

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE DESARROLLO VEGETATIVOS EN  
PLANTAS Y VARI COMO PREDICTORES DEL RENDIMIENTO EN VIDES DE  
SECANO CONDUCIDAS EN CABEZA A LO LARGO DE UNA CATENA**

**POR**

**IGNACIO ALEJANDRO ORTIZ SANDOVAL**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CHILLÁN – CHILE  
2023**

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE DESARROLLO VEGETATIVOS EN  
PLANTAS Y VARI COMO PREDICTORES DEL RENDIMIENTO EN VIDES DE  
SECANO CONDUcidas EN CABEZA A LO LARGO DE UNA CATENA**

**POR**

**IGNACIO ALEJANDRO ORTIZ SANDOVAL**

**MEMORIA PRESENTADA A LA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÓNOMO.**

**CHILLÁN-CHILE**  
**2023**

Aprobada por:

Profesor Asociado, Arturo Calderón O.  
Ing. Agrónomo, Ph. D.

---

Guía

Profesor Asociado, Ignacio Serra S.  
Ing. Agrónomo, MSc., Ph. D.

---

Asesor

Profesor Asistente, Christian Correa F.  
Ing. Civil Agrícola, Dr.

---

Asesor

Profesor Asociado, Guillermo Wells M.  
Ing. Agrónomo, Mg. Cs.

---

Decano

**TABLA DE CONTENIDOS**

	<b>Página</b>
Resumen.....	1
Summary.....	2
Introducción.....	2
Materiales y Métodos.....	6
Resultados y Discusión.....	10
Conclusiones.....	28
Referencias.....	29

## INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

		<b>Página</b>
Figura 1	Topografía y elevación del terreno viñedo Portezuelo...	11
Figura 2	Comportamiento mensual de evapotranspiración de referencia y pluviometría durante la temporada 2019 – 2020.....	13
Figura 3	Potencial hídrico del tallo en cuatro vides del cv. País evaluado en dos sectores de topografía contrastante, loma y vega. Cada columna representa los valores promedio de potencial hídrico y las barras de error representan $\pm 1$ error estándar.....	14
Figura 4	Imagen por planta sector vega y loma, de izquierda a derecha con enmascarado que indica solo la planta con su color correspondiente al tomar la fotografía. Imagen adyacente refleja el índice de resistencia atmosférica visible que indica que tan verde esta la planta, en este caso colores rojizos y anaranjados rangos que reflejen senescencia. ....	19
Figura 5	Regresión lineal entre la variable de índice de área foliar (IAF) y peso de poda para VARI para ambos sectores....	21
Figura 6	Regresión lineal entre rendimiento 2019 y VARI para ambos sectores.....	21
Figura 7	Regresión lineal entre rendimiento 2020 y VARI para ambos sectores.....	22
Figura 8	Regresión lineal de peso de poda respecto al índice de área foliar para ambos sectores.....	22
Figura 9	Regresión lineal de rendimiento 2020 y peso de poda para ambos sectores.....	23

	<b>Página</b>
Figura 10	Regresión lineal de rendimiento 2020 respecto al índice de área foliar para ambos sectores..... 24
Figura 11	Regresión lineal entre el número de racimos por planta y el índice de área foliar para ambos sectores..... 25
Figura 12	Regresión lineal entre el peso de poda y número de racimos por planta..... 26
Figura 13	Regresión entre peso de poda y número de bayas por racimo..... 26
Figura 14	Regresión entre peso de poda y peso de bayas por racimo..... 27
Tabla 1	Promedios mensuales de radiación solar y temperatura media para las temporadas 2019 y 2020 entre los meses de requerimiento hídrico..... 12
Tabla 2	Indicadores de temperatura, humedad relativa, déficit de presión de vapor y potencial hídrico óptimo teórico el día 04 de abril del 2019..... 14
Tabla 3	Resumen análisis estadístico de los sectores loma y vega con las variables de campo, rendimiento y sus componentes para dos temporadas..... 18

## **COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE DESARROLLO VEGETATIVOS EN PLANTAS Y VARI COMO PREDICTORES DEL RENDIMIENTO EN VIDES DE SECANO CONDUCIDAS EN CABEZA A LO LARGO DE UNA CATENA.**

COMPARISON OF PARAMETERS OF VEGETATIVE DEVELOPMENT IN PLANTS AND VARI AS PREDICTORS OF YIELD IN RAINFED VINES TAKEN IN THE HEAD THROUGHOUT A CATENA

**Palabras índice adicionales: Predicción de rendimiento, índice de área foliar, índice de resistencia atmosférica visible (VARI).**

### **RESUMEN**

Las estimaciones productivas en viñedos en el Valle del Itata son dificultosas para los pequeños agricultores, ya sea por su sistema productivo, falta de herramientas, costos asociados y pocos recursos. Es por esto que se propuso un modelo de predicción de rendimiento anticipado a través de un índice vegetativo denominado VARI (índice de resistencia atmosférica visible) con la utilización de drones a través del espectro visible con cámara RGB. El estudio realizado en un viñedo con dos sectores contrastantes en altura y vigor (loma y vega), en vides de secano cv. País. Se comparó VARI con las variables de estimación de rendimiento como índice de área foliar, peso de poda, componentes del rendimiento, longitud, diámetro de brotes y número de cargadores por planta. Así como también factores relacionados con estrés hídrico a través del potencial hídrico del tallo y déficit de presión de vapor. Los resultados obtenidos demuestran muy bajas correlaciones con dichas variables, siendo la más alta para la relación entre VARI y rendimiento temporada 2020 con un  $R^2$ : 0,20  $p = 0,0121$ . De lo contrario, el índice de área foliar y peso poda tuvieron buenas respuestas de correlaciones con el rendimiento y sus componentes con relaciones de un 70 % y un 60 % con valores  $p < 0,0001$  respectivamente, como métodos de predicción productivos. VARI demuestra ser un posible buen indicador de estrés térmico e hídrico en vides de secano del Itata.

## SUMMARY

Production estimates in vineyards in the Itata Valley are difficult for small farmers, due to their production system, lack of tools, associated costs, and few resources. For this reason, an anticipated performance prediction model was proposed through a vegetative index called VARI (visible atmospheric resistance index) with the use of drones through the visible spectrum with an RGB camera. The study carried out in a vineyard with two contrasting sectors in height and vigor (hill and plain), in rainfed vines cv. Country. VARI was compared with yield estimation variables such as leaf area index, pruning weight, yield components, length, shoot diameter, and number of chargers per plant. As well as factors related to water stress through stem water potential and vapor pressure deficit. The results obtained show very low correlations with these variables, the highest being for the relationship between VARI and 2020 season performance with  $R^2: 0.20$   $p = 0.0121$ . Otherwise, the leaf area index and pruning weight had good correlation responses with yield and its components with relationships of 70 % and 60 % with  $p$  values  $<0.0001$  respectively, as productive prediction methods. VARI proves to be a possible good indicator of thermal and water stress in rainfed vines in Itata.

## INTRODUCCIÓN

La Región de Ñuble, donde se encuentra el Valle del Itata, cuenta con el 7,6 % de las 136.166 ha plantada con *Vitis vinífera* L. para vino, en donde el 59,8 % de las variedades tintas corresponde al cultivar País (SAG, 2021). Del total de cepas producidas en Chile, el cultivar País representa un porcentaje relativamente menor, cercano al 10,3 %, pero en el Valle del Itata esta variedad tiene una importancia superior al 35,2 %.

La actividad vitivinícola del valle del Itata es realizada por aproximadamente 4.960 viñateros, en una superficie plantada de 10.422 hectáreas, siendo esta área geográfica la que presenta el mayor número de propietarios a nivel nacional (SAG, 2021). Esto significa que cada productor, en promedio, tiene a su disposición 2,1 ha de viñedos, lo cual implica que la vitivinicultura de la zona es realizada principalmente por pequeños productores (con superficie inferior a 12 hectáreas de

riego básico) (Domínguez *et al.*, 2019). En general, la producción de adecuados rendimientos de fruta y de vinos de calidad de muchos de los pequeños productores del Itata se ve limitada por importantes desafíos técnicos debido a la poca disponibilidad de recursos, falta de redes de apoyo y un uso limitado de nuevas tecnologías de producción (ODEPA, 2017).

Los viñedos del valle del Itata se cultivan en condiciones de secano, lo cual quiere decir que no hay aplicación de riego durante toda la temporada de crecimiento y desarrollo de las plantas, obteniendo éstas su suplemento hídrico a través de las precipitaciones y el aporte de aguas subterráneas (Claret *et al.*, 2020). La vitivinicultura de la zona se desarrolla principalmente en sectores de lomajes, con altas pendientes, y en algunos casos, en vegas sobre suelos franco arcilloso y franco limoso, pertenecientes a las series Cauquenes y Copiulemu (Martínez, 2004). Una proporción importante de las vides cultivadas en el valle del Itata tienen más de 100 años de edad, no utilizan portainjertos, son conducidas en cabeza (56,9 %) y su única práctica de regulación de carga frutal es la poda invernal (SAG, 2021). Esto quiere decir que el rendimiento final de las vides del Itata está altamente determinado por la cantidad de cargadores y yemas frutales dejados en la poda, pues no se utiliza un raleo de racimos o bayas. De esta forma, la capacidad de la vid para producir fruta está íntimamente relacionada al tamaño de la planta (número de yemas) y su capacidad de producir asimilados (Amos *et al.*, 1992). Además, debido a que en las vides conducidas en cabeza suele no existir un manejo de brotes y follaje antes de la cosecha, el tamaño final de la planta se define también durante la poda invernal (FIA, 2019).

En la producción vitivinícola, el estudio de los rendimientos del viñedo es un factor fundamental para definir prácticas agronómicas que permitan la obtención de vinos de calidad. La estimación del rendimiento antes de la cosecha permite ajustar la carga frutal y promover una adecuada maduración de las bayas (García *et al.*, 2020). Además, el contar con una precisa estimación del rendimiento varias semanas antes de cosecha permite proyectar los requerimientos de mano de obra, maquinaria, y logística para la vendimia, así como definir el espacio de bodega, tiempo y costos asociados a la producción del vino (De la Fuente *et al.*, 2015). Esto

es de suma importancia para la viticultura del Itata, pues la vendimia suele ser realizada por un número reducido de trabajadores agrícolas (frecuentemente miembros o amistades de la familia propietaria del viñedo), lo cual hace imprescindible estimar la carga frutal para proyectar las necesidades de mano de obra y tiempo necesario para la recolección de la uva (FIA, 2019).

Debido a que los componentes del rendimiento de las vides (número de racimos, peso de racimo, número de bayas, y peso de bayas) son muy dependientes de las condiciones ambientales (temperatura, radiación solar, estado hídrico, entre otros), las estimaciones productivas suelen tener un alto grado de incertidumbre entre temporadas (Sabbatini y Howell 2010). En un estudio realizado por Valenzuela *et al.* (2011) se reportó una variabilidad de 4,2 ton ha<sup>-1</sup> entre temporadas en viñedos de secano de la Región del Maule. En la actualidad, la manera tradicional de estimar el rendimiento de las vides es por medio del conteo manual del número de racimos en envero, lo cual es un problema al considerar la progresiva disminución de la mano de obra para agricultura en Chile durante los últimos 10 años (ODEPA, 2017). Adicionalmente, el sistema de conducción en “cabeza” dificulta de manera considerable la capacidad de contabilizar los racimos de las plantas debido a que la zona frutal está a una muy baja altura, en algunas ocasiones con los racimos tocando el suelo caliente (Claret *et al.*, 2020). De esta manera, se hace necesario un método más práctico y suficientemente preciso para estimar la carga frutal en las vides de los pequeños agricultores del Itata.

El cultivar País es la cepa con mayor número de superficie en el valle del Itata, con 3.678 hectáreas de un total de 6.148 ha respecto a otras variedades tintas en la Región de Ñuble (SAG, 2021). A pesar de que esta variedad de madurez tardía puede ser vigorosa y muy productiva, sus rendimientos en el Valle del Itata pueden variar dependiendo de la zona geográfica en que se encuentren. Sin embargo, por lo general, se obtiene de 0,7 a 1 kg de uva por planta, con una producción de 4.000 a 6.000 kg por hectárea, lo cual es relativamente bajo en comparación con los viñedos conducidos en espaldera y bajo riego, los cuales suelen superar los 15.000 kilos por hectárea (Claret *et al.*, 2020). Junto con los problemas de baja productividad por planta, los viñedos del Itata suelen exhibir una alta heterogeneidad

en los componentes del rendimiento (número de racimos, número de bayas, peso de bayas) (FIA, 2016). Una baja uniformidad en el rendimiento es, desde el punto de vista práctico, una dificultad mayor, pues complejiza las instrucciones de poda orientadas a regular la carga frutal de la siguiente temporada. Esto es particularmente importante en el Valle del Itata, donde las vides no son regadas y son susceptibles de sufrir un estrés hídrico severo durante la temporada, afectando el balance en la relación fuente-sumidero y aumentando la variabilidad en la calidad de las bayas (Calderón-Orellana *et al.*, 2014)

El uso de imágenes sensoriales es una técnica de agricultura de precisión que ha sido usada en viticultura para determinar el potencial productivo de los viñedos, así como estimar las características físicas y químicas del suelo, severidad de estrés hídrico, vigor de las plantas y calidad de la fruta, entre otros (FIA, 2008). Uno de los índices más conocidos y utilizados con estos fines es el "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI), el cual utiliza bandas de rojo e infrarrojo cercano para la estimación del vigor de la planta (Muñoz, 2013). Lamentablemente, la determinación del NDVI requiere del uso costosas cámaras, las cuales deben ser capaces de captar información en la longitud de onda correspondiente al infrarrojo (entre 780 nm y 1 mm). Esto reduce de manera importante la disponibilidad del NDVI en la agricultura del Itata, pues sus productores carecen de grandes recursos económicos. El índice de resistencia atmosférica visible (VARI) se vislumbra como uno de los índices con imágenes sensoriales más promisorios, pues solamente emplea el espectro de la luz visible (RGB: rojo, verde y azul), determinando "qué tan verde" es una imagen (Herrick, 2017). El VARI fue diseñado por un grupo de académicos de la Universidad de Nebraska, EEUU, para determinar la cobertura vegetal e índices de área foliar en maíz y trigo a través de la reflectancia del dosel en sus tres bandas de colores (Mckinnon y Hoff, 2017). En viticultura, el índice de vegetación VARI ha mostrado una buena correlación ( $R = 0,80$ ) con la medición de estrés hídrico a través de la evaluación del potencial hídrico de las plantas al amanecer (Pocas *et al.*, 2015). Debido a la evidencia científica, la cual respalda el uso de índices de vigor para estimar el área foliar de los cultivos (INIA, 2005), se propone realizar un estudio donde el índice de resistencia atmosférica visible (VARI)

se compare como predictor de rendimiento en viñedos con mediciones de peso de poda e índice de área foliar.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Área de estudio y material vegetal**

La investigación se llevó a cabo en la Región de Ñuble, comuna de Portezuelo en el Valle del Itata, Chile. El área de estudio se ubicó 1,4 kilómetros al suroeste de la comuna (36° 31' 58.2" S, 72° 26' 02.9" W). La superficie del predio es de 3,5 hectáreas, con una densidad de 3.600 plantas ha<sup>-1</sup> aproximadamente, con un sistema de conducción en cabezas, de vides (*Vitis vinifera* L.) cultivar País, plantado en dirección norte a sur, y sin riego. El viñedo presenta claras diferencias topográficas de este a oeste, con tres zonas claramente identificables, las cuales se denominaron vega, asiento y loma. Los manejos agronómicos del viñedo corresponden a los realizados de manera tradicional por los productores del Itata (Serra *et al.*, 2017).

### **Clima y suelo**

Ambientalmente Portezuelo se ubica en el seco interior de la Región de Ñuble (Domínguez, *et al.*, 2019). Su faja climática está influenciada por la dinámica de los centros anticiclónicos y ciclónicos que se desplazan en el océano Pacífico “precipitaciones invernales regulares y periodos secos estivales”, que según los tipos climáticos Köppen sería templado mediterráneo con estación seca y lluviosa definido como un clima húmedo mesotérmico (Acuña *et al.*, 2015) Su promedio de pluviometría anual en los últimos 10 años es de 663,7 mm de agua. Las temperaturas son más altas en enero, con un promedio de 22,0 °C y las menores en julio, mes más frío del año con un promedio de 9,6°C. Presenta una temperatura media anual de 17 °C (INIA, 2019).

Los suelos del Valle del Itata, se generan a partir de tres materiales parentales, roca metamórfica meteorizada, origen granítico y de sedimento aluvial fino (Stolpe, 2006). De tal modo, que de su procedencia y según la comisión Nacional de riego presenta dos series de suelos diferentes, Bidico (BC) y Llahuen. La serie Bidico presenta dos tipos; BC2 cuya textura es moderadamente fina (franco arcilloso),

ligeramente profundo (50 - 75 cm), con pendientes de 2 a 5 %, buen drenaje y BC3 unidad de suelo con textura y profundidad, drenaje igual a la anterior, topografía suavemente ondulada y de 3 a 8 % de pendiente. Ambas con bajos porcentajes de materia orgánica y humedad aprovechable (0,8 %, 8,66 %) respectivamente. La Serie Llahuen, presenta suelos en posición casi plana (0 - 3 %) de las terrazas fluviales de Portezuelo, de drenaje moderadamente bueno a bueno, muy profundos (160 cm); textura franco limosa, 9,28 % de humedad aprovechable y 0,88 % de materia orgánica (Fernández y Tapia, 1994).

### **Metodología de selección de plantas**

Se realizaron una serie de evaluaciones en dos sectores del predio identificados como el plano o “vega” y el alto de “lomaje “. Se comenzó con la selección aleatoria de las hileras y del número de planta. El método consistió, en contar y enumerar las hileras de cada sector en sentido de Oeste a Este, seleccionando cinco hileras al azar. De las cinco hileras por sector, se enumeraron las plantas aleatoriamente de la hilera. Se escogieron tres plantas por hilera, en sentido de norte a sur.

### **Índice de área foliar**

Se evaluó el índice de área foliar (IAF) con un Ceptómetro (LP-80, Decagon Instruments, Washington, EE. UU.). Se realizaron dos mediciones por cada planta evaluada: una sobre el dosel a una altura de 1,6 m del suelo para estimar la radiación incidente sobre la planta. La segunda medición se realizó bajo el dosel de la planta a la altura del suelo. Los datos fueron tomados en la temporada 2018 - 2019, durante el mes de abril, una semana antes de cosecha, entre las 11.00 y 14.00 horas. Con un día parcialmente despejado, factor fundamental para obtener datos más homogéneos y reales.

### **Evaluación de cosecha**

Se evaluaron los componentes del rendimiento en cosecha en marzo de las temporadas 2018 - 2019 y 2019 - 2020. Primero, se contabilizó el número de racimos por planta, en donde el peso de cada racimo se estimó por medio de la división del rendimiento por planta por el número de racimos totales. El número de bayas por racimo se calculó pesando 10 bayas por racimo y dividiendo el peso del racimo por el peso promedio de una baya.

### **Peso poda, longitud, diámetro de brotes y número de cargadores**

De las quince plantas seleccionadas, se tomaron medidas de longitud de brotes y diámetro de brotes a cada planta, obteniendo un promedio general por planta. Para ellos se utilizó una huincha de medir para la longitud y un pie de metro para el diámetro de brotes, además de contar el número de cargadores por planta.

La poda del viñedo fue de tipo “mixta”, en donde se dejaron cargadores de 4 a 6 yemas y pitones que no superan las 2 yemas. Considerando los metros lineales de sarmientos en el total de la planta, se dejó una yema por metro lineal. Para medir el peso de poda por planta se utilizó una balanza (Precisiun YH-T6).

### **Potencial hídrico del tallo**

Se midió el potencial hídrico del tallo en cuatro plantas del viñedo en cada uno de los dos sectores, loma y vega. Se utilizó una cámara de presión (Modelo 615, PMS Instruments, Corvallis, EEUU). Los datos fueron tomados antes de cosecha en un día parcialmente despejado. El horario de medición correspondió a las 17.00 horas, debido a la imposibilidad de hacerlo al mediodía por presentar excesiva nubosidad. El procedimiento fue escoger plantas totalmente al azar, se embolsaron hojas del tercio inferior del dosel, sombreadas, en una bolsa hermética opaca aluminizada, siguiendo el protocolo de McCutchan y Shackel (1992).

### **Déficit de presión de vapor**

Se calculó el déficit de presión de vapor (DPV) a partir de los valores obtenidos en las mediciones de temperatura y humedad relativa del aire, por medio de la ecuación de Howell y Dusek (1995):

$$DVP = e_s \left( 1 - \frac{HR}{100} \right)$$

Donde DVP es el déficit de presión de vapor (kPa); HR es la humedad relativa del aire (%);  $e_s$  la presión de saturación de vapor (kPa).

$$e_s = \exp \left( \frac{16,78 \times T_a - 116,9}{T_a + 237,3} \right)$$

Donde  $e_s$  indica la presión de saturación de vapor (kPa);  $T_a$  la temperatura del aire (°C).

### **Adquisición de imágenes aéreas**

Simultáneamente a las mediciones de potencial hídrico del tallo y del índice de área

foliar, se realizó un vuelo sobre el predio para capturar imágenes. Las imágenes fueron capturadas mediante un dron modelo Mavic (DJI, 2021) empleando una cámara RGB de la misma marca, la cual estaba incorporada al dron.

Las fotografías se tomaron entre las 11.00 y las 14.00 horas del día, momento donde la posición de sol se acerca a la perpendicularidad con relación a la superficie y la fotografía presenta una mejor calidad debido a la alta luminosidad. Se delimitó la superficie del predio por donde paso el dron capturando las fotografías con ayuda de la aplicación DJI (Dá-Jiāng Innovations). Se definió altura de vuelo de 50 metros, con una distancia de traslape de 1 a 3 m, un número de fotografías de 40 a 60 fotos por hectárea durante un tiempo de vuelo de 16.55 min. Se obtuvieron 324 imágenes, las cuales fueron procesadas por el programa online “Dronedeploy”, el cual unió las imágenes en un mosaico, obteniendo una sola fotografía del campo completo (Figura 1) y una imagen VARI con contrastes de color del predio completo (Figura 6). La imagen resultante del mosaico fue procesada y segmentada en treinta fotografías individuales, correspondientes a las plantas de ambos sectores de estudio, quince por sector de loma y quince del sector vega.

Una vez realizada la segmentación, cada imagen VARI fue procesada con el programa Matlab (MATrix LABoratory), “laboratorio de matrices” que es un sistema de cómputo numérico que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (Casado, 2006). Se transformaron las imágenes en tres bandas de colores, verde, rojo, y azul, a través de una fórmula empírica (VARI) que se denomina como la diferencia entre verde y rojo dividido por la suma de verde más rojo menos el azul (Gitelson *et al.*, 2002).

#### **Formula de Índice de Resistencia Atmosférica Visible (VARI)**

$$\text{VARI} = (\text{Green} - \text{Red}) \div (\text{Green} + \text{Red} - \text{Blue})$$

Después de aplicada la fórmula, se obtuvo la imagen VARI de cada planta seleccionada.

#### **Datos agroclimáticos**

Se recolectaron datos agroclimáticos para la zona de estudio, específicamente la comuna de Portezuelo para las temporadas 2018 - 2019, entre los meses de abril y marzo. Se utilizó la estación Portezuelo de la Red Agrometeorológica INIA (36° 31'

53.1" S, 72° 22' 07.7" W) (INIA, 2019), la cual está ubicada a menos de 10 km del sitio del estudio. Los datos recopilados fueron pluviometría mensual (mm), evapotranspiración de referencia mensual (mm) temperaturas medias, máximas y mínimas mensuales (°C), radiación solar mensual ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) y porcentaje de humedad relativa mensual (%).

### **Análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó con el software InfoStat (Balzarini *et al.*, 2008), a través de estadística descriptiva, describiendo un conjunto de datos mediante medidas de resumen univariadas y ajustes de funciones de distribución teóricas sobre distribución empírica. El método fue con medidas de descentralización y dispersión, tales como, número de observaciones ( $n$ ), media, desviación estándar (D.E), varianza con denominador  $n-1$  ( $\text{Var}(n-1)$ ), varianza con denominador  $n$  ( $\text{Var}(n)$ ), error estándar (E.E.), coeficiente de variación (CV) y mediana. Aplicadas a las diferentes variables estudiadas a ambos sectores del viñedo loma y vega, ya sean; rendimiento y sus componentes, índice de área foliar, peso de poda, indicador VARI, diámetro y longitud de brotes, numero de cargadores. Además, se aplicó un análisis de correlación, denominado test de coeficiente de correlación de Pearson el cual es una medida de la magnitud de la asociación lineal entre dos variables que no dependen de las unidades de medida de las variables originales. Este representa la covarianza de los valores muestrales estandarizados.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **Características topográficas, climáticas, productivas y condición del viñedo**

El viñedo exhibe un alto nivel de heterogeneidad en su topografía, con una diferencia de cotas topográficas entre el sector de loma y de vega de aproximadamente 11 m y una pendiente de 5,4 % (Figura 1). En general, la existencia de pendientes pronunciadas puede estar asociada a altas tasas de escorrentía superficial con arrastre de sedimento, y un aumento del transporte y agotamiento de minerales y nutrientes en las zonas altas. Este fenómeno puede inducir importantes cambios en las tasas de descomposición de la materia orgánica, viéndose alteradas las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y, por ende, el desarrollo de los cultivos (Hillel, 2003).

Figura 1. Topografía y elevación del terreno viñedo Portezuelo.



Fuente: Imagen de elaboración propia extraída de Google Earth.

En este caso en particular, la relación entre el suelo y el relieve del viñedo en estudio se puede asociar a la existencia de una “catena” (toposecuencia) debido a la presencia de un escalonamiento regular de suelos en favor de la pendiente (Dörner y Dec, 2008). Además del transporte de elementos en la superficie del suelo, es común observar en una condición de “catena” un movimiento sub-superficial de agua y elementos minerales, coloides arcillo-minerales y componentes orgánicos dentro del perfil, lo cual puede generar mejores condiciones físico-químicas en las zonas bajas de la “catena”.

El comportamiento reproductivo de la vid se ve afectado por las condiciones ambientales tanto del año en curso, como del anterior (De la Fuente *et al.*, 2015). La presencia de una alta radiación solar, elevadas temperaturas del aire (mínimas y máximas), la ocurrencia de un déficit hídrico, especialmente en condiciones de una alta tasa de evapotranspiración de cultivo, pueden deprimir considerablemente el potencial productivo de los viñedos (Santibáñez, 2011). Las dos temporadas evaluadas en el sitio del estudio se caracterizaron por presentar altas tasas de radiación solar, 18 - 27 ( $\text{MJ m}^{-2}$ ), entre los meses de noviembre y marzo (Tabla 1), lo cual coincide con el período de tiempo en donde no caen precipitaciones en la zona y el agua de reserva de los suelos comienza a reducirse en el secano interior

de la Región del Ñuble. La presencia de una alta radiación solar se ha asociado a potenciales problemas fisiológicos en los cultivos, especialmente si las plantas están en condiciones de estrés hídrico. Dentro de los principales problemas asociados a la presencia de una radiación solar excesiva se encuentran la destrucción de membrana de cloroplastos, disminuciones de la extensibilidad de la pared celular y la generación de sustancias reactivas al oxígeno (Carrasco-Ríos, 2009).

Tabla 1. Promedios mensuales de radiación solar y temperatura media para las temporadas 2019 y 2020 entre los meses de requerimiento hídrico.

Meses	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
2018 – 2019								
Radiación (MJ m <sup>-2</sup> )	13,9	18,2	23,5	26,2	26,1	22,9	19,7	12,5
T° media (°C)	12,4	13,9	17,9	22,5	24,3	25,6	20,9	16
2019 - 2020								
Radiación (MJ m <sup>-2</sup> )	14,3	18,5	24,6	27,2	27,1	25,4	19,1	13,4
T° media (°C)	11,3	15,2	22,3	26,6	28,7	27,6	24,4	18,9

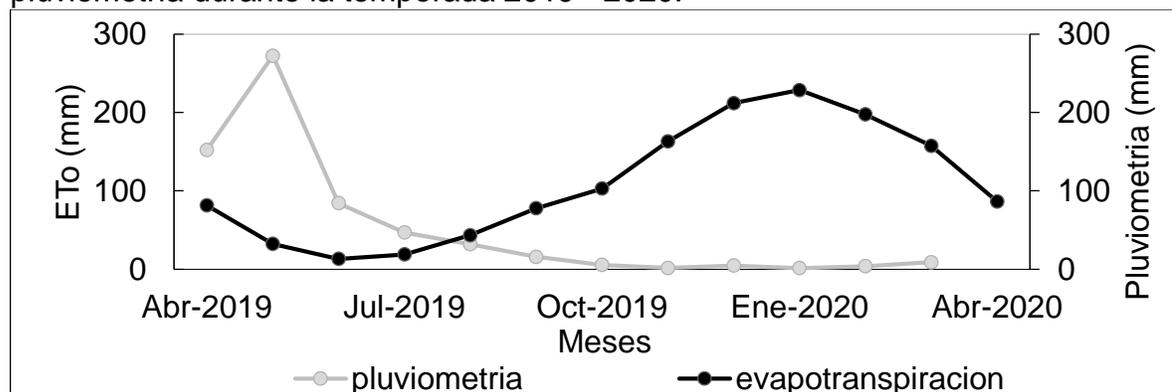
T° media= Temperatura media.

En relación con las temperaturas óptimas para el desarrollo de la vid, en general, éstas fluctúan entre los 20 °C y los 25 °C (Arribillaga y Reyes, 2021), pues en este rango se exhiben las máximas tasas fotosintéticas de las hojas. Desde el punto de vista reproductivo, las temperaturas en primavera determinan fuertemente el éxito del proceso de fecundación de las flores en vid (germinación del polen y crecimiento del tubo polínico), en donde el rango térmico óptimo está entre los 20 °C y los 27 °C. Consecuentemente, las temperaturas medias mensuales del aire desde brotación (septiembre) hasta cosecha (marzo - abril) estuvieron muy cercanas a los registros definidos como adecuados para sostener el crecimiento vegetativo y reproductivo de la vid en ambas temporadas, por lo tanto, no habría existido limitantes térmicas para el desarrollo de las plantas.

Los resultados del presente estudio mostraron una precipitación acumulada en los meses de otoño-invierno cercana a los 600 mm, con un muy escaso aporte hídrico por precipitaciones desde septiembre a marzo (Figura 2). Por otro lado, los datos de evapotranspiración de referencia (150 a 230 mm/mes entre los meses de

noviembre a marzo) mostraron que en enero ya se podría haber consumido la totalidad del agua precipitada antes de brotación con una ETo acumulada de 958,09 mm, siempre y cuando los suelos hubiesen presentado una alta capacidad de almacenamiento del agua precipitada (Figura 2). Debido a que los suelos de las series presentes en el viñedo se caracterizan por ser superficiales y con una baja porosidad, es posible intuir que la capacidad de retención de agua de estos sea reducida. Por consiguiente, es muy probable que las vides de ambos sectores, loma y vega, hayan mostrado síntomas de estrés hídrico a partir de enero (lo que corresponde a mediados de enero aproximadamente).

Figura 2. Comportamiento mensual de evapotranspiración de referencia y pluviometría durante la temporada 2019 - 2020.

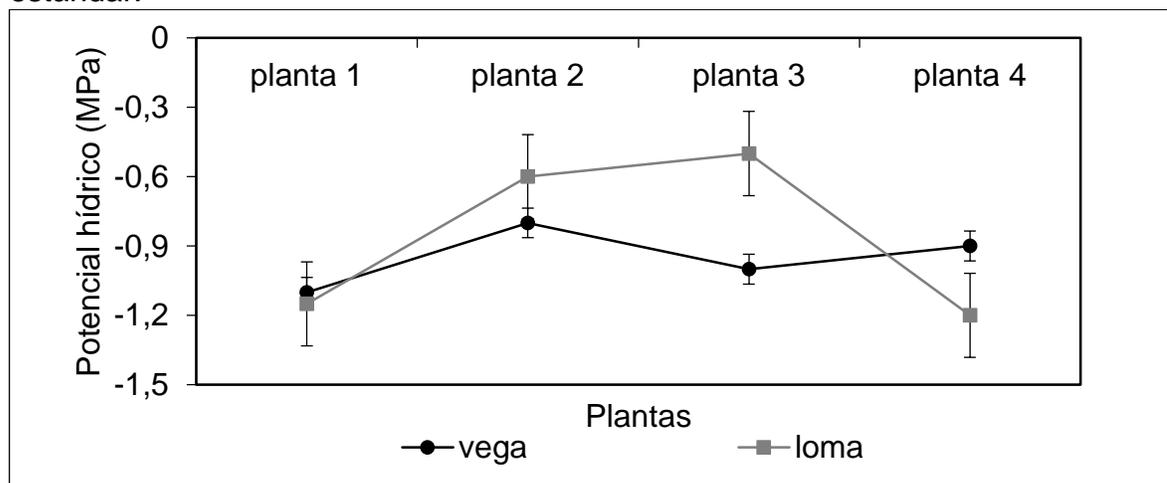


De acuerdo a las condiciones climáticas durante el período de medición del potencial hídrico, se calculó un DPV de 0,84 kPa, (Tabla 2), lo cual estaría asociado a potencial hídrico óptimo teórico de -0,5 MPa según el modelo desarrollado por Williams y Baeza (2007) (Tabla 2). Las mediciones en terreno mostraron que la loma y la vega registraron valores de potencial hídrico del tallo de -0,86 MPa y -0,95 MPa, respectivamente (Figura 3). Esto quiere decir, que ambos sectores exhibieron casi dos veces más severidad de estrés hídrico que el óptimo fisiológico para esas vides. Por lo tanto, se desprende que, al finalizar la temporada, las plantas se encontraban muy estresadas hídricamente, con un nivel de estrés hídrico similar entre las plantas de loma y de vega. Estos resultados confirman que la cantidad de agua de reserva en los suelos no fue suficiente para satisfacer la demanda evaporativa de las plantas en ambos sectores desde brotación a cosecha.

Tabla 2. Indicadores de temperatura, humedad relativa, déficit de presión de vapor y potencial hídrico óptimo teórico el día 04 de abril del 2019.

Promedio T °C entre las 15:00 - 19:00 h	14,10
Promedio HR % entre las 15:00 - 19:00 h	47,54
Déficit de presión de vapor (DPV)	0,84
Potencial hídrico óptimo teórico (MPa)	-0,50

Figura 3. Potencial hídrico del tallo en cuatro vides del cv. País evaluado en dos sectores de topografía contrastante, loma y vega. Cada columna representa los valores promedio de potencial hídrico y las barrar de error representa  $\pm 1$  error estándar.



Las imágenes VARI por planta (Figura 4) reflejaron colores en el espectro naranja-rojo, con datos negativos (-0,1 y -0,03) confirmando las mismas señales de estrés hídrico vistas con las mediciones de potencial hídrico del tallo. Si las plantas no hubiesen estado sometidas a alguna condición estresante, los colores se reflejarían en el espectro del verde con rangos positivos. La ocurrencia de un nivel moderado o severo de estrés hídrico entre las etapas de floración y envero se asocian a disminuciones en el tamaño de la baya (Matocq, 2004), de igual modo, afectando la conductancia estomática, provocando un cierre de los estomas causando una menor transpiración y una disminución en la fotosíntesis neta, también asociado al crecimiento vegetativo de la planta, modificando el balance entre el desarrollo vegetativo y reproductivo de la vid (Gurovich y Páez, 2004). De esta forma, queda claro que las plantas del sitio de estudio estuvieron sometidas a estrés hídrico antes de cosecha.

Los valores promedio de VARI fueron similares entre sectores (Tabla 3). Según Pocas *et al.*, (2015), el VARI es un buen indicador de estrés hídrico al compararse con las mediciones de potencial hídrico de pre-alba. La relación entre el VARI del cultivo y el estado hídrico de las plantas se debe principalmente a que el estrés hídrico se puede manifestar con un aumento en la reflectancia según indica Zygielbaum, (2009). En el presente estudio, no se observó relación alguna entre las mediciones del VARI y el potencial hídrico del tallo. Esto se pudo deber a que al momento de tomar las imágenes las plantas se encontraban en etapa de senescencia a fin de temporada y antes de ser cosechadas, manifestando una reflectancia mínima para determinar su estado hídrico.

El rendimiento, los componentes del rendimiento, el índice de área foliar y el peso de poda mostraron diferencias entre los sectores de loma y vega en ambas temporadas. Sin embargo, los promedios para el número de cargadores, longitud, diámetro de brotes y VARI, son similares para ambos sectores del viñedo. Esto quiere decir que las diferencias de rendimiento y sus componentes no estuvieron asociados a variables relacionadas con el desarrollo vegetativo y la producción de yemas y madera frutal (Salazar, 2012). Por consiguiente, las diferencias en productividad entre loma y vega habrían respondido más bien al efecto de las condiciones ambientales limitantes sobre la inducción y la diferenciación de las yemas, tales como las altas temperaturas diurnas y la baja disponibilidad de agua durante la temporada, la cual indujo un nivel de estrés hídrico severo en cosecha. En vides de secano, una restricción hídrica severa en el período de tiempo entre las etapas fenológicas de floración y cosecha puede inhibir considerablemente la fotosíntesis y reducir el turgor celular necesario ( $LWP < -1,3$  MPa) para sostener la inducción y la diferenciación de las yemas (número de racimos y bayas), y el crecimiento de las bayas (peso de las bayas) (Matocq, 2004). Al comparar los promedios de rendimiento, se ve que en vega se produce 1,5 y 1,7 kg más de fruta que en loma en la temporada 2019 y 2020, respectivamente. Esto representa una diferencia de 52 % para la primera temporada y 70 % para la segunda temporada (Tabla 3). El número de racimos por planta para la temporada 2019 - 2020 es bajo en ambos sectores, mostrando 8 y 13 racimos por planta para loma y vega,

respectivamente (Tabla 3). La inducción floral ocurre cerca de las etapas de floración y cuaja, por lo cual, cualquier acontecimiento climático anormal en este periodo puede ocasionar problemas en la inducción floral y reducir el número de racimos (Battistella, 2009). Para el caso del número de bayas por racimo, este componente del rendimiento se ve afectado tanto por la cantidad de flores por racimo diferenciadas la temporada anterior, como por el número de ellas transformadas en frutos, lo cual se define en las etapas de brotación, floración y cuaja del mismo año de producción. Es por esto, que las diferencias en el número de bayas por racimos entre años pueden estar asociadas al estrés de la planta, factores ambientales, climáticos, nutrición y manejo (Battistella, 2009). El peso de bayas presentó diferencias entre temporadas, con el sector de loma exhibiendo un 18,3 % más de peso que el año 2019, mientras que para vega las diferencias de peso de baya fueron prácticamente inexistentes entre temporadas (Tabla 3). A pesar que el peso de las bayas está fuertemente condicionado por el genotipo, el estado hídrico de las plantas, así como su nivel nutricional, tienen una gran influencia sobre el tamaño final de las bayas, especialmente si las condiciones limitantes se presentan entre cuaja y envero, pues en este período se define cerca del 70 % del tamaño final de las bayas (Battistella, 2009).

Respecto al índice de área foliar y al peso poda, se observan diferencias entre sectores, en donde, tanto el IAF como el peso de poda son mayores en vega que en loma en un 28 % y 30 %, respectivamente (Tabla 3). Ambas variables están relacionadas con la capacidad productiva de las plantas. El número de yemas frutales por hectárea están determinadas por el tipo de poda, porcentaje de brotación, marco de plantación, sistema de conducción y capacidad de la planta de inducir y diferenciar sus yemas (Battistella, 2009). Las diferencias de índice de área foliar entre sectores se deben principalmente al tamaño de las vides, del mismo modo, que existan diferencias de IAF, está asociado al sistema de conducción. Las plantas en loma presentan una menor cantidad de superficie fotosintética lo cual está relacionada con los procesos de fotosíntesis, respiración y la productividad. De tal modo las plantas de vega presentan mayor vigor en tamaño, por lo cual, tienen mayor capacidad fotosintética, además de una mayor respiración, sus hojas son de

mayor tamaño y el número de ellas también, esto quiere decir que presenta una mayor deshidratación por las hojas, mayor transpiración y menor retención de agua lo que está directamente relacionado con el potencial hídrico de la planta, independiente de que la acumulación de agua sea mayor en vega por el fenómeno de catena, las raíces succionan mayor cantidad de agua, por lo tanto, su deshidratación es mayor, mostrando mayor estrés. El índice de área foliar o su capacidad fotosintéticamente activa determinará la masa foliar, lo cual tiene relación con la brotación de la vid y será su capacidad de crecimiento vegetativo para la determinación del número de hojas, relacionado con el número de racimos. En estas etapas de brotación y floración las condiciones deben ser las óptimas para tener un crecimiento vegetativo adecuado, con un índice de área foliar óptimo para producir uvas de buena calidad. Las relaciones ideales serían de 1 metro cuadrado de área foliar por kilo de uva (Disegna *et al.*, 2005). Las diferencias entre sectores para el diámetro y el número de brotes fueron menores a un 5 %, en donde, la mayor diferencia se registró para el número de cargadores, observándose aproximadamente 2 cargadores más en el sector de vega que en el de loma (Tabla 3).

La Tabla 3 refleja una desuniformidad del rendimiento entre sectores y por temporada con una diferencia del 54 % para loma y un 15 % más para vega en la temporada 2019 - 2020. Del mismo modo estas altas temperaturas en climas cálidos como el Valle del Itata con alto grado de exposición de racimos afecta a la producción de antocianos en las bayas (Matocq, 2004), demostrando una gran relación entre productividad y temperaturas máximas. Respecto a las temperaturas mínimas en las etapas de inducción y diferenciación floral correspondientes desde floración, fecundación y cuaja en la temporada anterior (2017 - 2018) solo un día se registraron temperaturas inferiores a 8 °C entre los meses de noviembre y febrero (Agrometeorología INIA, 2021). Las temperaturas mínimas en las etapas de floración y fecundación pueden afectar negativamente los procesos de inducción y diferenciación floral de las yemas para la siguiente temporada relacionados con el número de racimos por brote (Battistella, 2009). Específicamente, temperaturas más cálidas (25 - 30 °C especialmente durante las 3 semanas previas a floración)

unido a un adecuado suministro de agua y nutrientes promueven la inducción de inflorescencias mientras que temperaturas más frías (<20 °C) promueven la formación de zarcillos en vez de inflorescencias (Keller, 2010).

Tabla 3. Resumen análisis estadístico de los sectores loma y vega con las variables de campo, rendimiento y sus componentes para dos temporadas.

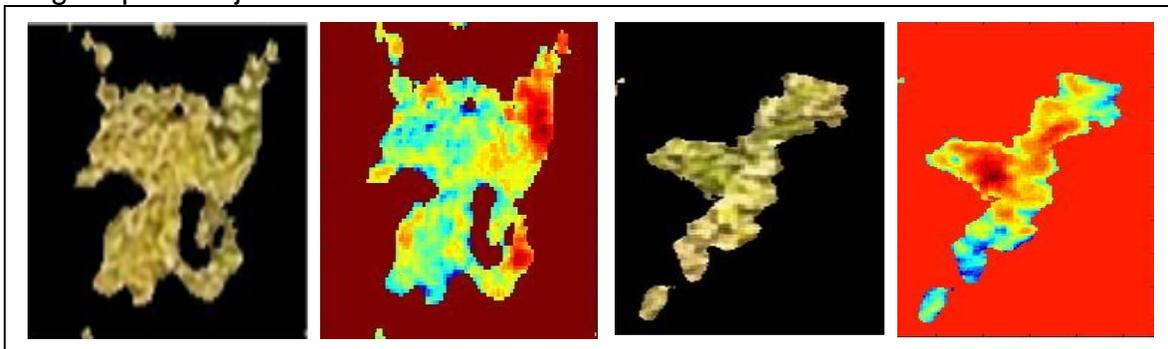
Variables	Promedio loma	Promedio vega
<u>Crecimiento reproductivo</u>		
Rendimiento 2019 (g)	1329,67	2796,67
Rendimiento 2020 (g)	721,73	2380,67
Peso racimo 2019 (g)	160,27	207,27
Peso racimo 2020 (g)	130,53	176,87
Peso baya 2019 (g)	2,07	1,59
Peso baya 2020 (g)	1,69	1,88
N° racimos/ planta 2019	8,27	13,07
N° racimos/ planta 2020	5,40	13,13
N° de bayas 2019	87,87	132,47
N° de bayas 2020	78,99	94,43
<u>Crecimiento vegetativo</u>		
IAF 2019	1,00	1,38
Peso Poda 2019 (g)	262,00	372,00
VARI 2019	-0,13	-0,15
Longitud de brotes 2019 (cm)	8,39	8,46
Diámetro de brotes 2019 (mm)	0,50	0,51
N° cargadores/ planta 2019	6,40	8,07

### Índice vegetativo VARI

Se distinguen tres bandas de colores con sus diferentes longitudes de onda, colores verdes, rojos y amarillos (azul). El color verde oscuro corresponde a plantas no asociados a la medición, los verdes y verdes claros corresponden a vides que se observan con claridad en el costado izquierdo, y que exhiben un mayor vigor que el de plantas de loma al costado derecho de la fotografía. Los colores rojo y amarillo representan el suelo, y cobertura vegetal ya en senescencia (Figura 4). La Figura 4 muestra que existen diferencias entre sectores respecto a la cobertura vegetal y vigor de las plantas. Además, se observan abundantes sectores sin vides, aumentando la dificultad de predecir el rendimiento por unidad de superficie, sin embargo, se puede deducir respecto a los colores y datos numéricos que las plantas

están pasando por un proceso de estrés, que se ve relacionado con los potenciales hídricos del tallo.

Figura 4. Imagen por planta sector vega y loma, de izquierda a derecha con enmascarado que indica solo la planta con su color correspondiente al tomar la fotografía. Imagen adyacente refleja el índice de resistencia atmosférica visible que indica que tan verde esta la planta, en este caso colores rojizos y anaranjados rangos que reflejen senescencia.



Las imágenes VARI por planta (Figura 4) determinaron un rango numérico, esto quiere decir que cada planta tuvo un valor mínimo y un valor máximo. Andrade *et al.* (2019) señalan que en vides los rangos de VARI varían entre -0,6 y 0,6, que es en donde se ubican los espectros rojo, naranja, amarillo y verde, de negativos a positivos respectivamente. En este estudio, los rangos expuestos en las imágenes individuales de VARI fluctuaron entre los -0,3 y 0,05, lo cual indica una mayor proporción de datos en las bandas de longitud de color rojo. Debido a la ausencia de valores VARI representativos del color verde, se sugiere que esta imagen podría servir para determinar niveles de estrés en el cultivo.

#### **Análisis de correlación entre variables vegetativas y reproductivas**

Al correlacionar las diferentes variables de crecimiento vegetativo y reproductivo con los valores de VARI, se obtuvieron muy bajos coeficientes de correlación. Por ejemplo, para la relación entre VARI y rendimiento, el coeficiente de correlación no superó el 0,2. Desde una perspectiva de predictor de rendimiento, estos resultados sugieren desarrollar una metodología con toma de fotografías diferente a través de una cronología de imágenes del crecimiento de la vid desde floración hasta cosecha, considerando una imagen completa del campo a través del número de pixeles o una estimación por planta.

Las correlaciones de VARI respecto al Índice de área foliar o el peso de poda en las temporadas 2019 y 2020 (Figura 5) fueron estadísticamente inexistentes, siendo los valores P para todas las correlaciones superiores a 0,05. Para el caso de los índices de crecimiento vegetativo, la nula correlación entre estos y el VARI puede deberse a la confusión de espectros y a cambios en el color y estado fisiológico de las hojas (Pocas *et al.*, 2015). En esta investigación, debido a problemas logísticos, sólo se pudieron capturar imágenes días antes de cosecha, cuando las plantas hídricamente estresadas ya presentaban un nivel importante de senescencia foliar y clorosis. Estos resultados sugieren que la fecha óptima para tomar imágenes aéreas de índice vegetativo, especialmente bajo condiciones de secano y estrés hídrico, sería después de pinta y antes de cosecha, en donde las plantas presenten un mayor verdor y, por ende, un mayor contraste con el suelo o la vegetación seca en la entre hilera.

Hasta la fecha, la literatura ha mostrado que el VARI es un buen estimador del potencial hídrico de la vid (Pocas *et al.*, 2015). Sin embargo, la estimación del VARI por planta no es un método adecuado para determinar rendimiento, lo cual queda demostrado en las débiles e inconsistentes relaciones de los datos. Por ejemplo, la regresión entre los valores VARI y el rendimiento por planta el 2019 arrojaron un  $R^2$  de 0,03 con valor de  $p=0,3357$  (Figura 6), mientras que para la temporada 2020 el  $R^2$  fue de 0,2 un valor  $p$  de 0,0121 (Figura 7). Para el año 2020, la regresión fue negativa, lo cual indicaría que un mayor nivel de estrés (valores negativos de VARI que representan un menor verdor de las plantas) estaría asociado a un mayor rendimiento. En la presente investigación, es esperable que, frente a la ausencia de agua de riego y precipitaciones durante la temporada, las plantas con un mayor desarrollo vegetativo y más productivo en vega mostraran anticipadamente una mayor severidad de estrés hídrico que las plantas con un menor desarrollo vegetativo y menos productivo como las de loma. Esto se debería a la mayor capacidad transpiratoria por planta en vega, y por ende, a un mayor impacto del estrés hídrico sobre la condición del follaje en cosecha, momento en que se tomaron las imágenes VARI.

Figura 5. Regresión lineal entre la variable de índice de área foliar (IAF) y peso de poda para VARI para ambos sectores.

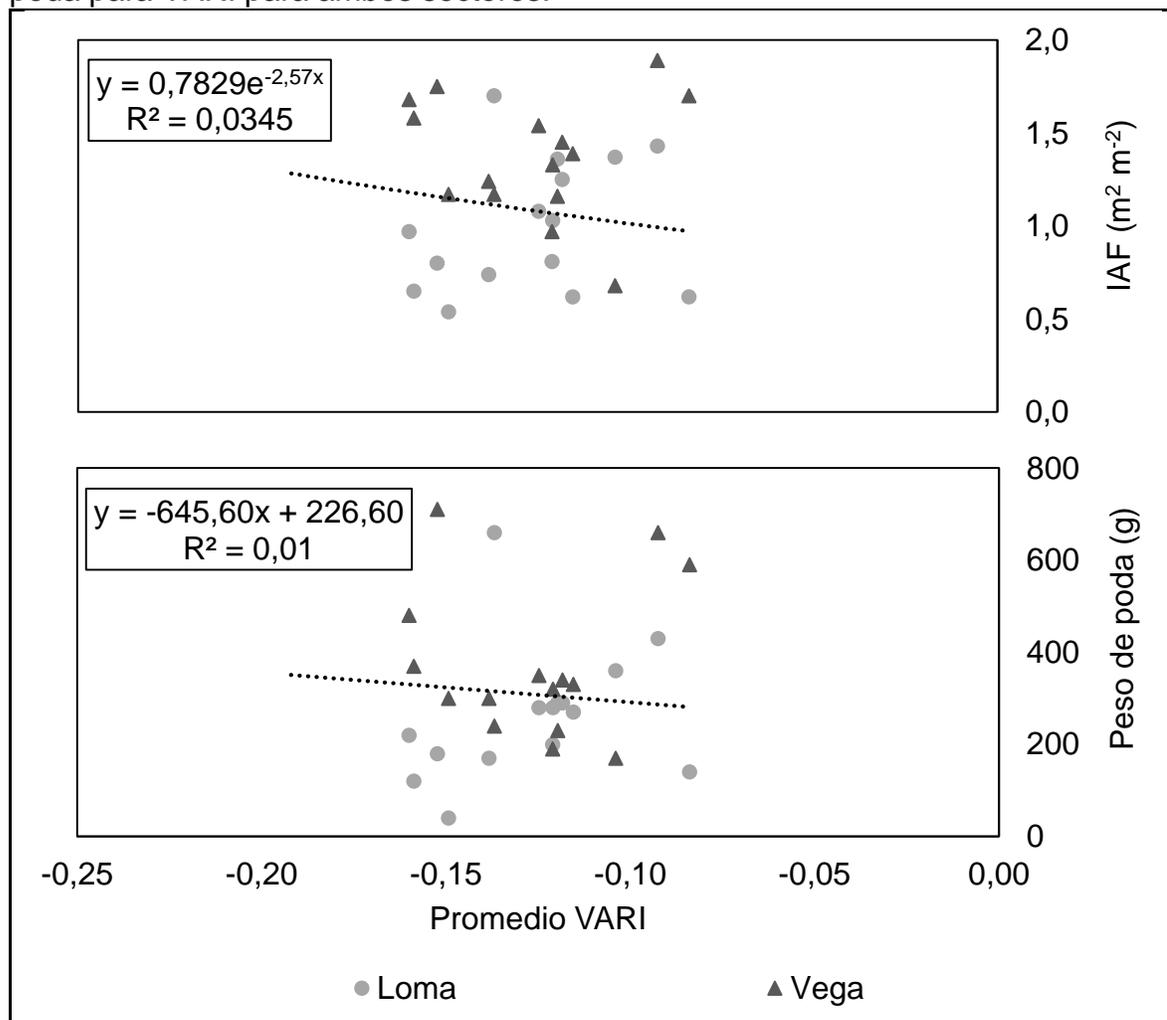


Figura 6. Regresión lineal entre rendimiento 2019 y VARI para ambos sectores.

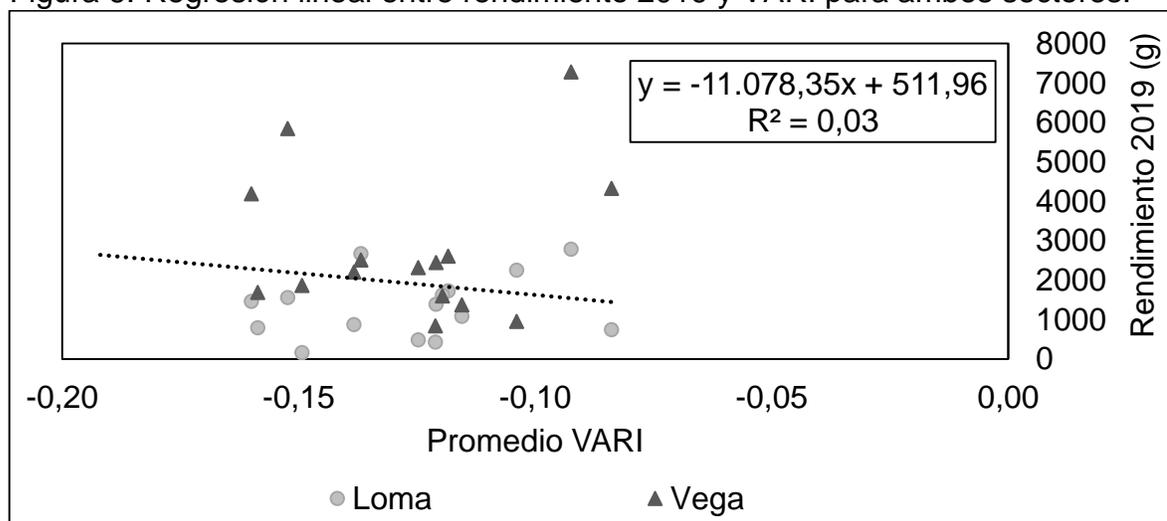
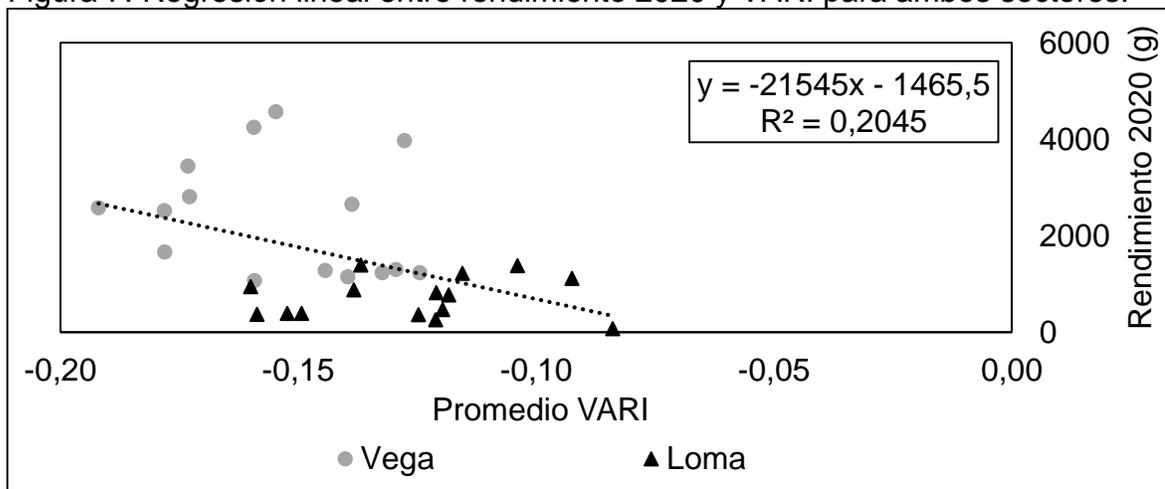


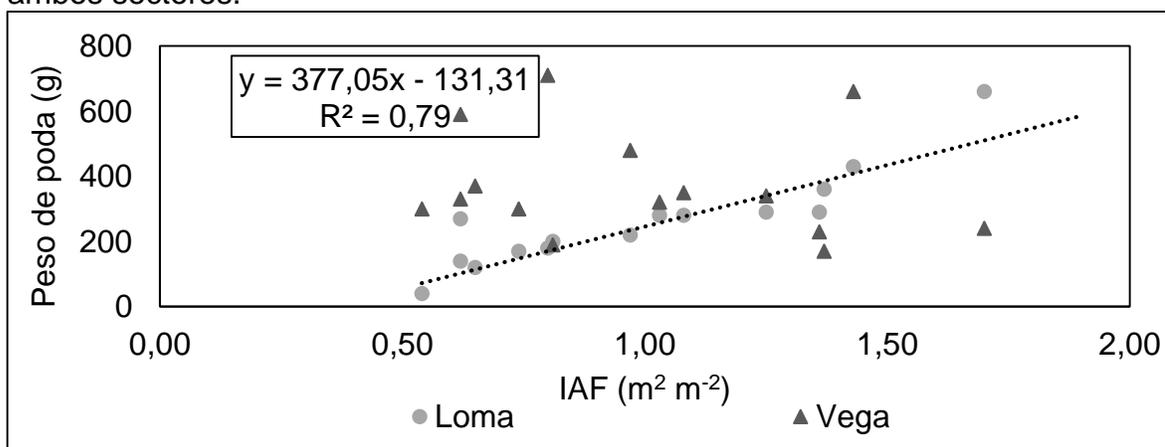
Figura 7. Regresión lineal entre rendimiento 2020 y VARI para ambos sectores.



A pesar de estos resultados, el conteo del número de píxeles asociados a las longitudes de onda verde entre cuaja y envero, podría ser una mejor opción a la hora de utilizar VARI como predictor de rendimiento (Dunn y Martin, 2004), sin embargo, se deben realizar estudios para validar el método en viñedos de secano con conducción en cabeza.

Como era de esperar, las plantas de vega con un mayor IAF el 2019 presentaron también los más altos pesos de poda el 2020, en donde la regresión entre ambas variables mostró valores de  $R^2$  de 0,79 y valores  $p < 0,001$  (Figura 8), claramente indicando que la capacidad de las plantas para generar madera está íntimamente ligada al desarrollo de follaje de la temporada anterior.

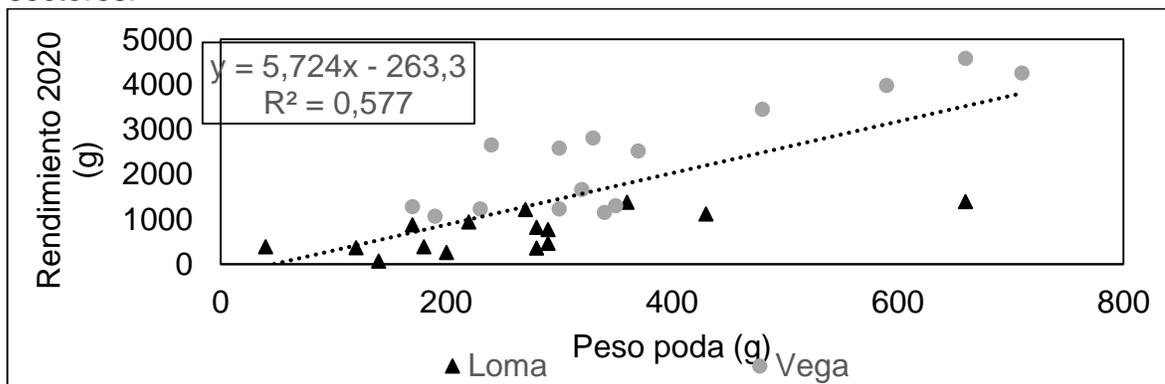
Figura 8. Regresión lineal de peso de poda respecto al índice de área foliar para ambos sectores.



Para el caso de los datos tomados en campo como método de predicción anticipada de rendimiento, el peso de poda y el IAF mostraron comportamientos distintos.

La Figura 9, indica la relación entre el rendimiento y los pesos de poda por sector. Fisiológicamente nos demuestra que las plantas tienen una relación mayor al 50 % en los datos de peso de poda, con rendimientos diferentes, como también la capacidad de generar materia seca, pero con una mayor producción de yemas florales y mejores condiciones de inducción y diferenciación floral para el sector de vega que en loma condicionadas la temporada anterior. Del mismo modo la fertilidad de las yemas apunta como un factor en las diferencias de rendimientos entre sector, esto puede estar asociado directamente con el manejo de la canopia y su adecuado vigor, un excesivo desarrollo vegetativo con un mal manejo y poca iluminación, además de una mala fertilización y su condición de estrés hídrico (Aliquó *et al.*, 2019). Si bien las yemas del sector vega fructificaron en mayor cantidad, también presentan mejores racimos y diferencias en el número de bayas (Figura 13), en cambio las del sector loma principalmente formados por pámpanos. Es por lo que para un mismo peso de poda existen diferencias de rendimiento entre los sectores (Figura 14). Del mismo modo, las podas son orientadas respecto a la capacidad de la vid, de forma dirigida y según su capacidad de producir fruta, para el caso de loma de 2 a 3 cargadores, mientras que en vega de 8 a 10, en una poda en copa, vara y basto dejando 2 a 4 yemas definidas dependiendo el tamaño de la planta, según lo que indica el propietario del viñedo Patricio Bustos, teniendo lógica en los resultados de la Figura 9.

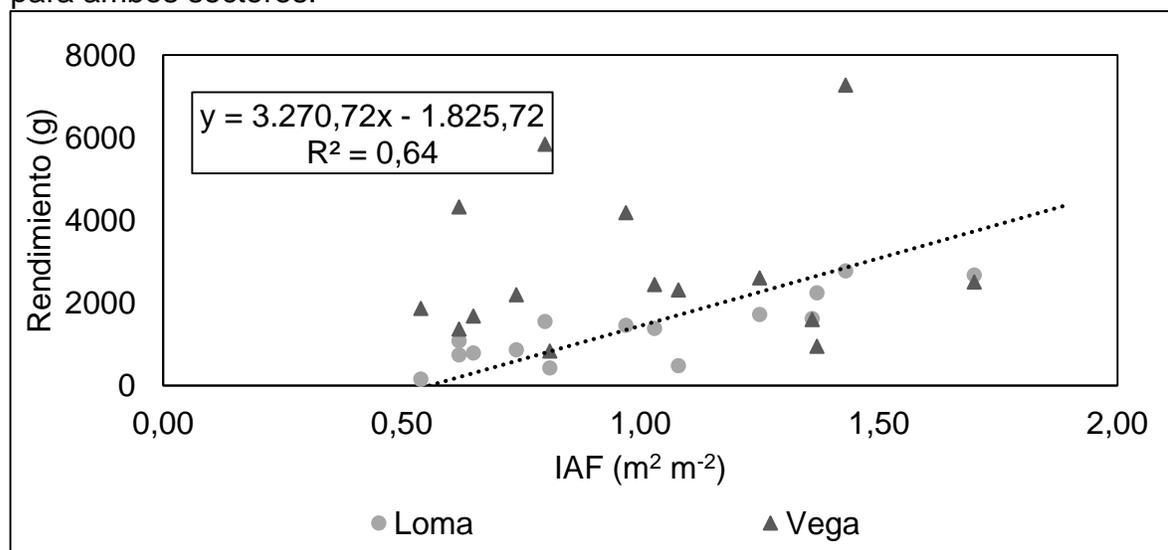
Figura 9. Regresión lineal de rendimiento 2020 y peso de poda para ambos sectores.



La poda es el principal ajuste de carga frutal en vides para vino, siendo mayor la fertilidad en las yemas de las zonas medias del sarmiento, por ende, no todas las yemas generarán frutos mientras que los nuevos brotes solo manifestarán madera no frutal. Respecto a los datos del productor se utiliza el mismo sistema de poda, pero orientada a la capacidad de la planta, que este caso será mayor en vega que en loma, lo que puede estar relacionada con una reducción anual del área foliar potencial, por ende, una menor capacidad fotosintética de la parra. Este hecho puede generar que las plantas con poca fruta tienden a tener mayor vigor (Lavín *et al.*, 2003).

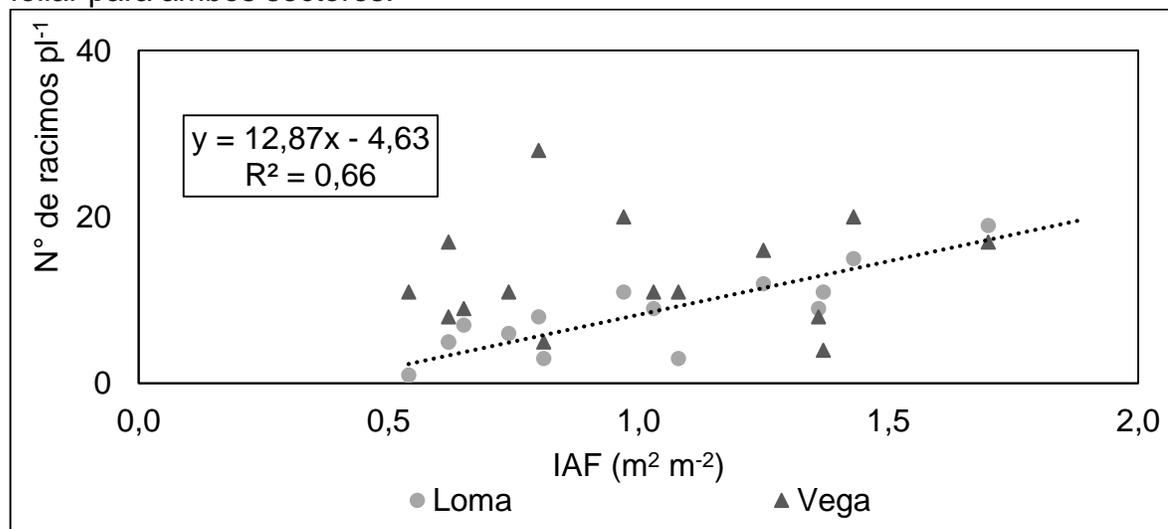
Para el caso de rendimiento 2020 y peso poda (Figura 10) se obtuvieron  $R^2$  de 0,50 para loma y  $R^2$  de 0,75 para vega con significancias iguales de  $p < 0,0001$ . Ortega-Farías *et al.*, (2007) indican que, al aumentar la poda como acción en menor número de yemas por planta se considera una reducción significativa en el rendimiento de éstas. Un cambio en la severidad de la poda (número de yemas por planta), afectaría al peso promedio individual de los brotes y no necesariamente al peso total de poda por planta, del mismo modo aquellas plantas que presentan un mayor número de yemas presentaran un mayor número de racimos y rendimiento, obteniendo lo contrario para las plantas con menor número de yemas (Ortega-Farías *et al.*, 2007).

Figura 10. Regresión lineal de rendimiento 2020 respecto al índice de área foliar para ambos sectores.



De la misma forma el índice de área foliar se correlaciona con un 66 % respecto al número de racimos por planta con una significancia de  $p < 0,0001$  (Figura 11). Según indica De la Fuente *et al.* (2015), propusieron seis modelos de comparación en campo respecto al rendimiento. Uno para cuajado, dos para envero y tres para etapas de retraso. Se construyeron regresiones con  $R^2$  de 0,75, índices de eficiencia de 0,67 - 0,71 y valores de RMSE más bajos de 30 % o  $< 0,83$  kg, según indican sus resultados. Concluyen que los modelos de cuaja y envero son útiles para predecir rendimiento en uva y se podrían utilizar para pronosticar con precisión. Ortega-Farías *et al.* (2007) indica que las plantas con un mayor número de yemas con podas no tan severas presentan un mayor número de capas de hojas, lo que genera mayor capacidad fotosintética y relación fuente sumidero.

Figura 11. Regresión lineal entre el número de racimos por planta y el índice de área foliar para ambos sectores.



Respecto al peso de poda y el número de racimos por planta, la relación es de un 50 % como indica la Figura 12, en cambio para el número de bayas por racimo y el peso de la baya (Figuras 13 y 14), la relación es muy baja alcanzando apenas el 5%. Al existir diferencias de niveles de poda entre sectores, también existirán diferencias entre los componentes del rendimiento, según esta analogía, Ortega-Farías *et al.* (2007) obtuvieron resultados similares con una diferencia altamente significativa ( $p \leq 0,01$ ), en rendimiento, número de racimos por planta y peso de

racimo respecto a diferentes niveles de poda en vides cv. Cabernet Sauvignon. Sin embargo, a las vides que se dejó un mayor número de yemas, presentaron un mayor número de racimos de menor peso y mayor rendimiento final, en comparación a aquellas que se dejó un menor número de yemas, que obtuvieron un mayor peso de poda y largo del sarmiento. Ahora bien, el peso de poda no infiere del nivel de poda o número de yemas dejadas, esto principalmente se debe porque al limitar los puntos de crecimiento de planta, esta puede soportar la máxima tasa de crecimiento de los brotes gracias a los aportes de las raíces y sus reservas de carbohidratos.

Figura 12. Regresión lineal entre el peso de poda y número de racimos por planta.

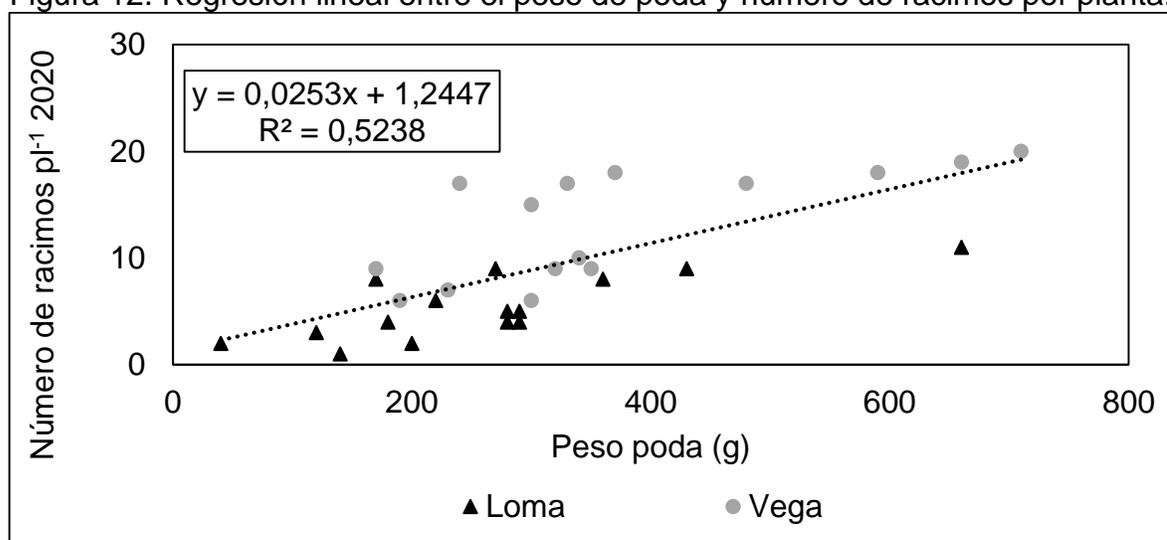


Figura 13. Regresión entre peso de poda y número de bayas por racimo.

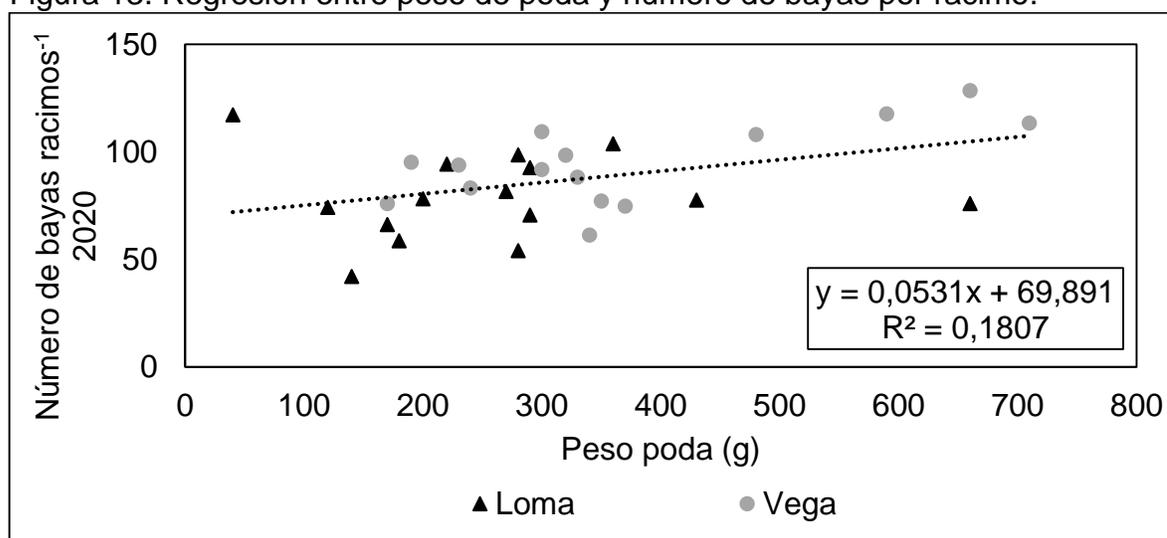
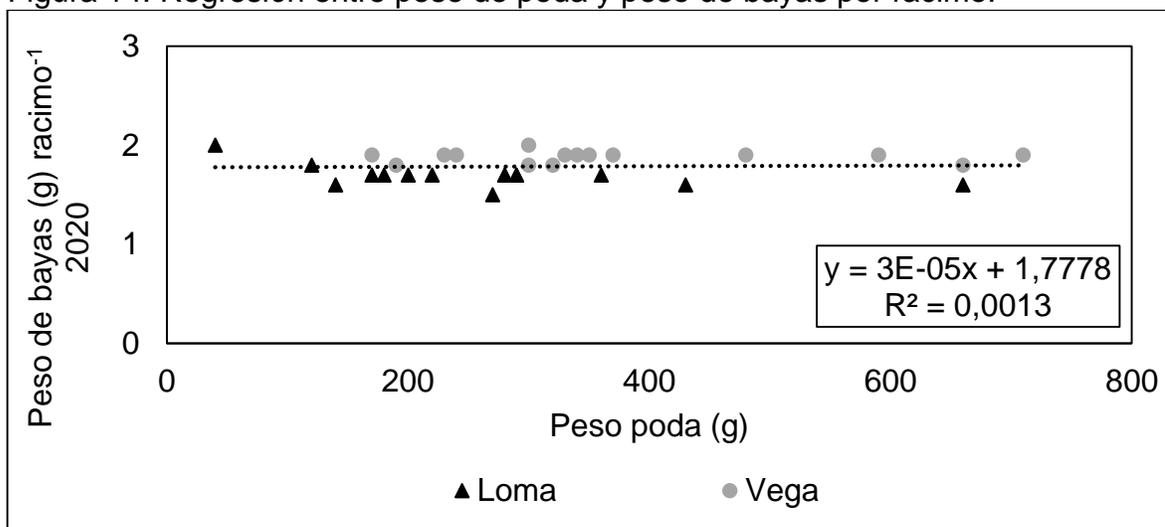


Figura 14. Regresión entre peso de poda y peso de bayas por racimo.



El estrés hídrico juega un papel fundamental en los resultados respecto al rendimiento y sus componentes, ya que, con el consumo total de las reservas hídricas entre cuaja y cosecha, indican diferencias significativas entre largo de brotes, peso de poda y largo de entre nudos (Dry y Loveys, 1999). Del mismo modo el déficit hídrico influye en la producción de un menor número de racimos por planta y de número de bayas por racimo (Ortega-Farías *et al.*, 2007).

Al disminuir el número de yemas por planta existe una disminución en el número de racimos (Figura 12) y rendimiento, de lo contrario al disminuir el número de yemas, las variables como el número de bayas (Figura 13) y el peso del racimo no tienen diferencias (Ortega-Farías *et al.*, 2007). Un factor influyente para la determinación de las bayas ya sea su peso (Figura 14) su número de bayas y sus características organolépticas es el agua. Para el caso de las plantas de loma al ser de menor follaje con menor sombreado más el estrés hídrico al cual estaban sometidas, promovería una mayor fertilidad de las yemas, produciendo una mayor inducción de estas en la temporada anterior.

Uno de los factores que influyeron en las bajas correlaciones fue la dinámica del viñedo, principalmente de secano, sistema de conducción en cabeza, pendientes asociadas con tres sectores, loma, asiento y vega, plantas no homogéneas, sectores malos y sin plantas y condiciones de manejo agroecológicos de parte del productor, factores climáticos, ataque de patógenos (Mildiu) y estado

de las hojas (color amarillo y senescencia). Estos factores son claves para tener un buen funcionamiento bajo sistema de detección a través de índices vegetativos con cámaras RGB, ya que está diseñada para medir cobertura vegetal y vigor en plantas (Gitelson *et al.*, 2002). En el Valle del Itata no se presentan estas condiciones, ya que el 80% se encuentra bajo condición de seco, cultivados como enredaderas arbustivas que corresponden al 77 % del total de hectáreas, además, 452 hectáreas son de vega, 12.195 ha cultivadas en seco, mencionado al igual que su ubicación en taludes impide la mecanización, además de bajos rendimientos (Serra *et al.*, 2017), las cuales están sometidas a estrés y además dificultando la precisión de VARI.

Para obtener una producción de calidad bajo las condiciones del Valle del Itata, las plantas deben trabajar en función de su potencial productivo primario, definiéndose éste como la capacidad de una planta de producir materia seca dependiendo de su actividad fotosintética, el CO<sub>2</sub> fijado y por lo tanto de la superficie foliar (Zarricueta, 2015). Una estimación del rendimiento poco después del invierno es una información valiosa no solo para fines logísticos en la cosecha ya mencionados (necesidades de mano de obra, capacidad de vinificación en la bodega, logística) sino también por razones económicas, especialmente cuando un productor de vino tiene que comprar uvas de otros viticultores y proveedores, ya que el rendimiento total de uva de una región o zona de denominación determinada es una fuerza impulsora importante del precio final de la uva en una cosecha determinada (Diago *et al.*, 2012), tal como se presente eventualmente en el Valle del Itata.

## **CONCLUSIONES**

- 1.- Existen diferencias considerables de rendimiento, sus componentes, como también en parámetros que determinan tamaño o capacidad de la vid refiriéndose a los pesos de poda e índice de área foliar.
- 2.- Los parámetros que demuestran la capacidad de la vid como peso de poda e índice de área foliar si tuvieron buena relación entre rendimiento y sus componentes a diferencia del índice de resistencia atmosférica visible.

3.- Las técnicas de índice de área foliar, peso de poda y componentes del rendimiento demostraron ser una buena estrategia para la predicción de rendimiento anticipada en vides de secano del valle del Itata.

4.- El índice de resistencia atmosférico visible (VARI) no obtuvo buenas relaciones con las distintas variables propuesta, pero si determinó ser una buena herramienta para evaluar el estrés en las plantas y su capacidad de vigor en las vides.

5.- Se esperaría tener mejores resultados de predicción de rendimiento con la utilización de VARI, pero con mayor análisis de estudio y mejorando las metodologías que se utilizaron en esta investigación.

## REFERENCIAS

1. Acuña, A., M. Fawaz, R. Herrera, J. Rebolledo, R. Romo y B. Umaña. 2015. Caracterización de la provincia de Ñuble y una propuesta estratégica para el desarrollo del territorio. Ediciones universidad del Biobío, capítulo II, pág. 30-38-39. Chile.
2. Aliquó, G., A. Catania y G. Aguado, 2019. La poda de la vid. Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Lujan de Cuyo, Argentina.
3. Amos, T., E. Boehm, B.G. Coombe and P.R. Dry. 1992. Viticulture. Volumen (2). Pag: 47. Australia.
4. Andrade, R.G., M.C. Hott, J.W. Magalhães, P.S. D'Oliveira and J.S. Oliveira. 2019. Monitoring of Corn Growth Stages by UAV Platform Sensors. *Int. J. Adv. Eng. Res. Sci*, 6, 54-58.
5. Arribillaga, D. y M. Reyes. 2021. Evaluación de una nueva alternativa frutícola para Chile Chico, región de Aysén: clima y producción de variedades de vid (*Vitis vinifera*). Boletín INIA N°440 Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile.
6. Balzarini, M.G., L. González, M. Tablada, F. Casanoves, J.A. Di Rienzo y C.W. Robledo, 2008. Infostat: software estadístico. Manual del usuario. Version 2008. Editorial Brujas, Córdoba, Argentina, 336.
7. Battistella, M. 2009. Análisis de las Posibles Causas de la disminución Global de Rendimientos en el Ciclo Vegetativo 2008/2009 en la Provincia de San Juan.

8. Calderón-Orellana, A., M.A. Matthews, W.M. Drayton and K.A. Shackel. 2014. Uniformity of ripeness and size in Cabernet Sauvignon berries from vineyards with contrasting crop price. *American Journal of Enology and Viticulture*, 65(1), 81-88.
9. Carrasco-Ríos, L. 2009. Efecto de la radiación ultravioleta-B en plantas. *Idesia (Arica)*, 27(3), 59-76.
10. Casado, M. 2006. Manual básico Matlab. Servicio informático U.C.M. Chile. pag.4.
11. Claret, M., M. Reyes y C. Ruiz. 2020. Condiciones edafoclimáticas y productos enológicos en el Valle del Itata. *Boletín N° 433*, 214 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA.
12. De la Fuente, M., R. Linares, P. Baeza, C. Miranda and J. Lisarrague. 2015. Comparison of different methods of grapevine yield prediction in the time window between fruitset and veraison. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 49(1), 27-35.
13. Diago, M.P., C. Correa, B. Millán, P. Barreiro, C. Valero and J. Tardaguila. 2012. Grapevine Yield and Leaf Area Estimation Using Supervised Classification Methodology on RGB Images Taken under Field Conditions. *Sensors* 12, 16988-17006.
14. Disegna, E., A. Coniberti, y E. Dellacassa. 2005. Medición de área foliar de la vid: una herramienta para producir vinos de calidad. *Revista INIA*, 4, 18-20.
15. DJI All Rights Reserved. <https://www.dji.com/company?site=brandsite&from=footer>. 2021.
16. Domínguez, J., M. Vergara, R. Aguirre, D. Barrera, J. Montero, L. Cáceres, P. Eguillor, A. Espinoza, A. García, A. Reyes, G. Pino, M. Pizarro, B. Tapia, D. Acuña, E. Laval, L. Yáñez, M. Muñoz, G. Cartes, P. Contreras, A. Valdés y M. Galán. 2019. Panorama de la agricultura chilena. Santiago, Chile: Oficina de estudios y políticos agrarias, ODEPA.
17. Dörner, J. y D. Dec. 2008. Efecto de la estructura sobre el movimiento de agua en una catena de suelos. *Agro Sur*, 36(2), 93-100.
18. Dunn, G.M. and S.R. Martin. 2004. Yield prediction from digital image analysis: A technique with potential for vineyard assessments prior to harvest. *Aus. J. Grape Wine R.* 10, 196-198.

19. Dry, P.R. and B.R. Loveys. 1999. Grapevine shoot growth and stomatal conductance are reduced when part of the root system is dried. *Vitis* 38:151-156.
20. Fernández, M.H. y P.O. Tapia. 1994. Condiciones físicas y químicas de los suelos de Quirihue, Ninhue, Portezuelo y Ranquil. *Tiempo y Espacio*, (4), 37-60.
21. FIA, 2008. Resultados y lecciones en agricultura de precisión en viñedos: proyectos de Innovación en VII región del Maule y VIII región del Bío-Bío: Frutales. Editorial experiencias de innovación para el emprendimiento agrario. Santiago, Chile: Fundación para la Innovación Agraria.
22. FIA, 2016. Agenda de Innovación Agraria Territorial: Región del Biobío. FIA. Factores limitantes en el ámbito productivo y tecnológico. Santiago, Chile: Fundación para la Innovación Agraria. Pag. 23.
23. FIA, 2019. Agenda de Innovación Agraria Vitivinícola. Santiago, Chile. Fundación para la innovación agraria.
24. García, M., P. Barba y G. Sellés 2020. Investigación y desarrollo en vides. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. 56p.
25. Gitelson, A.A., Y.J. Kaufman, R. Stark and D. Rundquist. 2002. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote sensing of Environment*, 80(1), 76-87.
26. Gurovich, L. y C. Páez. 2004. Influencias del riego deficitario controlado sobre el desarrollo de las bayas y la composición química de los mostos del vino. Pontificia Universidad Católica de Chile, Ciencia e investigación agraria, vol 31 N° 3. Santiago de Chile.
27. Herrick, S. 2017. Botlink. Recuperado de <https://botlink.com/blog/rgb-versus-nir-which-sensor-is-better-for-measuring-crop-health>.
28. Hillel, D. 2003. Introduction to environmental soil physics. Elsevier. USA. 283-295.
29. Howell, T.A. and D.A. Dusek. 1995. Comparison of vapor-pressure-deficit calculation methods-southern high plains. *J. Irrig. Drain. Eng.* 121(2): 191-198.

30. INIA, 2019. Agromet. Consulta. Portezuelo. [en línea: programa computacional]. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile. <https://agrometeorologia.cl/> [Consulta: 12 diciembre 2021].
31. INIA, 2005. Desarrollo de las tecnologías de manejo de sitio específico en viñedos para mejorar la calidad de la uva a vinificar. Chile. CRI Quilamapu y el CE Cauquenes del INIA, en viñedos de propiedad de la empresa vitivinícola Viña Martínez de Salinas. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
32. Keller, M. 2010. Phenology and Growth Cycle. 10.1016/B978-0-12-374881-2.00002-7.
33. Lavín A., S.A. Lobato, H.I. Muñoz y B.J. Valenzuela. 2003. Viticultura. Poda de la vid [en línea]. Cauquenes, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 99. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6975> (Consultado: 9 marzo 2022).
34. Martínez, R. 2004. Mapa de reconocimiento de suelos de la VIII Región del Bío-Bío (Sector Sur). Memoria de título, Universidad de Chile. Santiago de Chile.
35. Matocq, G.L. 2004. Evaluación de diferentes alternativas de control de rendimiento en vitis vinífera cv. Syrah. Magister en viticultura y enología. Universidad Nacional de Cuyo. San Juan, Argentina.
36. McCutchan, H. and K.A. Shackel. 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117(4): 607-611.
37. McKinnon, T., and P. Hoff. 2017. Comparing RGB-based vegetation indices with NDVI for agricultural drone imagery. *AGBX*, 2, 1-17.
38. Muñoz, P. 2013. Apuntes de teledetección: índices de vegetación. Centro de información de recursos naturales, CIREN. Chile.
39. ODEPA. 2017. Agricultura chilena. Reflexiones y desafíos al 2030. 1a. edición. Santiago, Chile: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.
40. Ortega-Farías, S., R. Salazar Mejías y Y. Moreno Simunovic, 2007. Efecto de distintos niveles de poda y reposición hídrica sobre el crecimiento vegetativo, rendimiento y composición de bayas en vides cv. Cabernet Sauvignon. *Agricultura Técnica*, 67(4), 401-413.

41. Pocas, I., A. Rodrigues, S. Gonçalves, P. Costa, I. Gonçalves, L. Pereira y M. Cunha. 2015. Predicción del estado del agua de vid basado en índices de vegetación de reflectancia hiperespectral. Centro de Investigación de Ciencias del Espacio Geoespacial. Portugal.
42. Sabbatini, P., and G.S. Howell. 2010. Effects of early defoliation on yield, fruit composition, and harvest season cluster rot complex of grapevines. *HortScience*, 45(12), 1804-1808.
43. SAG. 2021. Catastro vitivinícola nacional 2020. División de protección agrícola-forestal y semillas sub-departamento de viñas, vinos y bebidas alcohólicas. Santiago, Chile; Servicio Agrícola y Ganadero. <http://www.sag.cl/ambitos-de-accion/catastro-viticola-nacional/1490/publicaciones> [Consulta: 24 marzo 2021].
44. Salazar, D.A. 2012. Descripción de los componentes del rendimiento de uva de mesa variedad Flame Seedless. Memoria de título. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
45. Santibáñez, F. 2011. Seminario internacional de uva de mesa, el clima en la producción de uva de Alta calidad. Trabajo presentado seminario internación de uva de mesa, ASOEX. Santiago Chile. Recuperado de [https://www.asoex.cl/index.php?option=com\\_jdownloads&view=viewcategory&catid=34&Itemid=215](https://www.asoex.cl/index.php?option=com_jdownloads&view=viewcategory&catid=34&Itemid=215).
46. Serra, I., P. Castillo, M. Hidalgo, O. Fuentealba, R. Cerda and F. Salazar. 2017. Itata valley: how traditional farming and geomorphological characteristics can became from a limiting factor to a key factor in competitiveness. Paper presented at fifth international congress on mountain and steep slope viticulture. Extreme viticulture: values, beauties, alliances, vulnerabilities, Conegliano (Treviso) Italy, pp. 19-27. Recuperado de [https://iris.unito.it/bitstream/2318/1631993/1/atti\\_comunicazioniCERVIM.pdf](https://iris.unito.it/bitstream/2318/1631993/1/atti_comunicazioniCERVIM.pdf)
47. Stolpe, N. 2006. Descripciones de los principales suelos de la VIII Región de Chile. Publicaciones del Departamento de Suelos y Recursos Naturales, (1). Chillan, Chile.
48. Valenzuela, M., C. Mena y D. Aedo. 2011. Estudio exploratorio del efecto de variables edafoclimáticas en la viticultura de riego y secano interior región del Maule Doctoral dissertation, Universidad de Talca Chile. Escuela de Ingeniería Forestal. Recuperado de <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/9200>

49. Williams, L. E., and P. Baeza. 2007. Relationships among ambient temperature and vapor pressure deficit and leaf and stem water potentials of fully irrigated, field-grown grapevines. *American journal of enology and viticulture*, 58(2), 173-181.
  
50. Zarricueta, A.F. 2015. Efecto de la relación entre área foliar y carga frutal sobre la capacidad productiva en uva de mesa var. Queen Rose. Memoria de título para ingeniero agrónomo, Universidad de Chile, Santiago, Chile. Recuperado de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/148690>
  
51. Zygielbaum, A.I. 2009. Detection and measurement of water stress in vegetation using visible spectrum reflectance. The University of Nebraska-Lincoln. Recuperado de <https://www.proquest.com/openview/36cdb3516d852e042acff2008dc5d3cb/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750>