tabla 3). Es importante destacar que el exceso de K puede disminuir las concentraciones de Ca y Mg en las hojas y en los órganos perennes de las vides debido a la competición por su absorción por las raíces (Keller, 2020).

Tabla 3. Contenido de nitrógeno, amonio, nitrato, fósforo, potasio y boro de distintos suelos del Valle de Codpa

Table 3. Nitrogen, ammonium, nitrate, phosphorus, potassium, and boron content of different soils from Codpa Valley

	N (ppm)	N-NH₄ (ppm)	N-NO₃ (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	B (ppm)
Suelo I	13	4,46	8,22	33	619	3,89
Suelo II	16	4,17	11,44	49	546	3,15
Suelo III	9	4,46	4,86	16	458	3,36
Suelo IV	14	6,50	7,26	14	657	3,15
Suelo V	10	5,92	4,43	8	410	2,19
Suelo VI	13	5,53	7,50	5	385	2,50
Suelo VII	17	7,38	9,14	24	894	2,99
Suelo VIII	20	7,86	12,31	40	747	3,69
Suelo IX	8	4,26	3,71	5	357	2,69
Suelo X	11	4,26	6,73	22	541	3,55
Suelo XI	11	6,40	4,81	15	809	3,44

Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

El contenido de boro en los suelos de Codpa fue muy alto (> 2,00 ppm) y varió entre 2,19 y 3,89 ppm (Tabla 3). El boro es un elemento esencial para las plantas, uniendo la red de polisacáridos de las células de las paredes primarias (O'Neill *et al.*, 2004). Cabe destacar que las raíces de las vides no son capaces de excluir el exceso de boro, incrementando el riesgo de toxicidad, la cual se exagera particularmente en las zonas áridas (Keller, 2020). En este sentido, algunos los sitios evidenciaron síntomas de toxicidad de boro en sus viñedos (Figura 2), lo que podría ser un factor determinante para potenciales pérdidas de productividad del viñedo.

Figura 2. Deficiencia de magnesio (izquierda) y toxicidad de boro (derecha) evidenciados en viñedos del Valle de Codpa

Figure 2. Magnesium deficiency (left) and boron toxicity (right) evidenced in Codpa Valley vineyards



Fuente: fotografías de Philippo Pszczółkowski. Source: photography by Philippo Pszczółkowski.

Caracterización climática de Codpa

A continuación, la Tabla 4 muestra el promedio, significancia y tendencia para los diferentes índices meteorológicos y bioclimáticos calculados durante el período de 1985 a 2015 en Codpa. El clima de Codpa se caracteriza como intermedio entre fresco y cálido de acuerdo con la temperatura promedio del período de crecimiento de la vid (GST = 16,7 °C). Por otro lado, de acuerdo con el Índice Heliotérmico de Huglin (HI = 1873, 1 unidades de calor), el clima de Codpa se caracteriza como fresco, a diferencia de gran parte de la producción vitícola de la zona norte-centro y centro-sur de Chile, que se caracteriza por ser cálida (Montes *et al.*, 2012; Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2018a; Bravo Ávila *et al.*, 2021; Verdugo-Vásquez *et al.*, 2021). De acuerdo con lo expuesto por Montes *et al.* (2012, Codpa tendría condiciones climáticas más frescas que los valles de Aconcagua, Maule, Maipo, Cachapoal, incluso Casablanca. Por otro lado, de acuerdo con el índice de frescor nocturno (CI = 9,8 °C), Codpa presenta noches frías, lo que puede resultar en la producción de fruta de alta calidad en términos de su composición aromática y fenólica (Tonietto y Carbonneau, 2004), similar a ciertas zonas del Valle del Maule que son caracterizadas por proveer vinos de alta calidad (Gutiérrez-Gamboa *et al.*, 2018a, 2018b).

Tabla 4. Promedio, significancia y tendencia para los diferentes índices calculados durante el período de 1985 a 2015 en Codpa

Table 4. Mean, significance, and trend for the different indices calculated during the period from 1985 to 2015 in Codpa

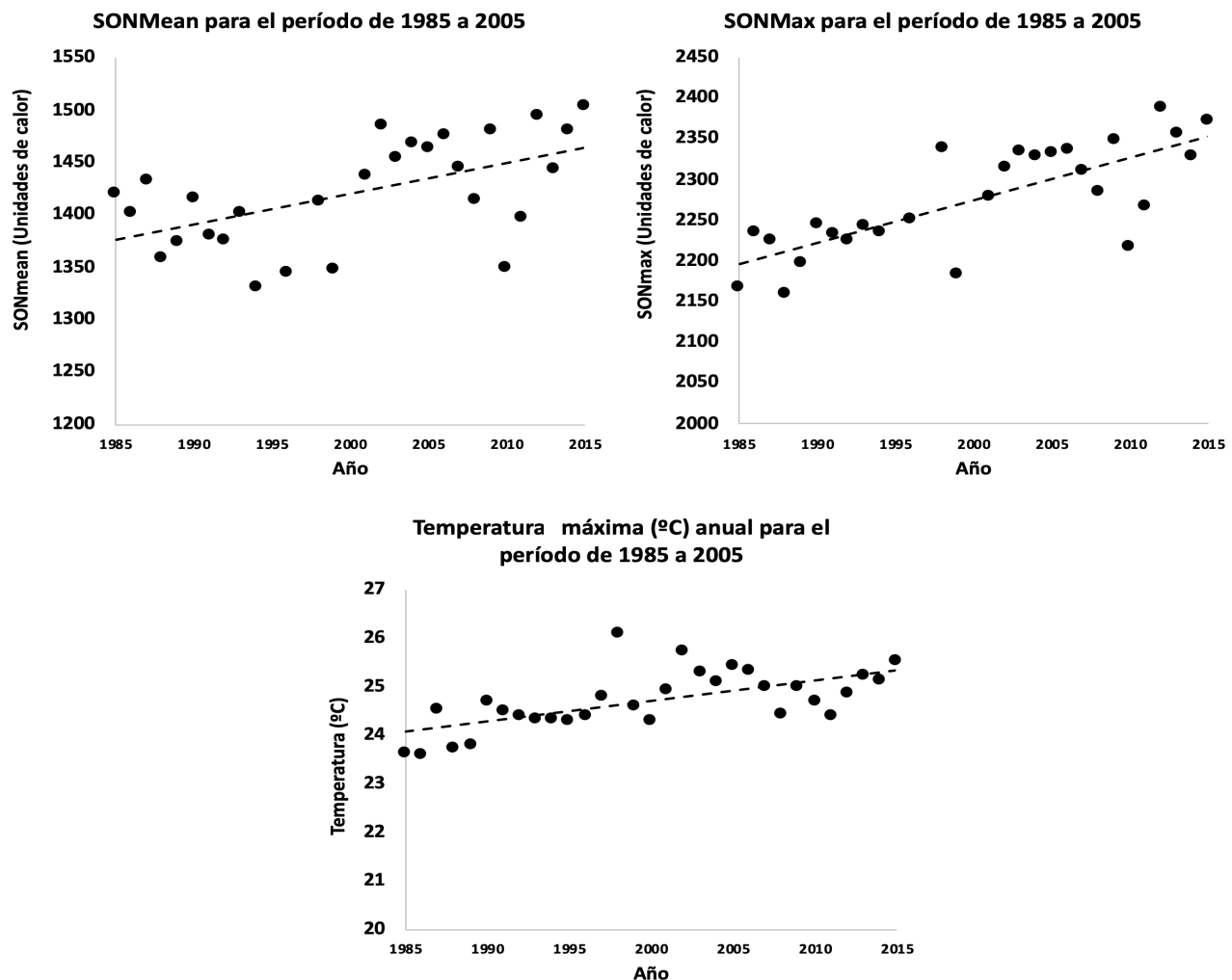
Nombre índice	Valor promedio período 1985-2015	Valor <i>p</i> tendencia (Prueba Mann-Kendall)	Valor tendencia (Estimador Sen)
Índice meteorológico			
Temperatura mínima	7,1 °C	0,51	0,009 °C/año
Temperatura máxima	24,7 °C	0,000	0,044 °C/año
Precipitaciones	17,7 mm	0,26	0,381 mm/año
Índice bioclimático			
Temperatura promedio período de crecimiento (GST, °C)	16,7 °C	0,32	0,020 °C/año
Grados días (GDD, UC)	1432,0 UC	0,32	4,11 UC/año
Heliotérmico de Huglin (HI, UC)	1873,1 UC	0,05	5,69 UC/año
Grados días biológicos efectivos (BEDD, UC)	1277,0 UC	0,08	5,16 UC/año
Frescor nocturno (CI, °C)	9,8 °C	0,72	0,012 °C/año
Sumatoria de temperaturas medias de primavera (SONMean, UC)	1420,9 UC	0,006	3,18 UC/año
Sumatoria de temperaturas máximas de primavera (SONMax, UC)	2276,4 UC	0,0001	5,59 UC/año

UC: unidades de calor. En rojo se muestran las tendencias significativas. Fuente: elaboración propia.
UC: calor unities. Significant trends are shown in red. Source: own elaboration.

Respecto a las tendencias de los índices meteorológicos y bioclimáticos para el período estudiado, en rojo se muestran las que son significativas ($< 0,05$). En este sentido, la tendencia para la temperatura máxima de Codpa es altamente significativa (Tabla 4), lo que indica que durante el período de 1985 a 2015, el promedio anual de la temperatura máxima aumentó $0,044^{\circ}\text{C}$ por cada año en Codpa (Figura 3). Lo anterior se vio reflejado en algunos índices bioclimáticos que consideran la suma térmica en su cálculo, especialmente los que cuantifican los meses de primavera, como son la sumatoria de las temperaturas medias (SONMean) y máximas (SONMax) de septiembre, octubre y noviembre. En este caso, durante el período de 1985 a 2015, la sumatoria de las temperaturas medias y máximas de primavera (promedio anual) aumentó en 3,18 y 5,59 unidades de calor por cada año en Codpa (Figura 3).

Figura 3. Tendencia significativa para la temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$), y la sumatoria de la temperatura media (SONMean) y máxima (SONMax) de primavera (unidades de calor)

Figure 3. Significant trend for the maximum temperature ($^{\circ}\text{C}$), and the sum of the mean (SONMean), and maximum (SONMax) temperatures (calor unities) in spring



Fuente: elaboración propia. Source: own elaboration.

Consideraciones finales

La información entregada en este documento es valiosa, ya que sirve de comparación con otras zonas vitícolas de Chile, y presenta datos preliminares acerca del potencial productivo del Valle de Codpa para el aporte a la diversidad y a la cultura patrimonial del vino chileno. Por otro lado, se entregan lineamientos y sugerencias tecnócratas para la mejora de la productividad vitícola en la zona. Esta información resulta oportuna, además, como contribución al proyecto de postular los viñedos patrimoniales de Chile como Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO, idea que cada vez toma más fuerza en el sector.

Sin embargo, a pesar de lo mencionado anteriormente, cabe destacar que existen diversas dificultades que hacen que la viticultura de Codpa esté al borde de desaparecer, entre las cuales destacan: i) gran parte de los viñedos están olvidados debido a los bajos incentivos económicos que brinda esta actividad en la zona; ii) la asesoría recibida por parte de los expertos tecnócratas ha carecido de empatía en relación a la cosmovisión de los productores y su saber hacer; iii) no existe capacitación cuando se recibe tecnología enológica para mejorar el proceso de elaboración del vino; iv) la distancia de Codpa a los centros urbanos es lejana, por lo que los fletes necesarios para la obtención de materiales e insumos son sumamente caros; v) el agua, cuando está disponible, posee una alta cantidad de metales pesados afectando la calidad del vino; vi) los productores son de edad avanzada y los hijos migran a los centros urbanos para un mayor bienestar económico.

Por lo tanto, se hace imperante, no tan solo una intervención técnica para el apoyo de la viticultura en Codpa, sino más bien uno de índole política y que pueda ir en auxilio de esta actividad que está al borde de desaparecer.

Conclusiones

La viticultura que se desarrolla en Codpa es en suelos de pH alcalino, lo que puede dar lugar a deficiencias de magnesio en los viñedos. Los suelos presentan bajos niveles de salinidad y de nitrógeno, por lo que es importante considerar la aplicación de fertilizantes o de materia orgánica dado el pH de los suelos. El contenido de potasio y de boro fue alto, motivo por el cual se evidenciaron síntomas de toxicidad de este microelemento en los viñedos.

El clima de Codpa se caracteriza como intermedio de acuerdo con la temperatura promedio del período de crecimiento de la vid, y como fresco, de acuerdo al índice de Heliotérmico de Huglin. Codpa presenta noches frías de acuerdo al índice de frescor nocturno, lo que puede resultar en la producción de fruta de alta calidad. La temperatura máxima aumentó 0,044°C, y la sumatoria de las temperaturas medias y máximas de primavera aumentó en 3,18 y 5,59 unidades de calor, respectivamente, por cada año en Codpa desde 1985 a 2015. Estos resultados son los primeros que permiten caracterizar la viticultura de Codpa, y puede servir como guía para el manejo productivo de la vid en la zona.

Agradecimientos

Nuestros sinceros agradecimientos a la Ilustre Municipalidad de Camarones, en especial, a su alcalde Cristian Zavala, a Christian Lagos e Ignacio García del equipo PRODESAL de Camarones. De forma especial, agradecemos a la comunidad de Camarones, en especial a Haydee Montecinos, Omar Romero, Andrés Romero, Olga Romero, María Romero, Esmeralda Barreda, Patricio Apata, Sixto Ajata, Andrelina Manzanares, Alberto Torres, Betty Zavala, Daniel Zenis, Freddy Riobo y Erika Riobo.

Bibliografía

- Amerine, M. y Winkler, A. (1944). "Composition and Quality of Musts and Wines of California Grapes". *Hilgardia* 15: 493-675.
DOI <https://doi.org/10.3733/hilg.v15n06p493>
- Bravo Ávila, D.; Gutiérrez Gamboa, G.; Moreno Simunovic, Y. (2021). "Viticultural Characterization of Carignan (*Vitis vinifera* L.) Grapevine Variety Located in the Rainfed Area of the Maule Valley, Chile". *Revista RIVAR* 8(22): 18-35.
DOI <https://doi.org/10.35588/rivar.v8i22.4769>
- Castro, A.; Mujica, F. y Argandoña, F. (2015). "Between Pintatani and Codpa. Landscape and Typical Products in Peasants Stories, 1847-2013". *Revista RIVAR* 2(6): 70-86.
- Clarkson, D.T. (1985). "Factors Affecting Mineral Nutrient Acquisition by Plants". *Annual Review of Plant Physiology* 36: 77-115.
DOI <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.36.060185.000453>
- Gil, G. y Pszczółkowski, P. (2015). *Viticultura, Fundamentos para Optimizar Producción y Calidad*. Santiago de Chile, Universidad Católica de Chile.
- Gladstones, J. (1992). *Viticulture and Environment*. Adelaide, Winetitles.
- Gutiérrez-Gamboa, G.; Carrasco-Quiroz, M.; Martínez-Gil, A.M.; Pérez-Álvarez, E.P.; Garde-Cerdán, T. y Moreno-Simunovic, Y. (2018a). "Grape and Wine Amino Acid Composition from Carignan Noir Grapevines Growing under Rainfed Conditions in the Maule Valley, Chile: Effects of Location and Rootstock". *Food Research International* 105: 344-352. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.021>
- Gutiérrez-Gamboa, G.; Garde-Cerdán, T.; Carrasco-Quiroz, M.; Pérez-Álvarez, E.P.; Martínez-Gil, A.M.; del Alamo-Sanza, M. y Moreno-Simunovic, Y. (2018b). "Volatile Composition of Carignan Noir Wines from Ungrafted and Grafted onto País (*Vitis vinifera* L.) Grapevines from Ten Wine-Growing Sites in Maule Valley, Chile". *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98(11): 4268-4278.
DOI <https://doi.org/10.1002/jsfa.8949>
- Gutiérrez-Gamboa, G.; Zheng, W. y Martínez de Toda, F. (2020). "Strategies in Vineyard Establishment to Face Global Warming in Viticulture: A Mini Review". *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100(4): 1261-1269. DOI <https://doi.org/10.1002/jsfa.10813>

- Huglin, P. (1978). “Nouveau mode d'évaluation des possibilités heliothermiques d'un milieu viticole”. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France* 64: 117-126.
- Jarvis, C.; Barlow, E.; Darbyshire, R.; Eckard, R. y Goodwin, I. (2017). “Relationship between Viticultural Climatic Indices and Grape Maturity in Australia”. *International Journal of Biometeorology* 61: 1849-1862. DOI <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1370-9>
- Jones, G.V.; White, M.A.; Cooper, O.R. y Storchmann, K. (2005). “Climate Change and Global Wine Quality”. *Climate Change* 73: 319-343. DOI <https://doi.org/10.1007/s10584-005-4704-2>
- Keller, M. (2020). *The Science of Grapevines*. Tercera edición. Amsterdam, Elsevier.
- Montes, C.; Perez-Quezada, J.F.; Peña-Neira, A. y Tonietto, J. (2012). “Climatic Potential for Viticulture in Central Chile”. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 18(1): 20-28. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2011.00165.x>
- Muñoz, W. y Hurtado, A. (2020). “¡Ábranos la puerta, o la echamos abajo! Canto y ritualidad en el Valle de Codpa, Norte de Chile”. En Gana Núñez, A. *Congreso de Carnaval 2020. Canto, Ritual, y Expresión Popular de lo Cotidiano*. Valparaíso, Corporación Carnaval de Coplas por Valparaíso: 58-72.
- OIV (2015). “OIV Guidelines for Studying Climate Variability of Vitiviniculture in the Context of Climate Change and its Evolution”. *OIV International Organisation of Vine and Wine*. París, OIV.
- O'Neill, M.A.; Ishii, T.; Albersheim, P. y Darvill, A.G. (2004). “Rhamnogalacturonan II: Structure and Function of a Borate Cross-Linked Cell Wall Pectic Polysaccharide”. *Annual Review of Plant Biology* 55: 109-139. DOI <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141750>
- Poblete, I.; Pinto, M.; de Andrés, M.T. y Hinrichsen, P. (2011). “Genetic Characterization of Old Grapevines Collected in Oases of the Atacama Desert”. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71(3): 476-482. DOI <https://doi.org/10.4067/s0718-58392011000300020>
- Rojas Aguilera, G. (2021). “Chilean Vineyards as World Heritage”. *Revista RIVAR* 8(22): 218-225.
- Shaul, O. (2002). “Magnesium Transport and Function in Plants: The Tip of the Iceberg”. *Biomaterials* 15: 309-323.
- Skinner, P.W. y Matthews, M.A. (1990). “A novel Interaction of Magnesium Translocation with the Supply of Phosphorus to Roots of Grapevine (*Vitis vinifera* L.)”. *Plant Cell and Environment* 13: 821-826. DOI <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1990.tb01098.x>
- Sposito, G. y Mattigod, S.V. (1977). “On the Chemical Foundation of the Sodium Adsorption Ratio”. *Soil Science Society of American Journal* 41(2):323-329. DOI <https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100020030x>

- Tello, A. (2017). ¿De qué hablamos cuando hablamos de patrimonio? *Vitis Magazine* 10: 42-50.
- Tonietto, J. y Carbonneau, A. (2004). “A Multicriteria Climatic Classification System for Grape-Growing Regions Worldwide”. *Agricultural and Forest Meteorology* 124: 81-97.
DOI <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>
- Verdugo-Vásquez, N.; Gutiérrez-Gamboa, G.; Díaz-Gálvez, I.; Ibacache, A. y Zurita-Silva, A. (2021). “Modifications Induced by Rootstocks on Yield, Vigor and Nutritional Status on *Vitis vinifera* cv Syrah under Hyper-Arid Conditions in Northern Chile”. *Agronomy* 11(5): 979. DOI <https://doi.org/10.3390/agronomy11050979>