



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

EVOLUCIÓN DEL ESTATUS HÍDRICO Y FOTOSINTÉTICO EN *VITIS VINÍFERA L.* CULTIVAR PAÍS EN EL SECANO DEL MAULE Y SU CORRELACIÓN CON PARÁMETROS ESPECTRALES

Tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Agrónomo y al Grado de
Magíster en Ciencias Agropecuarias.

BASTIAN FONFACH BADINELLA

Directores de tesis

MAURICIO GALLEGUILLOS TORRES

CLAUDIO PASTENES VILLAREAL

Profesores consejeros

OSCAR SEGUEL SEGUEL

MARCO GARRIDO SALINAS

SANTIAGO - CHILE

2022

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS ESCUELA DE POSTGRADO

EVOLUCIÓN DEL ESTATUS HÍDRICO Y FOTOSINTÉTICO EN *VITIS VINÍFERA L.* CULTIVAR PAÍS EN EL SECANO DEL MAULE Y SU CORRELACIÓN CON PARÁMETROS ESPECTRALES

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Título Profesional de
Ingeniero Agrónomo y al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias.

BASTIAN FONFACH BADINELLA

	Calificaciones (Memoria de Título)	Calificaciones (Tesis de Grado)
DIRECTORES DE TESIS		
Mauricio Galleguillos Torres Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,8	6,8
Claudio Pastenes Villareal Ingeniero Agrónomo, MS, PhD.	6,8	6,8
PROFESORES CONSEJEROS		
Oscar Seguel Seguel Ingeniero Agrónomo, Dr.	5,9	5,9
Marcos Garrido Salinas Ingeniero Agrónomo, Dr.	6,1	6,1

Santiago, Chile
2022

INDICE

Índice de contenidos

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
Viticultura de secano en Chile	3
Efecto del estrés hídrico en plantas.....	3
Justificación del problema.....	5
HIPÓTESIS	6
OBJETIVO	6
Objetivo general	6
MATERIALES Y MÉTODOS	7
Sitio de estudio.....	7
Material Biológico	8
Diseño experimental.....	8
Manejo del experimento.....	9
Variables a medir	9
Potencial hídrico de pre alba (Ψ_{pd}) y Potencial hídrico de tallo (Ψ_{stem}).....	9
Intercambio gaseoso.....	9
Datos de UAV y procesamiento de imágenes.....	10
Datos meteorológicos.....	12
Análisis estadísticos	12
Mapeo de parámetros fisiológicos	12
RESULTADOS	13
Comportamiento fisiológico observado	13
Correlación entre parámetros espectrales y datos fisiológicos según estado fenológico	17
Análisis de las diferentes fechas y horas de medición respecto al nivel de correlación entre datos espectrales y datos fisiológicos.....	22
Mapeo de parámetros fisiológicos a partir de datos espectrales tomados por un UAV	27
DISCUSIÓN	30
Respuestas espectrales y parámetros fisiológicos.....	30
Temporalidad de medición de los parámetros fisiológicos.....	31
Mapeo de variables fisiológicas	33

CONCLUSIÓN	35
LITERATURA CITADA	36
ANEXOS	41
Anexo 1: Correlación entre parámetros fisiológicos y espectrales para el estado fenológico de floración	41
Anexo 2: Correlación entre parámetros fisiológicos y espectrales para el estado fenológico de llenado de bayas.	42
Anexo 3: Correlación entre parámetros fisiológicos y espectrales para el estado fenológico de cosecha.	43
Anexo 4. Correlación entre la medición de transpiración a las 13 horas y parámetros espectrales en cada una de las campañas.	43
Anexo 5: Matriz de correlación entre conductancia estomática a las 13 horas y parámetros espectrales para la campaña 3.	44
Anexo 6. Datos climaticos	41

Índice de Figuras

Figura 1. Sitio de estudio - viñedo sector de Cauquenes - secano del Maule.....	7
Figura 2. Mapa del sitio de estudio según los diferentes niveles de vigor.....	8
Figura 3. Delimitación manual de los bordes de una de las plantas. Resolución espacial de 7 cm/px	10
Figura 4. Secuencia temporal del índice de vegetación DVI para el sitio de estudio, obtenido a partir de imágenes de vuelos de dron con una cámara multispectral.	14
Figura 5. Dinámica de comportamiento de la asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) medida en tres diferentes horarios, para los diferentes sectores de vigor	15
Figura 6. Dinámica del comportamiento de conductancia estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) medida en tres diferentes horarios, para los diferentes sectores de vigor a lo largo de las cinco campañas.	15
Figura 7. Dinámica del comportamiento de transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) medida en tres diferentes horarios, para los diferentes sectores de vigor a lo largo de las cinco campañas.	16
Figura 8. A.-Dinámica del potencial hídrico de pre alba en las cinco diferentes campañas, para los sectores de vigor alto, medio y bajo. B.- Dinámica del potencial hídrico de tallo al mediodía en las cinco diferentes campañas, para los diferentes sectores de vigor alto medio y bajo.....	17
Figura 9. Gráfico de dispersión entre asimilación neta a las 16 horas y el índice GI para los diferentes sectores de vigor. Floración.....	18
Figura 10. Gráfico de dispersión entre conductancia estomática a las 16 horas y el índice BGI para los diferentes sectores de vigor. Floración.	19
Figura 11. Gráfico de dispersión entre potencial de prealba y el coeficiente de variación de la banda para los diferentes sectores de vigor. Floración.....	20

Figura 12. Gráficos de dispersión entre potencial de prealba y el índice RGRI para los diferentes sectores de vigor. Llenado de baya.	21
Figura 13. Gráfico de dispersión entre conductancia estomática a las 9:00 y la banda del infrarrojo para los diferentes sectores de vigor. Cosecha.	22
Figura 14. Selección de correlaciones relevantes entre asimilación neta y parámetros espectrales medida en tres horarios.....	23
Figura 15. Selección de correlaciones relevantes entre conductancia estomática y parámetros espectrales medida en tres horarios.	24
Figura 16. Selección de correlaciones relevantes entre transpiración y parámetros espectrales medida en dos horarios.	25
Figura 17. Selección de correlaciones relevantes entre potencial hídrico de pre alba y parámetros espectrales en cada una de las cinco campañas.	26
Figura 18. Mapa de conductancia estomática para el periodo de floración.	28
Figura 19. Mapa de conductancia estomática para el periodo de cosecha.	29

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Resumen de las bandas e índices espectrales, que se utilizaron para buscar correlaciones con los parámetros fisiológicos.....	11
Cuadro 2. Correlaciones más altas para el estado fenológico de floración.....	17
Cuadro 3. Correlaciones más altas para el estado fenológico de llenado de baya.	20
Cuadro 4. Correlaciones más altas para el estado fenológico de cosecha.	21
Cuadro 5. Selección de correlaciones para el parámetro de transpiración a las 9 horas.	24
Cuadro 6. Correlaciones con un coeficiente de Pearson mayor o igual a $\pm 0,5$ entre potencial hídrico de pre alba y los parámetros espectrales a lo largo de las cinco campañas.	26
Cuadro 7. Regresiones obtenidas a partir de las correlaciones con un R^2 mayor o igual a 0,5.....	27

RESUMEN

La presente investigación propuso identificar y analizar las correlaciones más relevantes entre parámetros espectrales derivados de una cámara multispectral montada en un UAV y el estatus hídrico de vides de cepa país (*Vitis vinífera L.* cultivar País) en condiciones de secano. Se evaluó la temporada 2019-2020, en cinco campañas de medición abarcando las etapas fenológicas de floración, llenado de baya y cosecha. Se calcularon y analizaron 18 diferentes índices de vegetación los que se correlacionaron con mediciones de asimilación neta (A_n), conductancia estomática (g_s) y transpiración (E); evaluados a las 9:00, 13:30 y 16:00 horas, además de los potenciales hídricos de prealba (Ψ_{pd}) y de medio día (Ψ_{stem}) medidos a las 3:30 AM y 12:30 PM respectivamente. Los vuelos de dron se realizaron a mediodía solar. La mejor correlación para floración se obtuvo entre conductancia estomática y el índice BGI con un $r = -0,7$. Para llenado de baya esta se dio entre potencial hídrico de prealba y el índice RGRI con un $r = -0,61$. En tanto, para el periodo de cosecha la correlación más alta se dio entre conductancia estomática y la banda del infrarrojo con un r de 0,73. Además, se analizó la importancia de la hora de vuelo con la hora de medición de los parámetros fisiológicos. Finalmente, se generaron cartografías solo para los periodos de floración y cosecha para el parámetro fisiológico de g_s , a partir de modelos de regresión lineal. Para llenado de baya el R^2 fue menor a 0,5 en todas sus correlaciones. Se concluye de manera positiva, sobre el potencial uso de la información espectral derivada de un UAV para caracterizar el estatus hídrico y actividad fotosintética de vides antiguas de cepa país.

Palabras claves: Estrés hídrico, Conductancia estomática, Índices espectrales

ABSTRACT

The present research set out to identify and analyze the most relevant correlations between spectral parameters derived from a multispectral camera mounted in a UAV and the water status of country strain vines (*Vitis vinifera* L. cultivar País) under rainfed conditions. The 2019-2020 season was evaluated in five measurement campaigns covering the phenological stages of flowering, berry filling and harvest. 18 different vegetation indices were calculated and analyzed which were correlated with measurements of net assimilation (A_n), stomatal conductance (g_s), transpiration (E); These were carried out at 9:00 a.m., 1:30 p.m. and 4:00 p.m., while the pre-dawn water potential (Ψ_{pd}) and the mid-day water potential (Ψ_{stem}) were measured at 3:30 AM and 12:30 p.m. PM respectively. The drone flights took place at solar noon. The best correlation for flowering was obtained between stomatal conductance and the BGI index with an $r = -0,7$. For berry filling, this occurred between pre-dawn water potential and the RGRI index with $r = -0,61$. Meanwhile, for the harvest period the highest correlation was between stomatal conductance and the infrared band with an r of $0,73$. In addition, the importance of the flight time was analyzed with the time of measurement of the physiological parameters. Finally, cartographies were generated only for the flowering and harvest periods for the physiological parameter of g_s , from linear regression models. For berry filling, R^2 was less than $0,5$ in all its correlations. It concludes in a positive way, on the potential use of spectral information derived from a UAV to characterize the water status and photosynthetic activity of old country grape vines.

Key words: Water stress, stomatal conductance, spectral indices

INTRODUCCIÓN

Viticultura de secano en Chile

Vitis vinífera L. cultivar País es una variedad rústica, que crece en condiciones de restricción hídrica, lo que ha permitido su cultivo en la zona del secano interior de la región del Maule, sobre suelos de granito y de pizarra, con cerros y laderas que retienen la humedad. Esta variedad, al encontrarse principalmente en las zonas de secano, está sujeta a fuertes niveles de estrés hídrico, principalmente en la época estival, por lo mismo, deben completar su ciclo con las reservas de las precipitaciones invernales, hasta la vendimia. Esto implica que, dependiendo de las condiciones pluviométricas, así como el estado fisiológico en que las plantas se encuentren en el periodo estival, los sistemas productivos están frecuentemente expuestos a déficit hídricos importantes (Chimwamurombe y Mataranyika, 2021).

Efecto del estrés hídrico en plantas

Las respuestas fisiológicas de plantas frente al estrés hídrico son bien conocidas. La planta reacciona y se adapta al déficit hídrico (DH). Principalmente, por medio de la regulación estomática, lo que puede implicar la disminución de la conductancia estomática (gs) con menores tasas de transpiración (E) y la reducción de la tasa fotosintética (A_n). Estas condiciones además afectan la división y expansión celular, afectando el tamaño de hojas y tallos, entre otras (Farooq et al., 2012; Matese et al., 2018). De esta forma el DH provoca un desequilibrio entre el suministro y el consumo de agua, por lo que las plantas reducen su tasa de transpiración mediante el cierre parcial o total de sus estomas. Este cierre se traduce en la pérdida de turgencia de las células de guarda, lo que provoca un flujo de agua y iones hacia el apoplasto mediante acuaporinas y canales iónicos (Tardieu et al., 2018). Es así como los estomas responden a señales hidráulicas pasivas y químicas activas. La respuesta pasiva se relaciona con disminuciones en el nivel de potencial hídrico de hoja (Ψ_l), lo que provoca el flujo externo de agua y de iones, mientras que las señales químicas se vinculan con la acción del ácido abscísico en las células de guarda, desencadenando la pérdida de agua y de iones

En cuanto a la tasa fotosintética esta también se ve reducida por el efecto del estrés hídrico sobre la conductancia al mesófilo (CO_2). Tal como, ocurre con la conductancia estomática las plantas disminuyen la conductancia del mesófilo al estar sometidas a DH. (Flexas et al., 2008). En vides, la limitación de la difusión de CO_2 hacia los cloroplastos es el factor predominante en la reducción de la actividad fotosintética en niveles de estrés hídrico leve a moderado (Fathi y Tari, 2016; Bota y Flexas, 2004)

La vid ha sido considerada una especie que subsiste a la sequía, aunque se han reportado diferencias en la sensibilidad estomática entre cultivares (Schultz, 2003), lo cual puede estar relacionado a las condiciones ambientales o al estado de desarrollo de la planta, más que a factores genéticos (Lovisolo et al., 2010). Por último, el DH afecta no solo el funcionamiento de la planta, sino que también su arquitectura, lo que genera

modificaciones en la forma en que la planta interactúa con la luz, y que en muchos casos se traduce en cambios en la reflectancia, que se traducen en disminuciones de reflectancia en bandas específicas como el infrarrojo cercano (NIR), según en el estado hídrico en que se encuentre la planta (Zhang et al., 2011).

Sensores remotos como estrategia de monitoreo de plantas

El uso de sensores remotos para el monitoreo de plantas a nivel de satélites parte con la puesta en órbita del primer satélite de la serie Landsat en el año 1972, llegando a el presente con la puesta en órbita de nuevos sensores como el Sentinel 2 desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA), con mejoras en sus resoluciones radiométricas, espectrales y espaciales respecto a Landsat (Leslie et al., 2017; Wulder et al., 2019). En la actualidad el uso de imágenes satelitales permite tener un entendimiento del estado nutricional o hídrico de grandes extensiones agrícolas. Estos análisis de monitoreo de plantas se manifiestan a través de las variaciones en la interacción de las plantas con la luz incidente. De este modo, a través de las observaciones de los cambios espectrales de las plantas, se puede hacer inferencia de la actividad fotosintética de la planta y de forma indirecta del contenido de agua en el suelo (Wang et al., 2010; Taylor et al., 2013).

Es así como el uso del sensoramiento remoto en aplicaciones agrícolas ha ido en aumento, como el uso de la porción visible del espectro electromagnético para evaluar el contenido de pigmentos y clorofilas en las hojas, el infrarrojo cercano (NIR) para las propiedades de las células, la banda del infrarrojo de onda corta (SWIR) para el contenido de agua estructural. Por otra parte, la combinación de diferentes bandas del espectro sirve para generar índices espectrales específicos como el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), que indica la capacidad fotosintética de la planta por su correlación con el contenido de clorofila y el vigor de esta (Tuxen et al., 2011) o el índice de diferencia normalizada de borde rojo (NDRE) que ha mostrado ser útil para estudiar cambios en los pigmentos de las plantas y ha sido correlacionado de buena manera con la variación inducida por la sequía en las tasas fotosintéticas de las hojas (Sims and Gamon, 2002).

Por otra parte, los vehículos aéreos no tripulados (UAV), presentan un gran potencial para monitorear campos, con una alta resolución espaciotemporal (Gómez-Candón et al., 2014). Cámaras multiespectrales montadas en UAV, pueden generar índices como los generados por los satélites, pero con una resolución espacial mucho mayor. Baluja et al. (2012) evaluaron el estado hídrico de un viñedo de secano de la variedad “Tempranillo”, mediante el uso de imágenes multiespectrales y termales, a través de correlaciones entre los índices espectrales derivados de las imágenes, conductancia estomática y potencial de tallo. Gonzalez-Flor et al. (2013) probaron la utilidad del NDVI y el índice de reflectancia fotoquímico (PRI), para evaluar la calidad de la baya en cinco viñedos de secano, midiendo el potencial hídrico de prealba (Ψ_{pd}), temperatura de canopia y la fracción fotosintéticamente activa interceptada. Poblete et al. (2017) desarrollaron un modelo de redes neuronales (ANN) usando imágenes multiespectrales para predecir la variabilidad espacial del potencial hídrico de tallo (Ψ_{stem}) de un viñedo de “Carmenere” en Talca. Es decir, las técnicas mencionadas tienen el potencial de correlacionar los parámetros fisiológicos con los espectrales.

Justificación del problema

La región del Maule tiene un gran potencial para producir vinos de calidad, pero en las zonas del secano interior la variabilidad espacio temporal de las condiciones ambientales, en función de su posición en el paisaje y su estado de conservación, genera cambios importantes en el estado hídrico de los suelos, dificultando los manejos (cosechas diferenciadas, podas, selección de portainjertos, etc.) en los viñedos. Lo anterior se observa especialmente, en zonas de secano como lo es Cauquenes que depende exclusivamente de las precipitaciones invernales para sostener hídricamente el sistema productivo. Hasta hoy, no hay certeza con relación a la duración de las reservas hídricas a lo largo de la temporada de crecimiento, ni tampoco se conocen las respuestas de las plantas a transiciones de mayor a menor disponibilidad de estas. Al mismo tiempo, y como ya se mencionó, se sospecha que existe una gran variabilidad en la disponibilidad de agua a lo largo de la temporada en cada unidad productiva, producto de la heterogeneidad de los suelos, su profundidad, elevación y capacidad de retención de agua.

En este sentido, se hace necesario evaluar dicha variabilidad con metodologías de monitoreo rápido de grandes superficies. Hoy en día, existen diversos métodos para monitorear el estado hídrico de las plantas, tales como: la conductancia estomática (g_s); potencial hídrico de hoja (LWP); potencial hídrico de tallo (Ψ_{stem}) y potencial hídrico de prealva (Ψ_{pd}) (Sibille et al., 2007). Estos parámetros se basan en mediciones directas en las plantas, y cuantifican el estatus hídrico de las mismas. Sin embargo, estas determinaciones son costosas en cuanto a tiempo y trabajo de ejecución. Por lo mismo, las herramientas de percepción remota se presentan como una alternativa potencialmente conveniente para evaluar el estatus hídrico de las plantas en unidades productivas, de manera rápida y masiva. No obstante, se han realizado múltiples investigaciones con este propósito, se trata de herramientas que deben ser validadas para cada cepa y sitio en particular.

En atención a todo lo anterior, es que la presente investigación se propone estudiar el comportamiento estomático y fotosintético, así como el estatus hídrico de plantas de vides de la cepa País (*Vitis vinifera* L. cultivar País) en la zona del secano interior del valle del Maule, y la correlación de dichos parámetros con índices espectrales.

HIPÓTESIS

La información espectral derivada de un sistema UAV puede caracterizar el estatus hídrico y actividad fotosintética de vides antiguas de *Vitis vinífera L.* cultivar País en el secano interior del valle del Maule.

OBJETIVO

Objetivo general

Analizar las relaciones entre parámetros espectrales y condiciones fisiológicas de una vid *Vitis vinífera L.* cultivar País sometidas a condiciones del secano interior del valle del Maule.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

La investigación se realizó entre diciembre de 2019 y marzo de 2020 en un viñedo de 23 hectáreas (Figura 1), ubicada a 20 km hacia al oeste de la ciudad de Cauquenes ($36^{\circ} 02' 27.18''\text{S} - 72^{\circ}28'09.47''$), en el secano interior de la región del Maule, zona centro sur de Chile. La zona se caracteriza por poseer un clima mediterráneo semi húmedo con temperaturas medias de 25°C en verano y 8°C en invierno, precipitaciones concentradas en los meses de junio y julio, con una media anual de 416 mm para la temporada 2019. La evapotranspiración total anual del área es de 1128 mm teniendo un máximo de 162 mm en enero y un mínimo de 40 mm en julio. Los suelos del viñedo se describen como Alfisoles, pertenecientes a la serie Cauquenes y clasificada como Ultic Palaxeralf, que corresponde a suelos profundos (≥ 100 cm de profundidad) con mayor contenido de arcilla en los horizontes más profundos, y pendientes que van desde de 1% a 30% en un paisaje de cerros y lomajes.

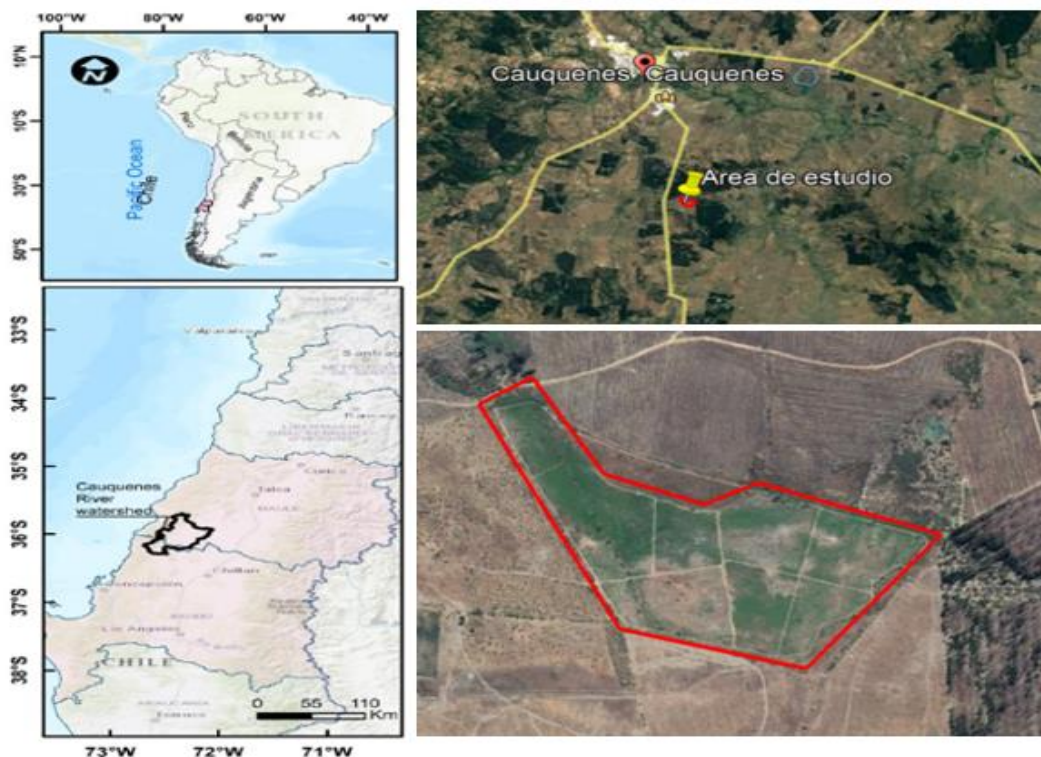


Figura 1. Sitio de estudio - viñedo sector de Cauquenes - secano del Maule

Material Biológico

En la investigación se utilizaron vides (*Vitis vinifera* L.) de más de 50 años del cultivar País sin injertar, conducidas en sistema de cabezas o libres, sin marco de plantación definido.

Diseño experimental

Esta investigación no se posee un diseño experimental, pero con el objetivo de caracterizar el sitio de estudio se analizó una serie histórica de imágenes satelitales Sentinel 2 de los años: 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 previos a la medición, a las cuales se les calculó el índice NDVI para el mes de enero que corresponde al período crítico para la vid. Posteriormente se calculó un promedio a partir del NDVI calculado para cada una de las imágenes y de esta forma definir por medio del método de clasificación de datos “natural breaks”(en el cual se agrupan los valores similares y se maximizan las diferencias entre clases) tres diferentes clases las cuales se clasificaron como alto vigor (azul), medio vigor (amarillo) y bajo vigor (rojo) (Figura 2). Dentro de cada una de estas clases se seleccionaron 6 plantas de forma aleatoria totalizando 18 plantas en las que se realizaron mediciones de asimilación neta, conductancia estomática, transpiración y potenciales hídricos de prealba y medio día.

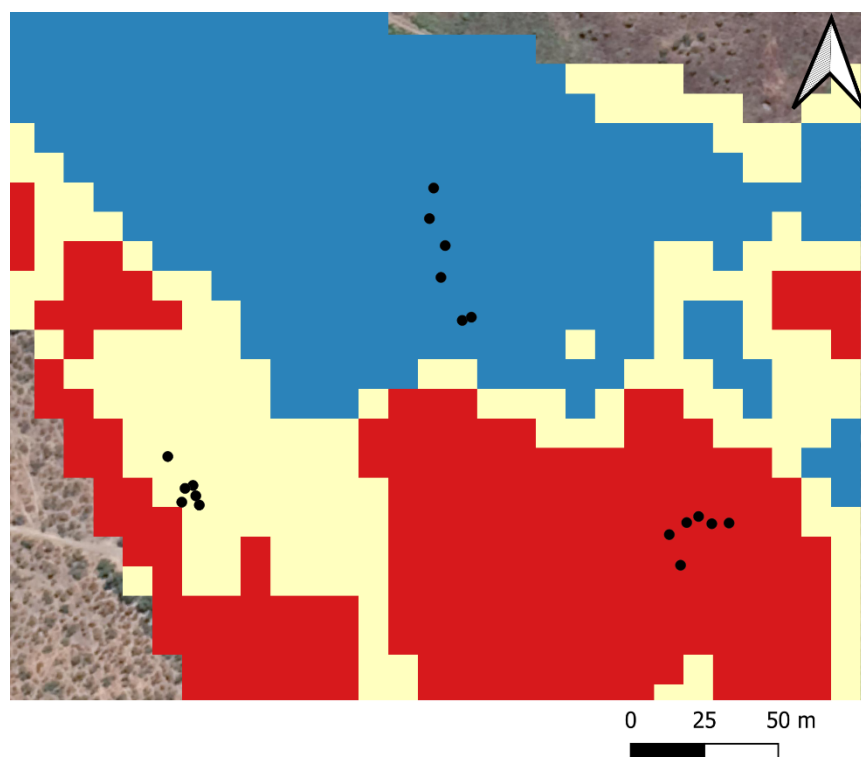


Figura 2. Mapa del sitio de estudio según los diferentes niveles de vigor: alto (azul), medio (amarillo) y bajo (rojo). Puntos negros indican la posición de las plantas que fueron medidas.

Manejo del experimento

La investigación se realizó entre los meses de diciembre 2019 y marzo 2020, El periodo de tiempo se dividió en cinco campañas de medición las cuales están relacionadas directamente con los diferentes periodos fenológicos de la vid.

- Campaña 1: 19 diciembre 2019 – Floración
- Campaña 2: 31 diciembre 2019 – Floración
- Campaña 3: 25 enero 2020 – Llenado de baya
- Campaña 4: 01 febrero 2020 – Llenado de baya
- Campaña 5: 10 marzo 2020 - Cosecha

En la primera campaña se seleccionaron 6 plantas para cada una de las clases de vigor totalizando 18 plantas, donde cada una de estas fue marcada para ser utilizadas en las siguientes campañas.

Variables evaluadas

Potencial hídrico de pre alba (Ψ_{pd}) y Potencial hídrico de tallo (Ψ_{stem})

Las mediciones de potencial hídrico de pre alba (Ψ_{pd}) se realizaron entre las 3:30 y 4:30 AM, con una cámara de presión (Modelo 615, PMS Instrument Company, USA). En cada planta, se midió una hoja, que estuviera sana y no presentara daño mecánico. Cada muestra fue cortada desde la planta e inmediatamente se realizó la medición del potencial. Estas determinaciones se realizaron en cada una de las campañas. Para las determinaciones de potencial hídrico de tallo (Ψ_{stem}), se utilizó la misma cámara de presión, en donde se seleccionaron hojas sanas que no presentaran daño mecánico, estas se encerraron en bolsas plásticas aluminizadas por una hora antes de realizar la medición desde las 12:30 a 13:30 horas. Luego de este tiempo las hojas, se cortaron a nivel de peciolo, procediendo a medir inmediatamente.

Intercambio gaseoso

Para medir el intercambio gaseoso, se utilizó un analizador infrarrojo de gases (IRGA ADC, Lci-Pro, Reino Unido), que entrega datos de asimilación de CO_2 , conductancia estomática y transpiración. Para la medición se posicionó la cámara del IRGA simulando la posición de la hoja y se esperó por 40s que los gases lleguen a una condición de equilibrio dentro de la cámara. Se midió para cada una de las plantas, siempre en la misma hoja se determinó el intercambio gaseoso, en tres momentos del día: 9:00 AM, 13:30 PM y 16:00 PM.

Datos de UAV y procesamiento de imágenes

Los vuelos se realizaron con un cuadricóptero DJI Matrice 210, equipado con una MicaSense Red Edge – M. La MicaSense Red Edge – M es una cámara con 5 bandas (azul: 465-485nm, verde: 550-570 nm, rojo: 663-673, red Edge: 712-722 nm, e infrarrojo cercano: 820-860 nm), un sensor externo de irradiancia con GPS y una unidad de medición inercial (IMU) colocado en la parte superior del UAV, para capturar el ángulo del sensor, el ángulo del sol, la localización e irradiancia para la imagen durante el vuelo, un panel de calibración fue fotografiado con la MicaSense antes de cada vuelo, para realizar una calibración radiométrica.

El UAV se voló a una altura de 100 metros con lo que se obtuvieron imágenes de una resolución espacial de 7 cm por píxel. Esta resolución permite diferenciar lo que es vegetación de suelo desnudo con los valores espectrales que solo corresponden a vegetación. Se realizó un vuelo por cada campaña de medición siempre al medio día solar, para evitar sombras que generen datos erróneos en el procesamiento de las imágenes.

Las imágenes obtenidas de cada vuelo fueron procesadas por medio del software Metashape pro con el que se generaron los ortomosaicos para cada una de las campañas. Y ya con el ortomosaico procesado, se ubicaron las plantas en cada uno de los tres sectores y como se muestra en la Figura 3, cada planta se enmascaró de forma manual cada planta abarcando solamente los pixeles que correspondían a vegetación y obviando los pixeles de tronco y del suelo.

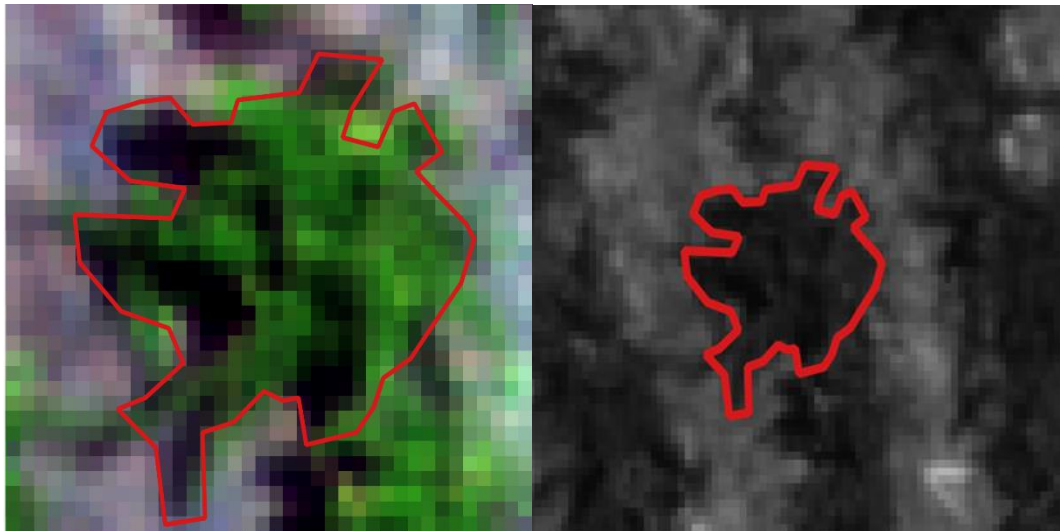


Figura 3. Delimitación manual de los bordes de una de las plantas. Resolución espacial de 7 cm/px

A este conjunto de pixeles se le extrajo el valor de la mediana para cada una de las cinco bandas espectrales que tiene la cámara y, en paralelo, a cada una de las cinco bandas también se le calculó su coeficiente de variación (CV). Posteriormente, a cada píxel se le calcularon diversos índices espectrales de vegetación, los cuales fueron seleccionados en función de las diferentes combinaciones de bandas que la cámara multispectral permite. En función de lo anterior se filtraron los índices que por literatura son usados en estudios relacionados a la agronomía, replicando este procedimiento de cálculo de los índices para

cada una de las cinco de las campañas. A continuación, en el Cuadro 1 se muestran las 18 variables espectrales que se calcularon para cada una de las cinco campañas, los índices espectrales que a lo largo de este documento presenten un * en su notación corresponden a los mismos 18 índices calculados que se muestran en el Cuadro 1 pero calculados en base a los coeficientes de variación de cada una de las bandas.

Cuadro 1. Resumen de las bandas e índices espectrales, que se utilizaron para buscar correlaciones con los parámetros fisiológicos.

Bandas/índices espectrales	Ecuación	Referencia
B. azul (B1) *	465-485 nm	https://micasense.com/es/rededge-mx/
B. verde (B2) *	550-570 nm	https://micasense.com/es/rededge-mx/
B. roja (B3) *	663-673 nm	https://micasense.com/es/rededge-mx/
B. borde rojo (Re) (B4) *	712-722 nm	https://micasense.com/es/rededge-mx/
B.NIR (B5) *	820-860 nm	https://micasense.com/es/rededge-mx/
Differential Vegetation Index (DVI)*	NIR-Red	Ahamed et al., 2011
Normalized Difference greenness Index (NDGI)*	$(\text{NIR}-\text{Green}) / (\text{NIR}+\text{Green})$	Wang et al., 2007
Normalized difference vegetation Index (NDVI)*	$(\text{NIR}-\text{Red}) / (\text{NIR}+\text{Red})$	Ahamed et al., 2011
Normalized difference Red Edge Index (NDRE)*	$(\text{NIR}-\text{Re}) / (\text{NIR}+\text{Re})$	Hunt Jr et al., 2013
Greenness index (GI)*	Green/Red	Main et al., 2011
Red-Green Ratio (RGRI)*	Red/Green	Gamon et al., 1999
Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI)*	$(\text{NIR}-\text{Red}) / \sqrt{(\text{NIR} + \text{Red})}$	Ehammer et al., 2010
Optimized Soil Adjusted Vegetation Index (OSAVI)*	$(\text{NIR}-\text{Red}) / (\text{NIR}+\text{Red}+0,16)$	Hunt Jr et al., 2011
Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI)*	$(2\text{NIR}+1-\sqrt{(2\text{NIR} + 1)^2 - 8(\text{NIR} - \text{Red})})/2$	Wu eta al., 2007
Green Blue NDVI (GB-NDVI) *	$\text{NIR}- (\text{Green} + \text{Blue})/\text{NIR}+(\text{Green}+\text{Blue})$	Wang et al., 2007
Green red NDVI (GR-NDVI) *	$\text{NIR}-(\text{Green}+\text{Red}) / \text{NIR}+(\text{Green}+\text{Red})$	Main et al., 2011
Blue Green Index (BGI)*	Blue/Green	Athos et al., 2012
Simple Ratio (SR)*	NIR/Red	Widjaja Putra y Soni, 2017

Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos de temperatura, humedad y radiación solar fueron obtenidos de una estación meteorológica (modelo Vantage Pro2 plus, Davis instruments). Los datos de temperatura se utilizaron para calcular la acumulación de días grados y de esa forma asociar la fecha de las campañas a estados fenológicos de la vid.

Análisis estadísticos

Los datos fisiológicos y espectrales fueron sometidos a correlaciones de Pearson, en donde se evaluó su significancia estadística. En tanto para analizar la evolución temporal de los parámetros fisiológicos se utilizaron gráficos boxplot. Por último, para el análisis y procesamiento de los datos, así como el diseño de los gráficos se utilizó el lenguaje de programación R (R Studio, 2018).

Mapeo de parámetros fisiológicos

El mapeo de los parámetros fisiológicos se realizó en base a un modelo de regresión lineal entre la variable espectral obtenida por dron como variable independiente y la medición fisiológica como variable dependiente. Se escogió como criterio para poder mapear que el coeficiente de determinación (R^2) de estas regresiones fuese mayor a 0,5 y que la correlación sea significativa. Con la ecuación de regresión ya determinada, se procedió a ingresar los valores espectrales (variable independiente) de la información espacialmente explícita obtenida por el dron utilizando la calculadora ráster de QGIS, teniendo como resultados los mapas para los parámetros fisiológicos.

RESULTADOS

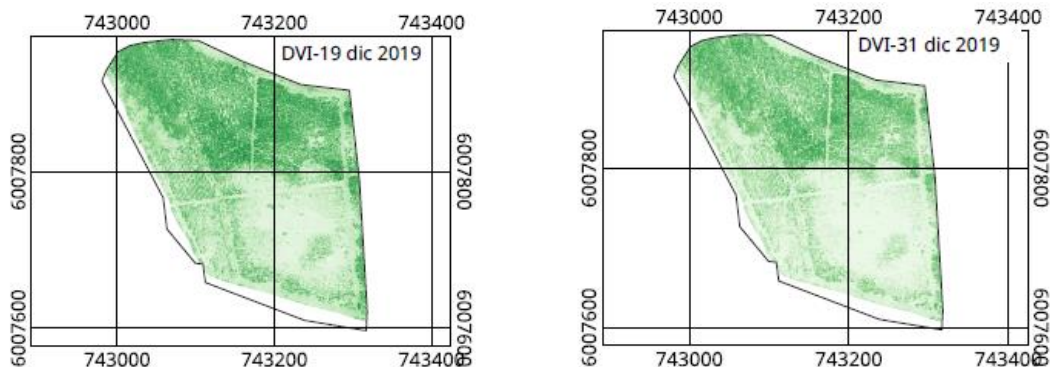
Comportamiento fisiológico observado

Para observar el comportamiento fisiológico se utilizó el índice de vegetación DVI, dado por la diferencia entre las bandas del NIR y roja. Este indicador, permite observar los cambios de reflectancia durante la temporada, detectándose aumento en el rojo y disminución en el NIR a medida que la temporada avanza.

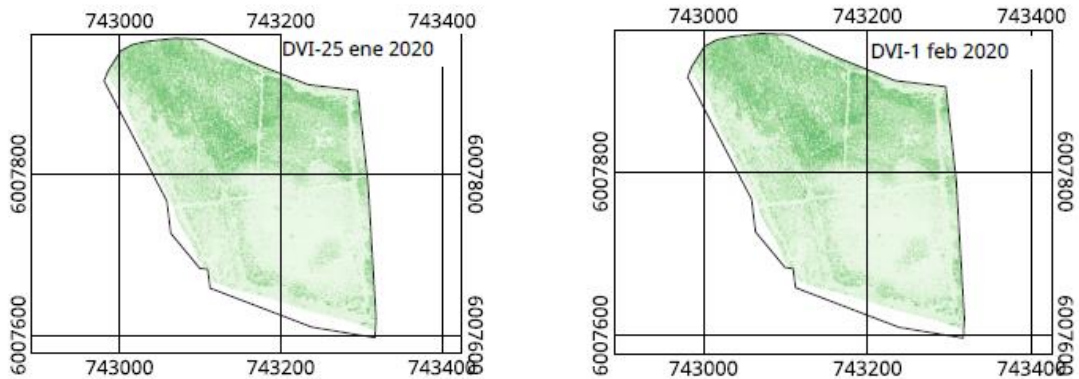
A continuación, en la Figura 4 se observa la secuencia temporal del DVI, representada en cinco ortomosaicos correspondientes a cada una de las fechas de medición, donde los valores cercanos a 1 presentan mayor reflectancia en el NIR y valores cercanos a 0 una mayor reflectancia en la banda roja, esta última se asocia a plantas con una menor capacidad fotosintética.

Es así, como en los ortomosaicos del 19 y 31 de diciembre de 2019 (periodo de floración) se observa que las plantas reflejan valores más cercanos a 1, es decir en mayor proporción en el NIR. Para el periodo de llenado de baya, asociados a los ortomosaicos del 25 de enero y 1 de febrero 2020, se ve que hay una menor reflectancia en el NIR, pero sin dejar de ser significativa. Finalmente, para el periodo de cosecha se observa en el ortomosaico del 10 de marzo 2020 una disminución significativa en la cantidad de la masa foliar, tendiendo los valores del índice DVI a ser más cercanos a 0,

Etafa fenológica de floración – Dic 2019



Etapa fenológica de llenado de baya – Ene – feb 2020



Etapa fenológica de cosecha – Mar 2020

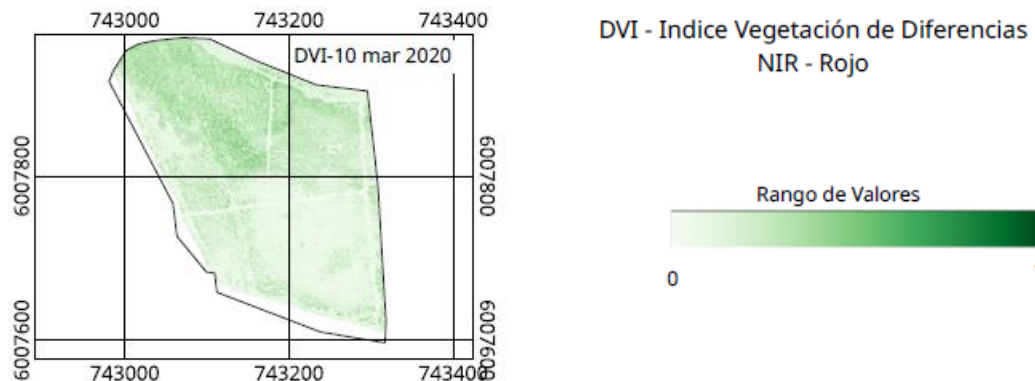


Figura 4. Secuencia temporal del índice de vegetación DVI para el sitio de estudio, obtenido a partir de imágenes de vuelos de dron con una cámara multispectral.

La evolución de la asimilación neta (A_n), se muestra en la Figura 5 donde se comparan los diferentes niveles de vigor a lo largo de la temporada. En la Figura 5A se observa que los máximos niveles de A_n se alcanzaron en la segunda campaña siendo $16,10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $13,99 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en los sectores de alto y medio vigor, respectivamente. Por otra parte, hay una clara tendencia a partir de la segunda campaña de mayores valores en la mediana de A_n en plantas ubicadas en el sector de vigor medio. En cuanto a la dispersión de los datos en líneas generales se observa que las plantas ubicadas en el sector de alto vigor eran las que presentaban un mayor rango de dispersión. En la Figura 5B los valores de A_n más altos $12,69 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ se obtuvieron en los sectores de alto y bajo vigor siendo ambos en la primera campaña de medición. A su vez se puede ver una tendencia de disminución de la asimilación neta en cada uno de los diferentes sectores de vigor a lo largo de la temporada. En la Figura 5C los valores más altos de asimilación neta se obtuvieron en las plantas que se ubican en el sector de vigor medio esto fue valido para cada una de las cinco campañas en este horario de medición. Por último, se observa que en general, las plantas de vigor medio son las que presentaron valores de asimilación neta mayor independiente del horario de medición.

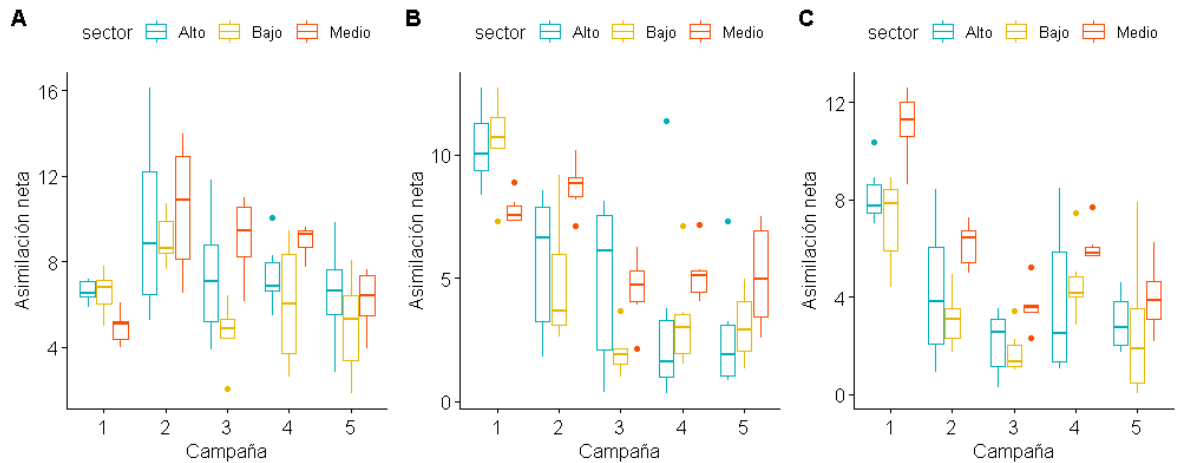


Figura 5. Dinámica de comportamiento de la asimilación neta ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) medida en tres diferentes horarios A) 9:00-10:00; B) 13:00-14:00 y C) 16:00-17:00, para los diferentes sectores de vigor a lo largo de la temporada.

En la Figura 6A se muestra que la mayor dispersión de datos se daba en el sector de alto vigor, siendo los valores del sector de vigor medio la que presentaba valores de conductancia estomática más altos, siguiendo las zonas de alto y bajo vigor. En la campaña dos es donde se alcanzaron los mayores valores de g_s siendo $0,24 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en el sector de alto vigor $0,21 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para la zona de vigor medio.

En las Figuras 6B y 6C, se observa que la máxima conductancia estomática ocurre en la campaña uno mostrando una disminución con el transcurso de las campañas. Al igual que en la medición de las 9 AM el sector que corresponde a las plantas de vigor medio es el que presentó los valores de mediana de conductancia estomática más altos.

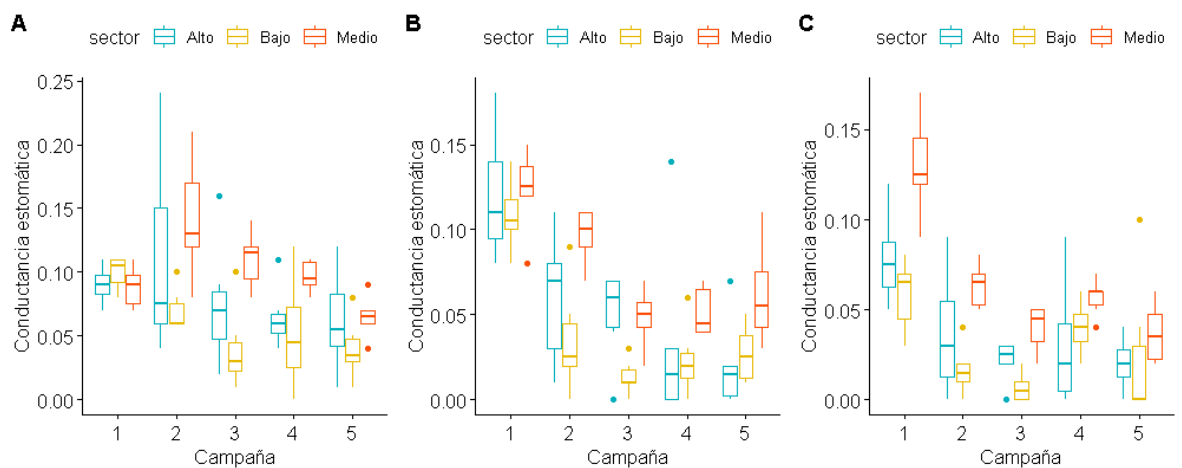


Figura 6. Dinámica del comportamiento de conductancia estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) medida en tres diferentes horarios A) 9:00-10:00; B) 13:00-14:00 y C) 16:00-17:00, para los diferentes sectores de vigor a lo largo de la temporada.

En las Figuras 7A, 7B y 7C se analiza la evolución de los valores de transpiración en los tres diferentes horarios de medición, comparando los sectores de diferentes niveles de vigor a lo largo de las cinco campañas. En los tres horarios de medición el máximo de valores de transpiración se obtuvo en la campaña dos, siendo las plantas del sector de alto vigor las que dieron valores de transpiración mayor. Al igual que en los casos anteriores de An y gs los valores de mediana más altos se obtuvieron en el sector de vigor medio.

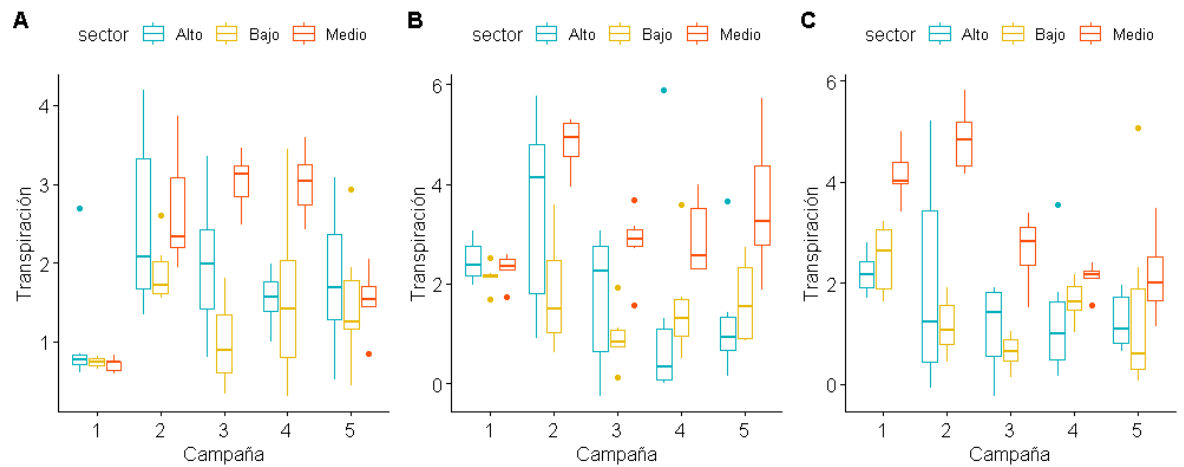


Figura 7. Dinámica del comportamiento de transpiración ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) medida en tres diferentes horarios A) 9:00-10:00; B) 13:00-14:00 y C) 16:00-17:00, para los diferentes sectores de vigor a lo largo de la temporada.

En la Figura 8, se muestra la dinámica de los potenciales hídrico de pre alba (Ψ_{pd}) y de tallo de mediodía (Ψ_{stem}) en donde se analizó por campaña y por sector. En la Figura 8A se observa cómo evolucionó el potencial hídrico del suelo, al nivel de la zona de raíces, siendo en la campaña tres el sector de bajo vigor el que presentó la mediana más baja, siendo las plantas de este sector las que en promedio a lo largo de la temporada obtuvieron los potenciales más negativos (-1.06 MPa).

Por último, se aprecia que las plantas en las zonas de vigor medio presentan una disponibilidad de agua más favorable que la de las contrapartes extremas de alto y bajo vigor (Figura. 8A), lo que resulta en una mejor condición hídrica (Figura. 8B). Así mismo, los valores de Ψ_{stem} a lo largo de la temporada en plantas de vigor alto y bajo, presentan una mayor dispersión de los datos y valores de mediana similares entre si.

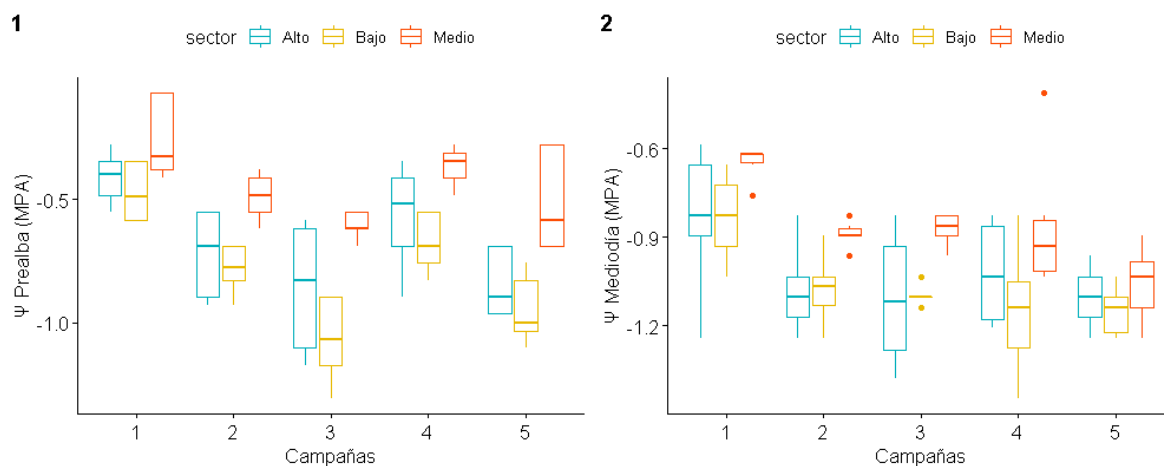


Figura 8.A.-Dinámica del potencial hídrico de pre alba en las cinco diferentes campañas, para los sectores de vigor alto, medio y bajo. B.- Dinámica del potencial hídrico de tallo al mediodía en las cinco campañas, para los diferentes sectores de vigor.

Correlación entre parámetros espectrales y datos fisiológicos según estado fenológico

En función de la acumulación de días grados, se asociaron las fechas de los vuelos a los estados fenológicos de floración, llenado de baya y cosecha. A partir de esto, se calcularon y analizaron todas las correlaciones posibles entre parámetros fisiológicos y espectrales para cada uno de los estados ya mencionados. Para floración, en el anexo 1 se presenta un Cuadro con todas las correlaciones significativas con los parámetros de asimilación neta (A_n), conductancia estomática (g_s), transpiración (E) y los potenciales hídricos de pre alba y medio día para los tres horarios de medición. En el caso de g_s en horario AM, no se generó ninguna correlación.

En el Cuadro 2 se presentan las correlaciones más altas para la totalidad de los datos fisiológicos obtenidos en el estado de floración. De esta forma g_s muestra altas correlaciones en las mediciones de las 13:30 (RGRI= -0,68 y 16:00 hrs (BGI=0,71), siendo esta última la más alta para g_s . Por otra parte, el parámetro espectral que presentó el mayor número de correlaciones significativas fue el coeficiente de variación de la banda verde (Cv 2), esto no implica que haya sido el parámetro que presentó el coeficiente de correlación más alto (ver anexo 1).

Cuadro 2. Correlaciones más altas entre parámetros fisiológicos y espectrales para el estado fenológico de floración.

Variables espectrales	A_n 16 hrs	g_s 16hrs	E 9hrs	P_d	M_d
Verde(B2)			-0,61		
CV-verde				-0,66	-0,53
RGRI	-0,68				
BGI		-0,71			

A continuación en la Figura 9, se observa una correlación positiva entre los valores de A_n y el índice Green Index (GI), las plantas de los sectores de mediano (amarillo) y bajo (rojo) vigor son las que tuvieron los mejores valores de coeficiente de correlación, 0,85 y 0,78 respectivamente. En tanto, para la totalidad de la viña el coeficiente de correlación fue de 0,69.

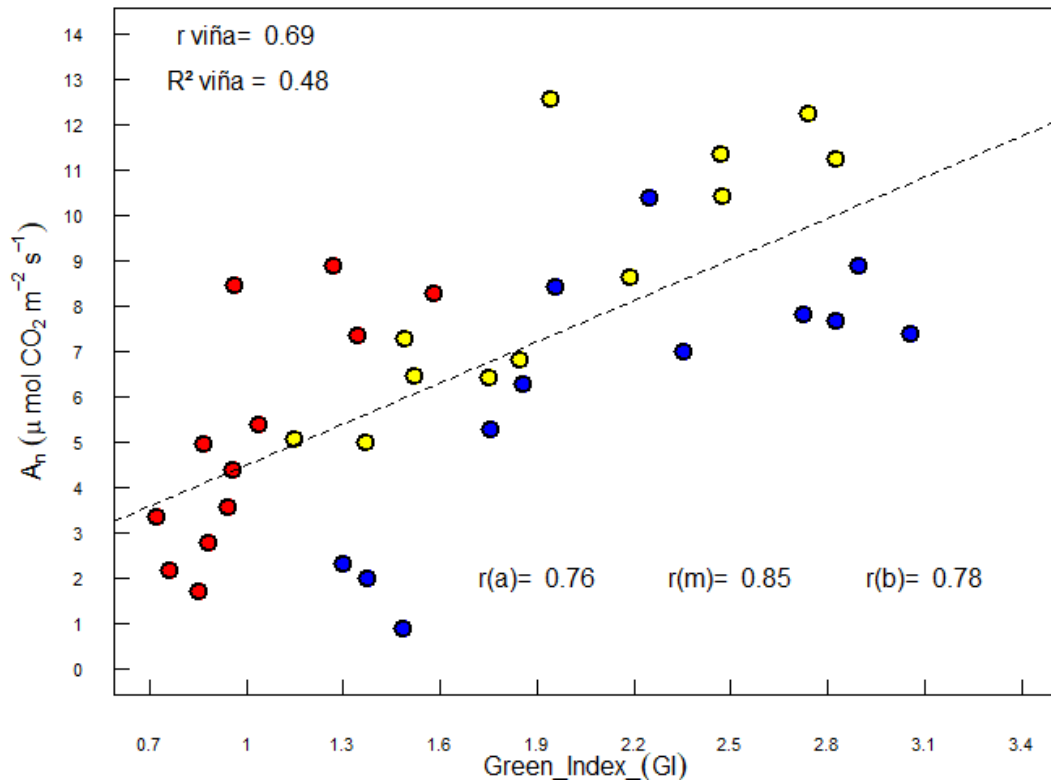


Figura 9. Gráfico de dispersión entre asimilación neta a las 16 horas y el índice GI para los diferentes sectores de vigor: alto- $r(a)$ -azul, medio- $r(m)$ -amarillo, bajo- $r(b)$ -rojo y la viña en su conjunto. Etapa de floración.

A nivel de toda la viña en el periodo de floración el coeficiente de correlación más alto que se obtuvo fue entre conductancia estomática (g_s) y el Blue Green Index (BGI). En la Figura 10 se observa una correlación negativa, donde los mayores valores de g_s se obtienen a menores valores de BGI, siendo las plantas del sector de vigor medio las que presentaron mejor correlación con un valor de $r = -0,77$.

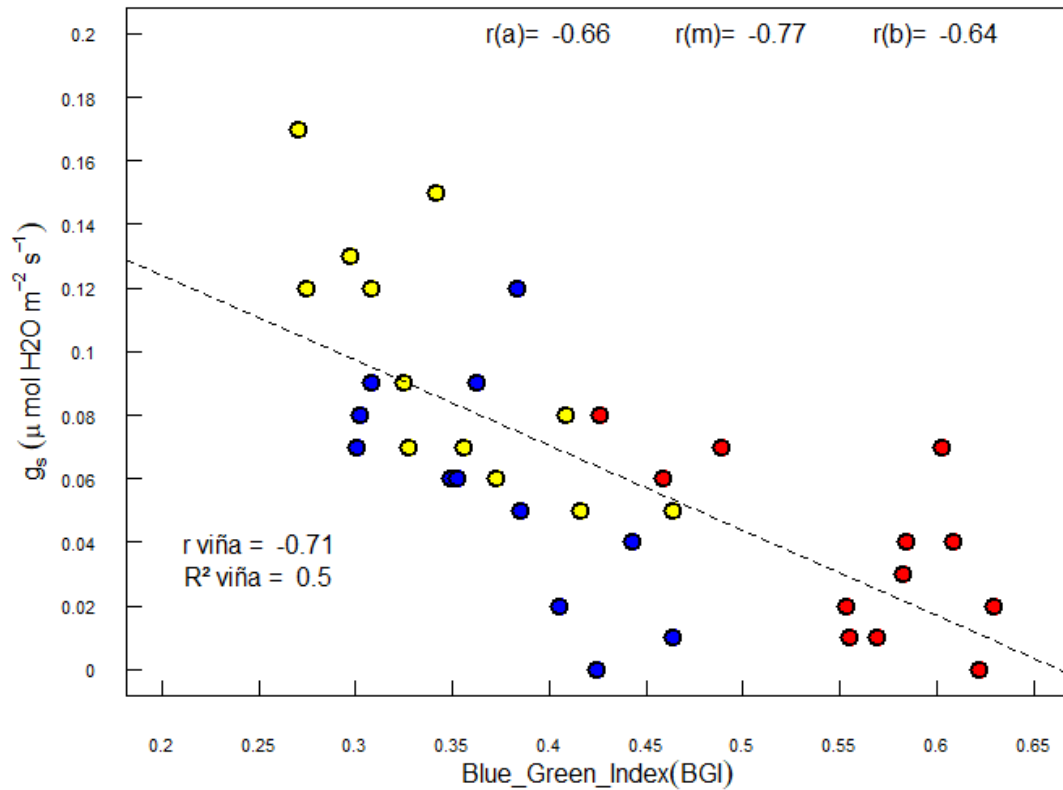


Figura 10. Gráfico de dispersión entre conductancia estomática a las 16 horas y el índice BGI para los diferentes sectores de vigor: alto-r(a)-azul, medio-r(m)-amarillo, bajo-r(b)-rojo y la viña en su conjunto. Etapa de floración.

En la Figura 11 se tiene la correlación entre el coeficiente de variación de la banda verde en función del potencial hídrico de pre alba para toda la viña y para cada uno de los sectores de vigor en los que se clasificó esta. De esta forma, se aprecia que los sectores de alto y bajo vigor son los que presentan mejores correlaciones en comparación a las plantas de vigor medio, mostrando valores que se condicen con lo que se observó en terreno en que las plantas de bajo vigor presentaban un síntoma de déficit hídrico más marcado en comparación a los otros sectores.

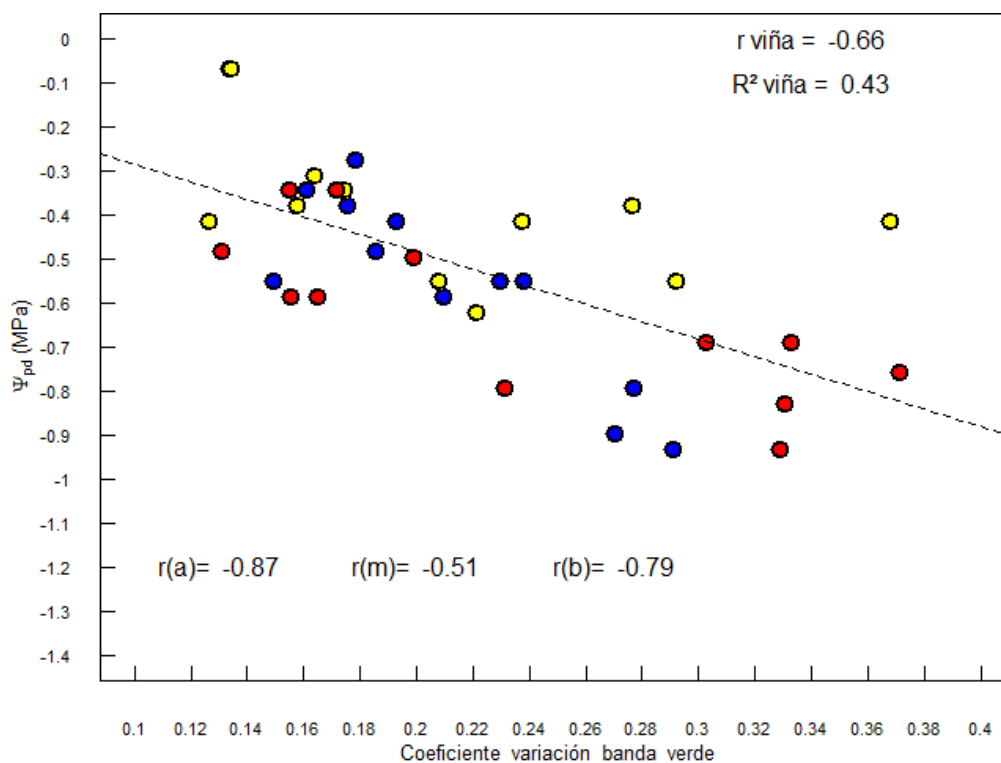


Figura 11. Gráfico de dispersión entre potencial de prealba y el coeficiente de variación de la banda verde para los diferentes sectores de vigor: alto-r(a)-azul, medio-r(m)-amarillo, bajo-r(b)-rojo y la viña en su conjunto. Etapa de floración.

Para el período de llenado de baya (Anexo 2), en comparación al periodo de floración el número de correlaciones significativas ($r > \pm 0,5$) disminuyó. Para este estado fenológico las mejores correlaciones se obtuvieron para los parámetros de potencial hídrico de pre alba y asimilación neta (medida a las 9 AM), en el Cuadro 3 se presentan las correlaciones más relevantes para esta etapa fenológica.

Cuadro 3. Correlaciones más altas para el estado fenológico de llenado de baya.

Variables espectrales	An 9hr	Pd
RGRI		-0,61
BGI	-0,54	-0,56

En la Figura 12 se observa la correlación más alta obtenida para potencial de prealba en el periodo de llenado de baya, donde a menores valores de reflectancia del índice RGRI mayor es la disponibilidad de agua en el suelo para las plantas, siendo las plantas que se ubican en el sector de alto vigor las que presentaron un “r” mayor.

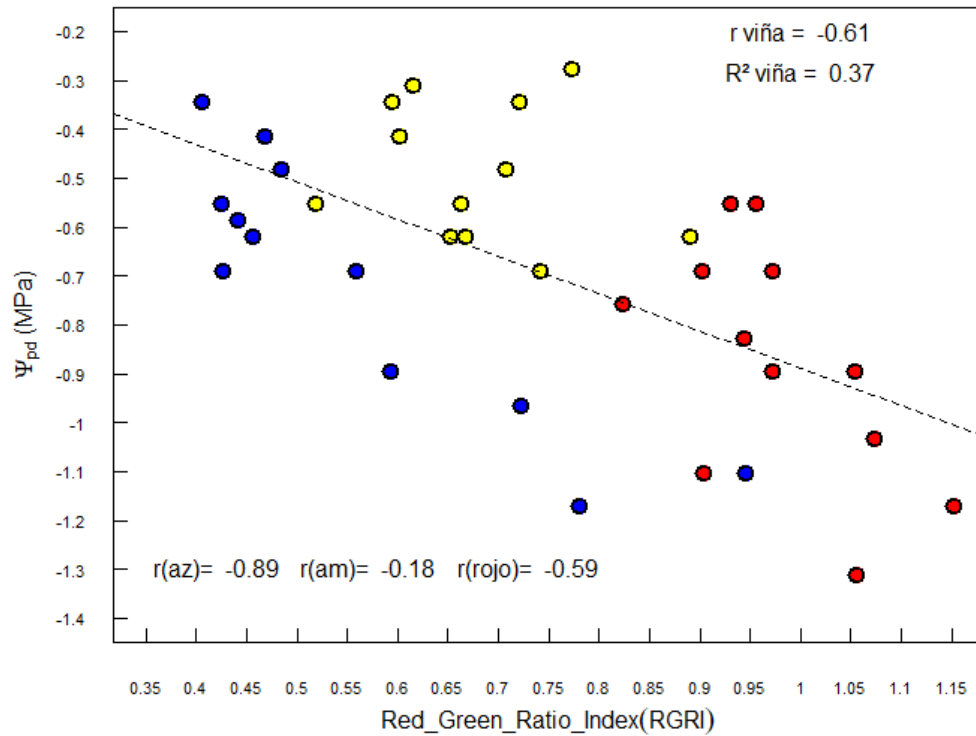


Figura 12. Gráficos de dispersión entre potencial de prealba y el índice RGRI para los diferentes sectores de vigor: alto-r(a)-azul, medio-r(m)-amarillo, bajo-r(b)-rojo y la viña en su conjunto. Etapa de llenado de baya.

Por último, para el estado de cosecha las correlaciones más altas para los parámetros de A_n , g_s y E se muestran en el Anexo 3, siendo g_s el parámetro que presentó el mayor número de correlaciones con las diferentes bandas e índices que fueron calculados. En el Cuadro 4, se presentan las mejores correlaciones obtenidas para el estado de cosecha.

Cuadro 4. Correlaciones más altas para el estado fenológico de cosecha.

	A_n	g_s	E	P_d	M_d
NIR	0,59*	0,73*	0,61*		
CV-NIR				-0,60*	-0,73*

En la Figura 13 se observa una correlación fuerte y positiva entre las variables g_s y el infrarrojo cercano; donde a mayores valores de reflectancia en el infrarrojo más alto son los valores de conductancia, el sector de alto vigor fue el que presentó el mejor coeficiente de correlación, en cuanto a las plantas de medio y bajo vigor no presentan una correlación clara entre el infrarrojo cercano y conductancia estomática.

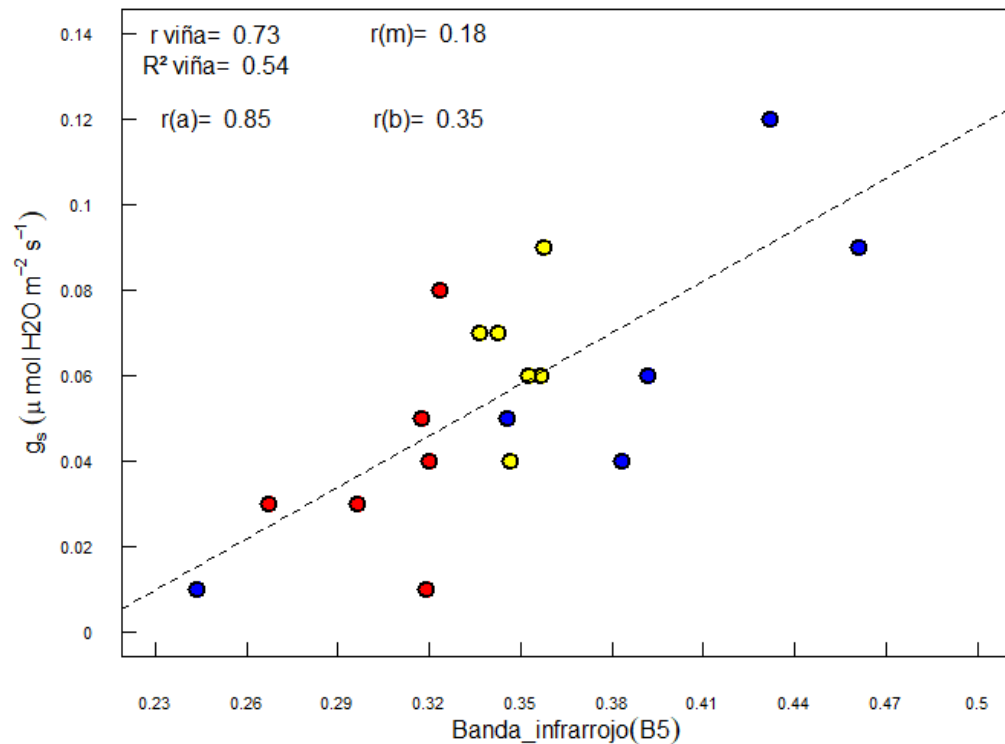


Figura 13. Gráfico de dispersión entre conductancia estomática a las 9:00 y la banda del infrarrojo para los diferentes sectores de vigor: alto-r(a)-azul, medio-r(m)-amarillo, bajo-r(b)-rojo y la viña en su conjunto. Cosecha.

Análisis de la temporalidad de las mediciones respecto al nivel de correlación entre datos espectrales y fisiológicos

Para el análisis de la temporalidad de las mediciones entre las correlaciones de parámetros espectrales y fisiológicos se tomaron las bandas o índices de vegetación que presentaron por lo menos en dos de las cinco campañas de medición un coeficiente de correlación de Pearson mayor o igual a $\pm 0,5$.

Para la medición de asimilación neta a las 9 horas ($A_{n9:00}$) los índices de vegetación que mostraron una correlación mayor o igual a $\pm 0,5$, en por lo menos dos de las cinco campañas de medición, fueron los índices DVI, MSAVI y BGI (Figura 14A). Los dos primeros índices se comportaron de igual manera presentando similares valores de correlación de Pearson para cada una de las campañas. Siendo en las etapas de principio de llenado de baya (25 enero 2020) y de cosecha (10 marzo 2020) cuando se obtuvieron las correlaciones mas altas, con un valor de r de 0,5.

Por otra parte, el índice BGI a diferencia de los otros dos índices, presentó correlaciones altas durante dos campañas seguidas(3 y 4) teniendo sus mayores correlaciones a comienzos y fines de llenado de baya con valores de r igual a -0,6 y -0,5 respectivamente.

En cuanto a la medición de asimilación neta a las 13 horas ($A_{n13:00}$), como se ve en la Figura 14B, fueron tres los índices de vegetación los que mostraron una correlación

mayor o igual a $\pm 0,5$ en al menos dos de las cinco campañas. GI, RGRI y BGI. Estos índices fueron los que mostraron correlaciones estadísticamente significativas a fines de floración (31 diciembre 2019) y comienzo de llenado de baya, siendo esta última en la que se obtuvieron las mejores correlaciones (GI=0,79; RGRI=-0,72 y BGI=-0,63). Estas correlaciones en los periodos correspondientes a fines de llenado de baya (2 febrero 2020) y cosecha no se mantuvieron teniendo valores de r cercanos a 0. En cuanto a los índices RGRI* y NDGI* que fueron índices que se conformaron a partir del coeficiente de variación de las respectivas bandas espectrales que los conforman, presentaron correlaciones altas a comienzos de floración (19 diciembre 2019) y comienzos de llenado de baya desapareciendo las correlaciones en las campañas correspondientes a finales de floración, fines de llenado de baya y cosecha.

En la Figura 14C se observan las correlaciones de B1, B3, RGRI y BGI con la medición de asimilación neta a las 16 horas ($A_{n16:00}$), teniendo solamente en el periodo de floración correlaciones altas y estadísticamente significativas.

Finalmente como se presenta en las Figuras 14 (A, B y C) el índice de vegetación BGI es la única variable espectral que sostuvo una correlación a lo largo de los tres horarios de medición en comienzos de llenado de baya (25 enero 2020).

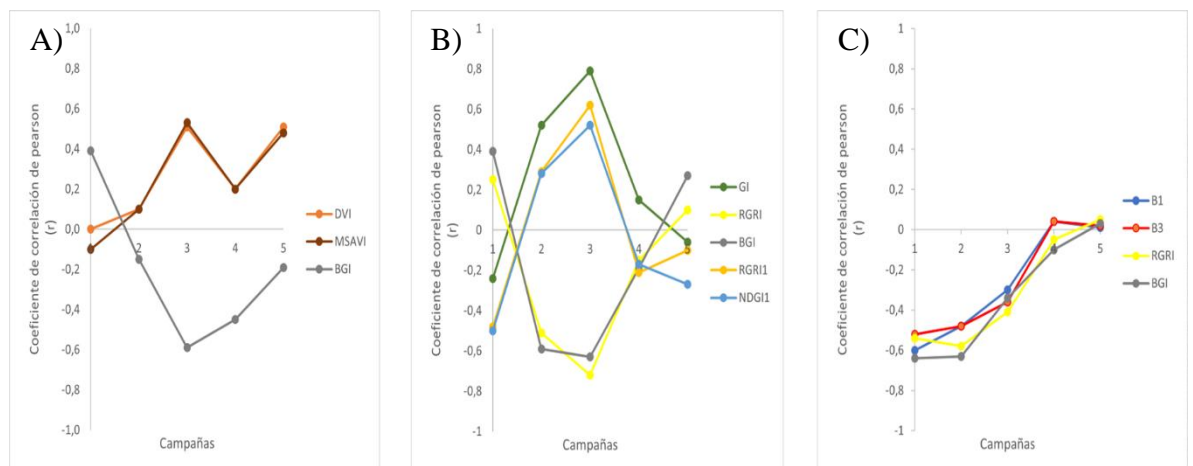


Figura 14. Selección de correlaciones relevantes entre asimilación neta y parámetros espectrales medidos a: A) 9 hrs. B) 13 hrs C) 16 hrs.

En relación con la conductancia estomática solo hubo tres índices de vegetación (GI, RGRI y BGI) que mantuvieron una correlación alta y estadísticamente significativa con g_s a lo largo de una campaña completa de medición, esto ocurrió al comienzo de llenado de baya (25 enero 2020). Como se observa en la Figura 15A, la medición de g_s a las 9 horas presentó correlaciones relevantes a inicios de llenado de baya y en cosecha para los índices GI, RGRI y RDVI, en tanto para BGI ocurrieron a fines de floración e inicio de llenado de baya. Si bien, hubo correlaciones más altas para conductancia estomática a las 9 horas, tales como con la banda del NIR que presentó un $r = 0,73$ o los índices DVI y MSAVI que tuvieron valores de $r = 0,66$ y $0,62$ respectivamente, estas solo se presentaron en el periodo equivalente a cosecha.

En tanto para las mediciones de las 13 horas esta presentó a inicios de llenado de baya las correlaciones más altas para todas las mediciones de conductancia estomática teniendo 19 correlaciones con valores de r mayores o iguales a $\pm 0,65$. Sin embargo, solo los índices

espectrales BGI, RGRI, GI, NDVI y las bandas azul (B1) y roja (B3) mostraron correlaciones altas en al menos dos de las cinco campañas, ocurriendo estas a finales de floración (31 diciembre 2019) y comienzo de llenado de baya (25 enero 2020),(15B).

Para la g_s a las 16 horas, se obtuvo el mayor número de correlaciones. Teniendo en los periodos de floración y comienzos de llenado de baya las correlaciones mas fuertes con los índices NDVI, BGI, RGRI, las bandas azul (B1) y roja (B3). Siendo BGI el que presentó los valores de correlación más altos ($r = -0,66$) para el periodo completo de floración y comienzo de llenado de baya, de $-0,69$ y $-0,58$ respectivamente (Figura 15C)

Por último, como se observa en las Figuras 15A, B y C para la etapa fines de llenado de baya no presentó ninguna correlación con un valor de r mayor o igual a $\pm 0,5$.

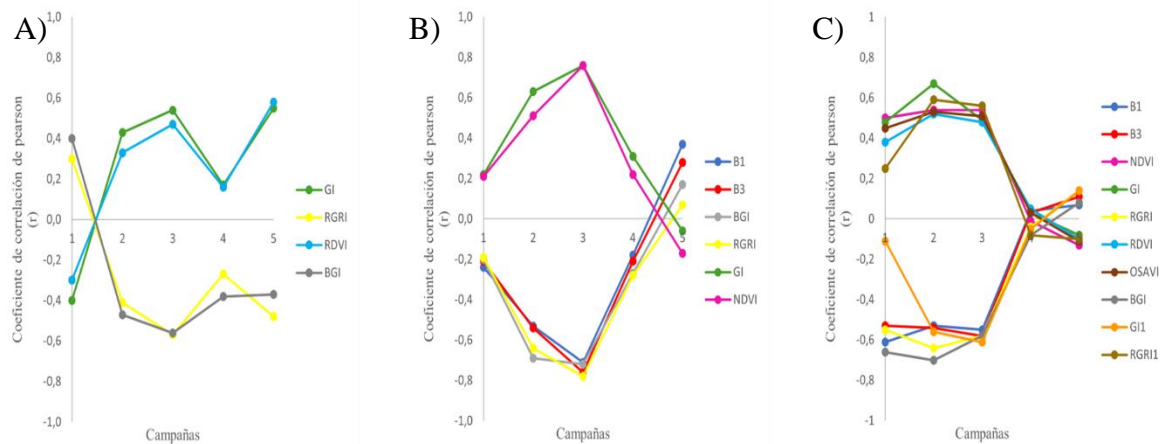


Figura 15. Selección de correlaciones relevantes entre conductancia estomática y parámetros espectrales medidos a: A) 9 hrs. B) 13 hrs C) 16 hrs.

Las mediciones de transpiración (E) a las 9 horas, como se ve en el Cuadro 5, no mostraron correlaciones en campañas seguidas, solo mostraron coeficientes de correlación mayores o iguales a $\pm 0,5$ en comienzo de llenado de baya (campaña 3) y cosecha (campaña 5), teniendo el mayor número de correlaciones y más altas en comienzo de llenado de baya.

Cuadro 5. Selección de correlaciones para el parámetro de transpiración a las 9 horas.

VARIABLES ESPECTRALES	Campaña 3	Campaña 5
B. azul (B1)	-0,61	
B. verde (B2)	-0,52	
B. rojo (B3)	-0,63	
B. NIR (B5)		0,61
DVI		0,51
NDVI	0,58	
GI	0,52	
RGRI	-0,61	
RDVI	0,51	
OSAVI	0,54	
GB-NDVI	0,50	
GR-NDVI	0,52	
BGI	-0,61	
GI*	-0,54	

En cuanto a la medición de transpiración a las 13 horas (E13:30), como se ve en la Figura 16A, presentó correlaciones con la banda azul (B1), rojo (B3) y con los índices NDVI, RGRI, BGI, GI y OSAVI, que se repitieron en las campañas de fines de floración y comienzo de llenado de baya. Si bien, los resultados arrojan otras correlaciones altas como por ejemplo con el coeficiente de variación del índice NDGI * con un $r = 0,69$, esta solo se presentó a comienzos de llenado de baya (anexo 6). De la misma forma como se ve las mediciones a 16 horas presentaron correlaciones altas a fines de floración y comienzos de llenado de baya con los índices BGI y RGRI, pero levemente menos fuertes que en las mediciones de las 13 horas (Figura 16B).

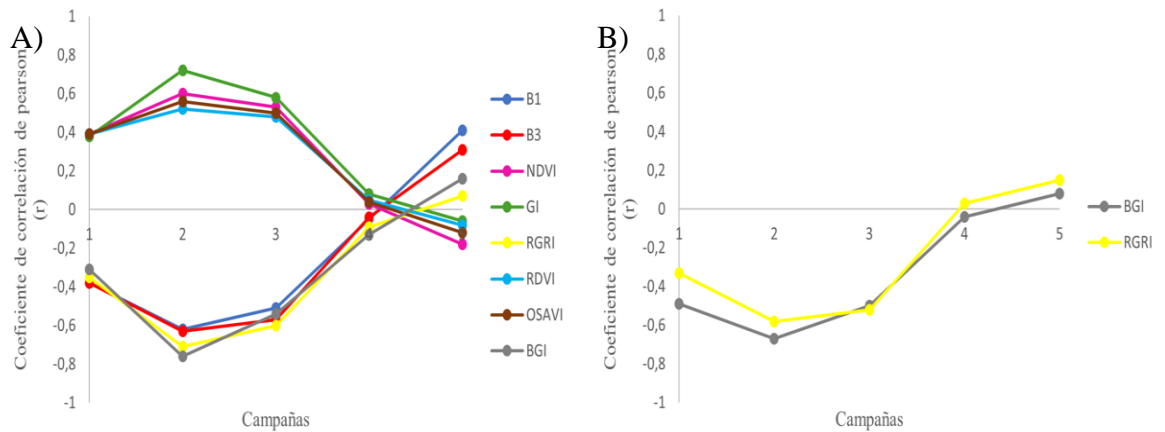


Figura 16. Selección de correlaciones relevantes entre transpiración y parámetros espectrales medidos a. A) 13 hrs. B) 16 hrs.

En cuanto al potencial hídrico de tallo, solo se presentaron correlaciones en el periodo fenológico de cosecha con: la banda del infrarrojo, los coeficientes de variación de la banda verde, borde rojo e infrarrojo siendo esta última la única correlación significativa con un $r = -0,73$.

Por último, el potencial hídrico de pre alba presentó un gran número de correlaciones a comienzos de llenado de baya (campaña 3), como se muestra en el Cuadro 6. Sin embargo, solamente con la banda del red-edge y el índice BGI presentaron correlaciones en más de una campaña, como se ve en la Figura 17.

Cuadro 6. Correlaciones con un coeficiente de Pearson mayor o igual a $\pm 0,5$ entre potencial hídrico de pre alba y los parámetros espectrales a lo largo de las cinco campañas.

Variables espectrales	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4	Campaña 5
B. azul (B1)			-0,61		
B. rojo (B3)			-0,68		
B. red-edge (B4)		0,55		0,51	
DVI			0,56		
NDGI			0,50		
NDVI			0,65		
NDRE			0,50		
GI			0,69		
RGRI			-0,75		
RDVI			0,61		
SR			0,58		
OSAVI			0,63		
MSAVI			0,59		
GB-NDVI			0,54		
GR-NDVI			0,59		
BGI		-0,53	-0,69		
CV-Red-edge					-0,54
CV-NIR					-0,60
NDGI*			0,63		
NDRE*			0,50		
GI*			-0,54		
RGRI*			0,55		

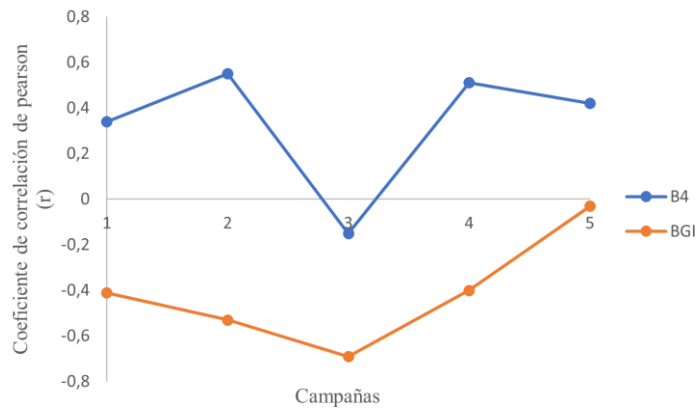


Figura 17. Selección de correlaciones relevantes entre potencial hídrico de pre alba y parámetros espectrales en cada una de las cinco campañas.

Mapeo de parámetros fisiológicos a partir de datos espectrales tomados por un UAV

En el Cuadro 7 se presentan las correlaciones y regresiones para cada una de las diferentes etapas fenológicas, cuyos R^2 hayan sido mayor o igual a 0,5 obteniendo el mejor resultado en el periodo de cosecha con la banda del infrarrojo, seguido por la correlación entre BGI y g_s en el periodo de floración.

Cuadro 7. Regresiones obtenidas a partir de las correlaciones con un R^2 mayor o igual a 0,5.

Figura	Estado fenológico	Correlación	Regresión lineal	R^2
18	Floración	$g_s \sim \text{BGI}$	$y = -0,2671x + 0,1775$	0,50
19	Cosecha	$g_s \sim \text{B5}$	$y = 0,402x - 0,0828$	0,54

A continuación, en las Figuras 18 y 19 se presenta los mapas de parámetros fisiológicos, obtenidos a partir de los modelos de regresión lineal.

En la Figura 18 se muestra un mapa de conductancia estomática para el periodo de floración en función del índice BGI, en el que se aprecia que las conductancias más altas se concentran en los sectores de alto vigor, con niveles $>0,05 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2\text{s}$, mientras que para el sector medio y de bajo vigor las conductancias fluctúan entre 0 a $0,05 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2\text{s}$.

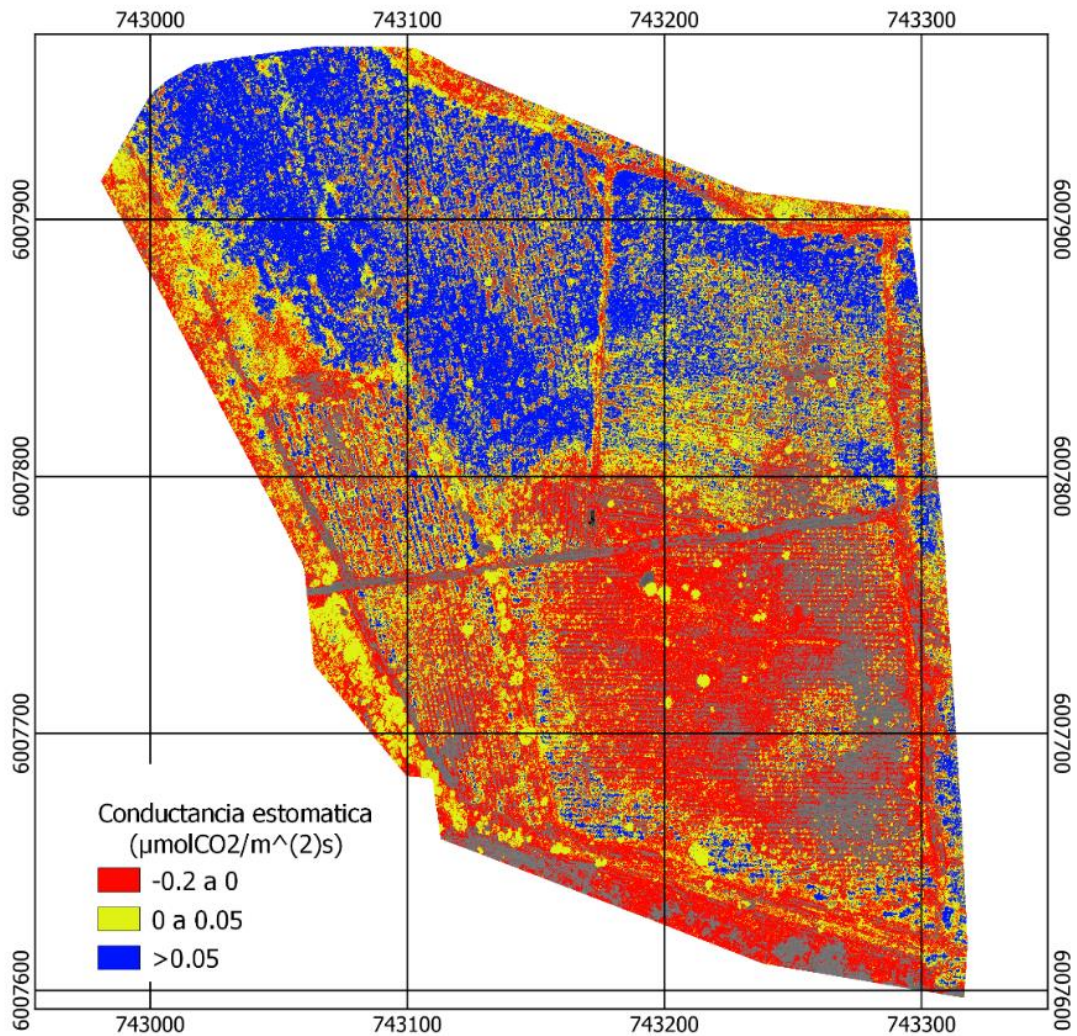


Figura 18. Mapa de conductancia estomática para el periodo de floración.

Finalmente, en la Figura 19 se presenta un mapa de conductancia estomática para el periodo de cosecha, en función de la banda del infrarrojo. Esta correlación, presentó un $R^2 = 0,54$, donde se observa que las conductancias estomáticas disminuyen respecto al periodo de floración (Figura18). Sin embargo, se sigue manteniendo la correlación entre sectores de alto vigor con valores de $g_s > 0,04 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2\text{s}$., en cuanto a las plantas de vigor medio el comportamiento estomático fluctúa en rangos similares a las plantas de vigor alto. En tanto, las plantas ubicadas en el sector de bajo vigor presentan conductancias que van de 0 a $0,02 \mu\text{molCO}_2/\text{m}^2\text{s}$.

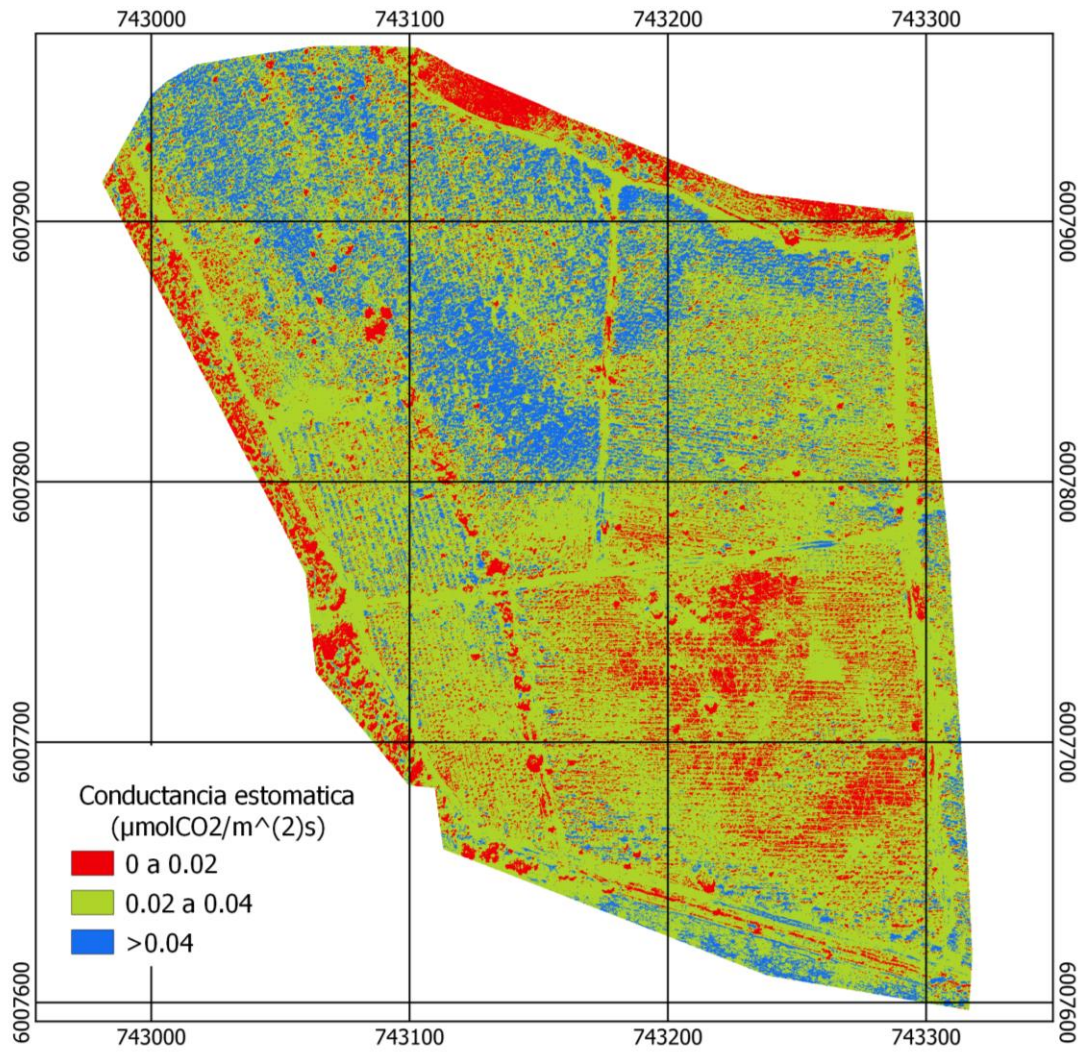


Figura 19. Mapa de conductancia estomática para el periodo de cosecha.

DISCUSIÓN

Respuestas espectrales y parámetros fisiológicos.

En la actualidad hay investigaciones que sostienen la importancia de sustituir mediciones de parámetros fisiológicos en terreno por medio del cálculo de índices espectrales (Romero et al., 2018; Easterday et al., 2019; Blanco et al., 2020). En este sentido, Giovenzana et al. (2018) mediante el uso de un sensor portátil que presenta longitudes de onda en el rango del visible e infrarrojo obtuvieron resultados prometedores en la obtención de valores de potenciales hídricos mediante métodos de medición no destructivo.

En la presente investigación, se demostró el potencial de correlacionar mediciones entre parámetros fisiológicos de asimilación neta, conductancia estomática y potenciales hídricos con diferentes bandas e índices espectrales obtenidos de una cámara multispectral montada en un dron, sin embargo, estas correlaciones fueron variando según el estado fenológico en el que se encuentra la vid. Para el caso de floración, periodo en el que la planta se está preparando para sostener un alto consumo de energía, la mejor correlación se dio entre A_n y el índice GI (Figura. 9) que se forma a partir de las bandas verde y roja, con un valor de $R^2_{\text{viña}} = 0,48$. Si bien, dicho coeficiente de determinación no es excelente, los valores de “r” para los diferentes sectores presentan correlaciones estadísticamente significativas con este índice, es decir una mayor reflectancia en el verde se asociaría a una mayor A_n . Terashima et al., (2009) validan esto con su investigación en la que determinan que la luz verde conduce a una fotosíntesis más eficiente que la luz roja. Esto porque la luz verde puede penetrar más en la hoja, en relación con la luz roja o azul. Basado en esto desarrollaron el método cuántico diferencial de desempeño que cuantifica la eficiencia de cualquier luz monocromática, este método lo aplicaron en hojas de girasoles y mostró claramente que, en luz blanca de moderada a fuerte, la luz verde condujo a una mayor eficiencia en la fotosíntesis en comparación a la luz roja. Esta aparente contradicción entre mayor absorción y reflectancia se explica por el hecho que esta condición observada se dio con ocasión de las mediciones del estado fenológico de floración cuando la radiación solar es máxima. Por lo tanto, la luz verde de acuerdo con la investigación de Terashima penetra más en la hoja fomentando la fotosíntesis, sin embargo, existe un punto de saturación lumínica que hace que el excedente de luz verde sea reflejado.

En cuanto al contenido de agua en la planta o en el suelo, diversos estudios vinculan esta información con índices espectrales tales como el NDWI (Borgogno Mondino et al., 2020) o CWSI (Prueger et al., 2019) que reflejan entre los 800 nm – 2500 nm, rango que abarca el espectro termal y se encuentran en sensores hiper espectrales o personalizados (Zarco-Tejada et al., 2012; Martin et al., 2018). Investigaciones recientes como la de Park et al. (2021) en la que por medio del uso de una cámara termal montada en un UAV, el que volaron tres veces al día 9,12 y 15 horas en un huerto de nectarines, al que se le calculó el índice CWSI encontrando correlaciones significativas con parámetros de g_s y Ψ_{stem} . Sin embargo, el uso de estos sensores a nivel de campo está limitado por su elevado costo comercial.

Por otro lado, con el aumento en el uso de sensores multiespectrales convencionales, se han obtenido buenos resultados vinculando el contenido de agua del suelo o planta con diferentes parámetros espectrales a un costo accesible, en esta misma línea la presente investigación viene a ratificar el uso de este tipo de sensores. De esta manera, se buscaron correlaciones para Ψ_{pd} y Ψ_{stem} , obteniendo solo correlaciones relevantes para Ψ_{pd} con CV2 y RGRI. La mejor correlación se dio entre el Ψ_{pd} y el índice espectral RGRI, para el estado fenológico de llenado de baya (Figura. 12). Esta correlación se condice con la sectorización por vigor, teniendo en el sector de alto vigor los potenciales menos negativos y en los de bajo vigor los potenciales más negativos.

Además, se observó que a un mayor valor de RGRI, más reflejaba la planta en la banda del rojo. Esto en términos simples afecta la capacidad fotosintética y se condice con la proporción de reflectancia de rojo con los diferentes sectores de la viña, obteniendo un $r_{viña} = -0,61$. En tanto la correlación con CV2 se dio en el periodo de floración, donde los sectores de alto y bajo vigor fueron los que presentaron mejor correlación con un $r = -0,87$ y $-0,79$, respectivamente (Figura. 11). A diferencia de las correlaciones que se obtuvieron en A_n y g_s , donde la banda verde jugaba un rol fundamental en las correlaciones, para el caso de Ψ_{pd} fue necesario analizar el coeficiente de dispersión respecto a la media y al mismo tiempo la dispersión que presentaron los datos entre sí, una vez hecho eso se logró una correlación alta, lo que se explica porque la reflectancia de la banda verde es más marcada para estos sectores en el periodo de floración. Por último, si bien las correlaciones presentadas son todas estadísticamente significativas, no todas son candidatas para ser usadas en modelos predictivos.

Para el parámetro de g_s la mejor correlación se dio en el periodo fenológico de cosecha con la banda del NIR, en donde a menores valores de la banda NIR menor es la conductancia estomática, una menor g_s se asocia a una menor capacidad fotosintética, producto del cierre estomático. Una buena correlación se dio entre g_s y NIR, con un $R^2_{viña} = 0,54$ (Figura. 13). Este resultado, permite inferir de manera directa el estado hídrico de la planta, a pesar de no tener altas correlaciones con Ψ_{stem} , g_s se relaciona directamente con Ψ_{stem} mediante procesos de retroalimentación (Giménez et al., 2013). Ribera-Fonseca et al. (2019) evaluaron diferentes índices en arándanos tanto en el visible como en el infrarrojo, usando un espectro radiómetro, en arándanos encontrando buenas correlaciones entre NDVI y g_s ($R^2 = 0,58$) y entre NDVI - Ψ_{stem} ($R^2 = 0,6$).

Temporalidad de medición de los parámetros fisiológicos

Al analizar las correlaciones entre parámetros fisiológicos y variables espectrales, en diferentes periodos del desarrollo de la viña y los diferentes horarios de medición, se pensó a priori que el NDVI sería el índice que presentaría el mayor número de correlaciones, ya que es sabida su capacidad para identificar cambios en el estado hídrico de las plantas como también variaciones en el verdor de estas a lo largo de la temporada (Yang et al., 2017). Sin embargo, el NDVI solo presentó correlaciones con g_s y E a finales de floración (31 diciembre 2019) y comienzo de llenado de baya (25 enero 2020) con medias de $r = 0,5$ (Figuras. 15B, 15C y 16). Esto se condice con el comportamiento del NDVI que es más efectivo en el comienzo y a mediados de temporada cuando la canopia aún no es tan densa (Kazmierski et al., 2011). En el caso de las plantas usadas en este estudio, dado por su sistema de formación en “cabeza” la canopia se tornaba muy densa en los sectores de alto y medio vigor saturando tempranamente la señal espectral contenida en el NDVI.

Con relación a la banda del RE es conocida su utilidad en la conformación del índice NDRE y como este es útil en la estimación del contenido de clorofila, además de ser un índice predictor de la presencia de algún estrés (Clevers y Gitelson, 2013), en función de estos antecedentes se esperaba encontrar buenas correlaciones con alguno de los parámetros fisiológicos. No obstante RE solo presentó correlación con Ψ_{pd} a fines de floración $r=0,6$ y a fines de llenado de baya $r=0,5$ (Figura. 17), las correlaciones mostradas por esta banda no presentan una consistencia en el tiempo dado que la magnitud de sus correlaciones cambia. Al momento de buscar la inconsistencia en el tiempo de esta correlación. Se analizaron los datos climáticos (ver anexo 6) y los vuelos de las fechas donde ocurre la pérdida de correlación, pero no se encontraron anomalías. Blanco et al. (2020) evaluaron la correlación de parámetros espectrales derivados de un UAV y potenciales hídricos en plantaciones de cerezos, analizando índices como OSAVI, NDRE, NDVI y TRRVI con los dos primeros no obtuvieron correlaciones relevantes, lo que da pie para pensar que índices como el NDRE no se correlaciona de buena manera con parámetros fisiológicos, pero si es una herramienta de utilidad en el monitoreo de detección de estreses en plantaciones.

A diferencia de las bandas del rojo o infrarrojo en las que se pensó que se obtendrían los mejores resultados, la banda azul y en particular el índice BGI fueron los parámetros espectrales que mostraron correlaciones para todos los parámetros fisiológicos salvo para Ψ_{stem} , dando siempre los mejores resultados con las mediciones de las 13:00 y 16:00 horas, a fines de floración y a inicios de llenado de baya, El porqué de estas correlaciones, puede estar sustentado en los carotenoides, ya que estos absorben en las bandas del verde y el azul, las mismas bandas que conforman el índice BGI, estos liberan la energía en exceso cuando las hojas están sometidas a condiciones de exceso de luz (Xu et al., 2020), condición que se daba en la viña y podría ser una explicación de la alta correlación que se obtuvo con este índice.

En cuanto al por qué no hay investigaciones relacionadas a correlacionar parámetros de An , g_s , E , Ψ_{stem} y Ψ_{pd} , con la banda azul es principalmente por dos motivos: primero los sensores que las incluyan (p.e: Sentinel o Landsat) toman imágenes a cientos de kilómetros de altura provocando que los aerosoles de la atmósfera generen una distorsión en la interpretación de los resultados (Brinkhoff et al., 2018) y segundo no son muchas las cámaras multispectrales comerciales que incluyan la banda azul por separado en sus sensores, si bien existen equipos como radiómetros que tienen dicha longitud se pierde la capacidad de abarcar grandes superficies.

Ahora cuando se analizó por estadios fenológicos las mejores correlaciones se dieron para g_s a las 16:00 horas para floración (Figuras. 9 y 10) y a las 9 horas para cosecha (Figura. 13). Estos resultados abren una nueva discusión respecto a la hora de medición con la que se correlacionara los parámetros espectrales del UAV, dado que la lógica indicaba en un comienzo que las mejores correlaciones se obtendrían con las mediciones fisiológicas que estaban más cercanas a la hora del vuelo del UAV, sin embargo, esto no ocurrió así. Además, como ya se ha mencionado las mejores correlaciones independiente del horario de medición se dieron con índices que se construyen solo a partir del espectro visible, esto podría explicarse en función de la baja precisión que tiene la banda del NIR a temperaturas sobre 25°C (Jiang et al., 2008). Condición que se dio en la zona de Cauquenes durante los vuelos realizados (ver anexo 6).

Por último, es importante señalar que la evaluación de la aplicabilidad de los índices de vegetación para representar diferencias fisiológicas en plantas debe ser continuamente calibrada. Yan et al. (2019) demostró la dificultad de usar mediciones de verdor, utilizando el índice NDVI como un proxy de productividad, concluyendo que el verdor cambia más lentamente que la función fisiológica de las plantas y que las relaciones entre los índices de vegetación detectados remotamente de especies tolerantes a la sequía y la productividad primaria bruta se rompen en escalas de tiempo muy breve y se desacoplan durante los períodos de escasez de agua como se observa a fines de llenado de baya (campana 4). En consecuencia, sigue existiendo la necesidad crítica de calibrar los índices de vegetación en los diversos ecosistemas y en el tiempo para permitir una detección remota robusta de la fisiología de las plantas.

Mapeo de variables fisiológicas

Si bien se dieron varias correlaciones con “ r ” $\geq \pm 0,5$, solo se dieron dos correlaciones con $R^2 \geq 0,5$. Estos coeficientes de determinación se dieron en el periodo de floración entre $BGI - g_s$, con un $R^2=0,5$ y entre $B5$ y g_s para el periodo de cosecha con un $R^2=0,54$. Estas correlaciones en función de su ecuación de regresión lineal se cartografiaron, dando como resultado mapas de conductancia estomática para dos estadios fenológicos. Sin duda estos resultados son prometedores para el manejo de viñedos de cepa país, pero para llevar este tipo de resultados a valores más finos es imperiosa la necesidad de poder distinguir lo que es viña de lo que es suelo y de lo que es maleza, hacer este procedimiento en las condiciones de esta viña es complejo producto de su sistema de formación en cabeza, la ausencia de un marco de plantación y el nulo manejo de malezas que se le realiza. Romero et al. (2018) estimaron el Ψ_{stem} de un viñado a partir de un set de 90 mediciones, en la temporada de crecimiento a partir de imágenes espectrales, si bien no obtuvo buenas correlaciones mediante modelos de regresión lineal simple, al utilizar redes neuronales (ANN) obtuvieron un alto ajuste con un $R^2=0,83$. Estos resultados dan luz de la necesidad de aumentar el número de mediciones realizada en la investigación, como también ajustar los parámetros de vuelos ya que en la investigación de Romero et al. (2018) se capturaron imágenes con resoluciones de 4cm/px (3cm/px menor a los vuelos realizados en esta investigación), vuelos a resoluciones más finas permitirían eventualmente realizar una discriminación más asertiva entre lo que es suelo viña y maleza. Sumado a estas mejoras se podría explorar la incorporación de imágenes satelitales las que permitirían una mayor disponibilidad de datos dado la revisita que tienen, en particular Sentinel 2 que si bien tiene resoluciones espaciales de 10 metros, la cámara multiespectral usada en esta investigación comparte longitudes de banda con Sentinel permitiendo en teoría re muestrear las imágenes satelitales a resoluciones de 1.5 m/pixel (Cresson., 2019; “Enhancement of Sentinel-2 images at 1.5m – mdl4eo,”), siendo un nuevo input pensando en desarrollar un modelo que permita predecir parámetros fisiológicos a partir de variables espectrales. De este modo se puede buscar una mayor sinergia entre la alta resolución espacial de imágenes obtenidas desde un UAV, con la alta resolución temporal de las imágenes satelitales llegando hasta una frecuencia diaria.

En conclusión, con miras a seguir investigando en la variedad de vid País o en otras, la resolución de las imágenes de dron obtenidas exige ser de una mayor resolución espacial, con el objetivo de poder separar de una manera más rápida los valores espectrales del

suelo de los de la vegetación. Además, la necesidad de incluir machine learning en este tipo de investigaciones es imperante para poder desarrollar modelos predictivos de parámetros fisiológicos a partir de imágenes multispectrales.

CONCLUSIONES

Con base en los antecedentes expuestos se concluye que existen correlaciones significativas entre los parámetros fisiológicos (asimilación neta, conductancia estomática, transpiración y potenciales hídricos) y parámetros espectrales obtenidos a través de imágenes multiespectrales para la cepa País en condiciones de secano, capturadas desde un dron.

Las mayores correlaciones se obtuvieron con los parámetros espectrales o índices basados en el espectro visible. Estas correlaciones, en efecto, permiten caracterizar el comportamiento fisiológico de las plantas del sitio de estudio, comprobando la veracidad de la hipótesis planteada de esta investigación.

En cuanto a las etapas fenológicas, las mejores correlaciones se obtuvieron para las mediciones g_s a las 16 horas con BGI en el periodo de floración y a las 9 horas con la banda infrarroja en el periodo de cosecha. Siendo un gran beneficio la posibilidad de representar espacialmente la distribución de los parámetros fisiológicos, al aplicar los resultados de los modelos de regresión lineal simple a las imágenes obtenidas con dron, con sus respectivos índices y bandas.

De esta forma, los resultados obtenidos en esta investigación marcan un precedente en la búsqueda de entender y caracterizar espectralmente la cepa País. Si bien, los resultados obtenidos no permiten prescindir de las mediciones fisiológicas en terreno, lo cual no era el objetivo de esta investigación, si permite identificar cuáles son las correlaciones más relevantes y nos da las directrices para profundizar y mejorar los métodos para obtener parámetros relacionado a estatus hídrico de viña, asociado al uso de imágenes multiespectrales obtenidas por dron. En este sentido, lo más lógico es pensar en una complementariedad entre las mediciones puntuales y la representación espacial de esos resultados a partir de las correlaciones establecidas con las imágenes multiespectrales.

LITERATURA CITADA

- Ahamed, T., L. Tian, Y. Zhang, and K.C. Ting. 2011. A review of remote sensing methods for biomass feedstock production. *Biomass and Bioenergy* 35(7): 2455–2469. doi: 10.1016/j.biombioe.2011.02.028.
- Beaulieu, M., S. Foucher, D. Haberman, and C. Stewart. 2018. Deep Image- To-Image Transfer Applied to Resolution Enhancement of Sentinel-2 Images. p. 2611–2614
- Blanco, V., P.J. Blaya-Ros, C. Castillo, F. Soto-Vallés, R. Torres-Sánchez, et al. 2020. Potential of UAS-Based Remote Sensing for Estimating Tree Water Status and Yield in Sweet Cherry Trees. *Remote Sensing* 12(15): 2359. doi: 10.3390/rs12152359.
- Borgogno Mondino, E., L. Palma, and V. Novello. 2020. Investigating Sentinel 2 Multispectral Imagery Efficiency in Describing Spectral Response of Vineyards Covered with Plastic Sheets. *Agronomy* 10, doi: 10.3390/agronomy10121909.
- Brinkhoff, J., J. Hornbuckle, and J.L. Barton. 2018. Assessment of Aquatic Weed in Irrigation Channels Using UAV and Satellite Imagery. *Water* 10(11): 1497. doi: 10.3390/w10111497.
- Chimwamuombe, P.M., and P.N. Mataranyika. 2021. Factors influencing dryland agricultural productivity. *Journal of Arid Environments* 189: 104489. doi: 10.1016/j.jaridenv.2021.104489.
- Clevers, J.G.P.W., and A.A. Gitelson. 2013. Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and -3. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 23: 344–351. doi: 10.1016/j.jag.2012.10.008.
- Easterday, K., C. Kislik, T.E. Dawson, S. Hogan, and M. Kelly. 2019. Remotely Sensed Water Limitation in Vegetation: Insights from an Experiment with Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Remote Sensing* 11(16): 1853. doi: 10.3390/rs11161853.
- Enhancement of Sentinel-2 images at 1.5m – mdl4eo. <https://mdl4eo.irstea.fr/2019/03/29/enhancement-of-sentinel-2-images-at-1-5m/> (accessed 14 December 2021).
- Farooq, M., M. Hussain, A. Wahid, and K.H.M. Siddique. 2012. Drought Stress in Plants: An Overview. In: Aroca, R., editor, *Plant Responses to Drought Stress*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. p. 1–33
- Fathi, A., and D.B. Tari. 2016. Effect of Drought Stress and its Mechanism in Plants. 1 10(1): 1–6. doi: 10.3126/ijls.v10i1.14509.
- Flexas, J., J. Bota, F. Loreto, G. Cornic, and T.D. Sharkey. 2004. Diffusive and Metabolic Limitations to Photosynthesis under Drought and Salinity in C₃ Plants. *Plant Biology* 6(3): 269–279. doi: 10.1055/s-2004-820867

Flexas, J., M. Ribas-Carbó, A. Diaz-Espejo, J. Galmés, and H. Medrano. 2008. Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. *Plant Cell Environ* 31(5): 602–621. doi: 10.1111/j.1365-3040.2007.01757.

Gamon, J.A., and J.S. Surfus. 1999. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. *New Phytol* 143(1): 105–117. doi: 10.1046/j.1469-8137.1999.00424.x.

Giménez, C., M. Gallardo, and R.B. Thompson. 2013. Plant–Water Relations. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier

Giovenzana, V., R. Beghi, S. Parisi, L. Brancadoro, and R. Guidetti. 2018. Potential effectiveness of visible and near infrared spectroscopy coupled with wavelength selection for real time grapevine leaf water status measurement. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98(5): 1935–1943. doi: 10.1002/jsfa.8676.

Gómez-Candón, D., A.I. De Castro, and F. López-Granados. 2014. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. *Precision Agric* 15(1): 44–56. doi: 10.1007/s11119-013-9335-4.

Gonzalez-Flor, C., L.S. Porta, and G. Gorchs Altarriba. 2013. Predicting Berry Quality Attributes in cv. Xarel{middle dot}lo Rain-Fed Vineyards Using Narrow-Band Reflectance-Based Indices. *American Journal of Enology and Viticulture* 64(1): 88–97. doi: 10.5344/ajev.2012.11124.

Hunt, E. Raymond, et al. «A Visible Band Index for Remote Sensing Leaf Chlorophyll Content at the Canopy Scale». *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 21, abril de 2013, pp. 103-12. DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.07.020>

Jiang, H.-Y., Li-Juan Xie, Y.-S. Peng, and Y.-B. Ying. 2008. [Study on the influence of temperature on near infrared spectra]. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi* 28(7): 1510–1513.

Kazmierski, M., P. Glémas, J. Rousseau, and B. Tisseyre. 2011. Temporal stability of within-field patterns of NDVI in non irrigated Mediterranean vineyards. *OENO One* 45(2): 61. doi: 10.20870/oeno-one.2011.45.2.1488.

Leslie, C.R., L.O. Serbina, and H.M. Miller. 2017. Landsat and agriculture—Case studies on the uses and benefits of Landsat imagery in agricultural monitoring and production. U.S. Geological Survey, Reston, VA.

Lovisolò, C., I. Perrone, A. Carra, A. Ferrandino, J. Flexas, et al. 2010. Drought-induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non-hydraulic interactions at the whole-plant level: a physiological and molecular update. *Functional Plant Biol.* 37(2): 98. doi: 10.1071/FP09191.

Main, R., M.A. Cho, R. Mathieu, M.M. O’Kennedy, A. Ramoelo, et al. 2011. An investigation into robust spectral indices for leaf chlorophyll estimation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66(6): 751–761. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2011.08.001

- Martin, R.E., G.P. Asner, E. Francis, A. Ambrose, W. Baxter, et al. 2018. Remote measurement of canopy water content in giant sequoias (*Sequoiadendron giganteum*) during drought. *Forest Ecology and Management* 419–420: 279–290, doi: 10.1016/j.foreco.2017.12.002.
- Matese, A., R. Baraldi, A. Berton, C. Cesaraccio, S. Di Gennaro, et al. 2018. Estimation of Water Stress in Grapevines Using Proximal and Remote Sensing Methods. *Remote Sensing* 10(1): 114. doi: 10.3390/rs10010114.
- Park, S., D. Ryu, S. Fuentes, H. Chung, M. O’Connell, et al. 2021. Dependence of CWSI-Based Plant Water Stress Estimation with Diurnal Acquisition Times in a Nectarine Orchard. *Remote Sensing* 13(14): 2775. doi: 10.3390/rs13142775.
- Poblete, T., S. Ortega-Farías, M.A. Moreno, and M. Bardeen. 2017. Artificial Neural Network to Predict Vine Water Status Spatial Variability Using Multispectral Information Obtained from an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Sensors* 17(11): 2488. doi: 10.3390/s17112488.
- Prueger, J.H., C.K. Parry, W.P. Kustas, J.G. Alfieri, M.M. Alsina, et al. 2019. Crop Water Stress Index of an irrigated vineyard in the Central Valley of California. *Irrig Sci* 37(3): 297–313. doi: 10.1007/s00271-018-0598-4.
- Ribera-Fonseca, A., E. Jorquera-Fontena, M. Castro, P. Acevedo, J.C. Parra, et al. 2019. Exploring VIS/NIR reflectance indices for the estimation of water status in highbush blueberry plants grown under full and deficit irrigation. *Scientia Horticulturae* 256: 108557. doi: 10.1016/j.scienta.2019.108557.
- Romero, M., Y. Luo, B. Su, and S. Fuentes. 2018. Vineyard water status estimation using multispectral imagery from an UAV platform and machine learning algorithms for irrigation scheduling management. *Computers and Electronics in Agriculture* 147: 109–117. doi: 10.1016/j.compag.2018.02.013.
- Schultz, H.R. 2003. Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought: Hydraulic conductance and stomatal behaviour. *Plant, Cell & Environment* 26(8): 1393–1405. doi: 10.1046/j.1365-3040.2003.01064.
- Sibille, I., H. Ojeda, J. Prieto, S. Maldonado, J.-N. Lacapere, et al. 2007. Relation between the values of three pressure chamber modalities (midday leaf, midday stem and predawn water potential) of 4 grapevine cultivars in drought situation of the southern of France. Applications for the irrigation control.
- Sims, D.A., and J.A. Gamon. 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sensing of Environment* 81(2): 337–354. doi: 10.1016/S0034-4257(02)00010-X.
- Tardieu, F., T. Simonneau, and B. Muller. 2018. The Physiological Basis of Drought Tolerance in Crop Plants: A Scenario-Dependent Probabilistic Approach. *Annu. Rev. Plant Biol.* 69(1): 733–759. doi: 10.1146/annurev-arplant-042817-040218.

- Taylor, J.A., F. Jacob, M. Galleguillos, L. Prévot, N. Guix, et al. 2013. The utility of remotely-sensed vegetative and terrain covariates at different spatial resolutions in modelling soil and watertable depth (for digital soil mapping). *Geoderma* 193–194: 83–93. doi: 10.1016/j.geoderma.2012.09.009.
- Terashima, I., T. Fujita, T. Inoue, W.S. Chow, and R. Oguchi. 2009. Green Light Drives Leaf Photosynthesis More Efficiently than Red Light in Strong White Light: Revisiting the Enigmatic Question of Why Leaves are Green. *Plant and Cell Physiology* 50(4): 684–697. doi: 10.1093/pcp/pcp034.
- Tuxen, K., L. Schile, D. Stralberg, S. Siegel, T. Parker, et al. 2011. Mapping changes in tidal wetland vegetation composition and pattern across a salinity gradient using high spatial resolution imagery. *Wetlands Ecol Manage* 19(2): 141–157. doi: 10.1007/s11273-010-9207-x.
- Wang, F., J. Huang, Y. Tang, and X. Wang. 2007. New Vegetation Index and Its Application in Estimating Leaf Area Index of Rice. *Rice Science* 14(3): 195–203. doi: 10.1016/S1672-6308(07)60027-4.
- Wang, W., D. Huang, X.-G. Wang, Y.-R. Liu, and F. Zhou. 2010. Estimate soil moisture using trapezoidal relationship between remotely sensed land surface temperature and vegetation index. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 7(6): 8703–8740, doi: 10.5194/hessd-7-8703-2010,
- Widjaja Putra, B.T., and P. Soni. 2017. Evaluating NIR-Red and NIR-Red edge external filters with digital cameras for assessing vegetation indices under different illumination. *Infrared Physics & Technology* 81: 148–156. doi: 10.1016/j.infrared.2017.01.007.
- Wu, J., D. Wang, and M.E. Bauer. 2007. Assessing broadband vegetation indices and QuickBird data in estimating leaf area index of corn and potato canopies. *Field Crops Research* 102(1): 33–42. doi: 10.1016/j.fcr.2007.01.003.
- Wulder, M.A., T.R. Loveland, D.P. Roy, C.J. Crawford, J.G. Masek, et al. 2019. Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment* 225: 127–147. doi: 10.1016/j.rse.2019.02.015.
- Xu, P., V.U. Chukhutsina, W.J. Nawrocki, G. Schansker, L.W. Bielczynski, et al. 2020. Photosynthesis without β -carotene. *Elife* 9: e58984. doi: 10.7554/eLife.58984.
- Yan, D., R.L. Scott, D.J.P. Moore, J.A. Biederman, and W.K. Smith. 2019. Understanding the relationship between vegetation greenness and productivity across dryland ecosystems through the integration of PhenoCam, satellite, and eddy covariance data. *Remote Sensing of Environment* 223: 50–62. doi: 10.1016/j.rse.2018.12.029.
- Yang, H., X. Yang, M. Heskell, S. Sun, and J. Tang. 2017. Seasonal variations of leaf and canopy properties tracked by ground-based NDVI imagery in a temperate forest. *Sci Rep* 7: 1267. doi: 10.1038/s41598-017-01260-y.
- Zarco-Tejada, P.J., V. González-Dugo, and J.A.J. Berni. 2012. Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera. *Remote Sensing of Environment* 117: 322–337. doi: 10.1016/j.rse.2011.10.007.

Zhang, L., L. Ji, and B.K. Wylie. 2011. Response of spectral vegetation indices to soil moisture in grasslands and shrublands. *International Journal of Remote Sensing* 32(18): 5267–5286. doi: 10.1080/01431161.2010.496471.

ANEXOS

Anexo 1: Correlación entre parámetros fisiológicos y espectrales para el estado fenológico de floración

	An (9hrs)	An (13hrs)	An (16hrs)	gs (13hrs)	gs (16hrs)	E (9hrs)	E (13hrs)	E (16hrs)	Pd	Md
Azul (B1)					-0,38*		-0,44*	-0,37*		
CV-azul		-.38*	-0,37*	-0,52*	-0,37*					-0,34*
Verde(B2)	-0,45*	.43*	0,50*	0,42*	0,42*	-0,61*	0,38*		0,55*	0,42*
CV-verde	0,57*	-.53*	-0,67*	-0,65*	0,62*	0,58*			-0,66*	-0,53*
Rojo (B3)			-0,47*	-0,40*	-0,51*		-0,37*	-0,39*	-0,35*	
CV-rojo	0,36*	-.39*		-0,44*		0,43*				
Red-edge (B4)		α	0,48*	0,36*	0,55*			0,53*	0,52*	
CV-RE	0,53*	-.56*	-0,61*	-0,58*	-0,55*	0,59*			-0,57*	-0,43*
NIR(B5)		.36*	0,55*	0,48*	0,53*			α	0,48*	0,35*
CV-NIR	0,42*	-.47*	-0,53*	-0,51*	-0,49*	0,44*			-0,44*	
DVI		.34*	0,55*	0,48*	0,55*				0,47*	0,35*
NDGI*									0,36*	0,38*
NDVI			0,52*	0,47*	0,55*			0,38*	0,41*	0,36*
NDRE		.34*	0,46*	0,44*	0,41*				0,34*	
NDRE*	-0,43*	.44*	0,42*	0,36*		-0,54*			0,48*	0,45*
GI	-0,37*	.38*	0,69*	0,59*	0,69*			0,35*	0,58*	0,50*
GI*			-0,49*		-0,49*			-0,39*	-0,55*	-0,35*
RGRI		-.43*	-0,68*	-0,62*	-0,69*			-0,47*	-0,57*	-0,50*
RGRI*	-0,35*		0,52*		0,52*			0,39*	0,54*	0,38*
RDVI			0,55*	0,49*	0,56*				0,46*	0,36*
SR			0,49*	0,44*	0,49*				0,38*	
SR*					-0,34*					
OSAVI			0,54*	0,48*	0,56*			0,35*	0,44*	0,36*
MSAVI			0,56*	0,49*	0,57*				0,45*	0,36*
GB-NDVI					0,34*		0,34*			
GR-NDVI			0,40*	0,36*	0,44*					
BGI			-0,66*	-0,54*	-0,71*		-0,33*	-0,56*	-0,55*	-0,48*
BGI*	-0,39*		0,46*		0,38*	-0,42*			0,50*	

Nota: Los valores con * indican un p-valor < 0,05, con lo cual las correlaciones son estadísticamente significativas.

Anexo 2: Correlación entre parámetros fisiológicos y espectrales para el estado fenológico de llenado de bayas.

	An (9hr)	An (13hr)	An (16hr)	gs (9hr)	gs (13hr)	gs (16hr)	E (9hr)	E (13hr)	E (16hr)	Pd
Azul (B1)	-0,50*	-0,38*		-0,41*	-0,42*		-0,39*			-0,48*
CV-azul	-0,35*									
Verde(B2)	-0,51*	-0,41*		-0,41*	-0,44*		-0,38*			-0,55*
CV-verde	0,43*						0,35*			
Rojo (B3)					0,42*					0,39*
CV-rojo			0,34*							
Red-edge (B4)	0,35*	0,37*			0,45*					0,47*
CV-RE	-0,40*									
NIR(B5)	0,37*	0,34*		0,39*						0,40*
CV-NIR			0,43*			0,39*				0,40*
DVI	0,48*	0,39*		0,38*	0,45*		0,33*			0,53*
NDGI*		0,34*			0,39*					.34*
NDVI									0,35*	
NDRE	0,45*	0,45*		0,36*	0,49*					.53*
NDRE*	-0,46*			-0,40*			-0,37*			
GI	-0,52*	-0,43*		-0,43*	-0,48*	-0,34*	-0,38*		-0,35*	-.61*
GI*	0,43*									
RGRI	0,41*	0,39*			0,45*					.50*
RGRI*	-0,36*									
RDVI	0,34*	0,42*			0,47*					.42*
SR	0,45*	0,39*		0,35*	0,45*					0,52*
SR*	0,39*	0,38*			0,45*					0,48*
OSAVI	-0,38*									
MSAVI	0,40*	0,36*			0,41*					0,43*
GB-NDVI										0,40*
GR-NDVI	0,42*	0,37*			0,43*					0,47*
BGI	-0,54*	-0,41*		-0,48*	-0,46*	-0,34*	-0,45*		-0,34*	-0,56*
BGI*	0,33*									

Nota: Los valores con * indican un p-valor < 0,05, con lo cual las correlaciones son estadísticamente significativas.

Anexo 3: Correlación entre parámetros fisiológicos y espectrales para el estado fenológico de cosecha.

	An (9hr)	gs (9hr)	E (9hr)	E (13hr)	Pd	Md
Verde (B2)				0,47*		
CV-verde						-0,58*
Red-edge						
NIR	0,59*	0,73*	0,61*			0,52*
CV-NIR					-0,60*	-0,73*
DVI	0,51*	0,66*	0,51*			
GI		0,55*				
RGRI		-0,48*				
RDVI		0,58*				
SR		0,54*				
OSAVI		0,53*				
MSAVI	0,48*	0,62*				
GB-NDVI					-0,48*	
GR-NDVI*					-0,49*	

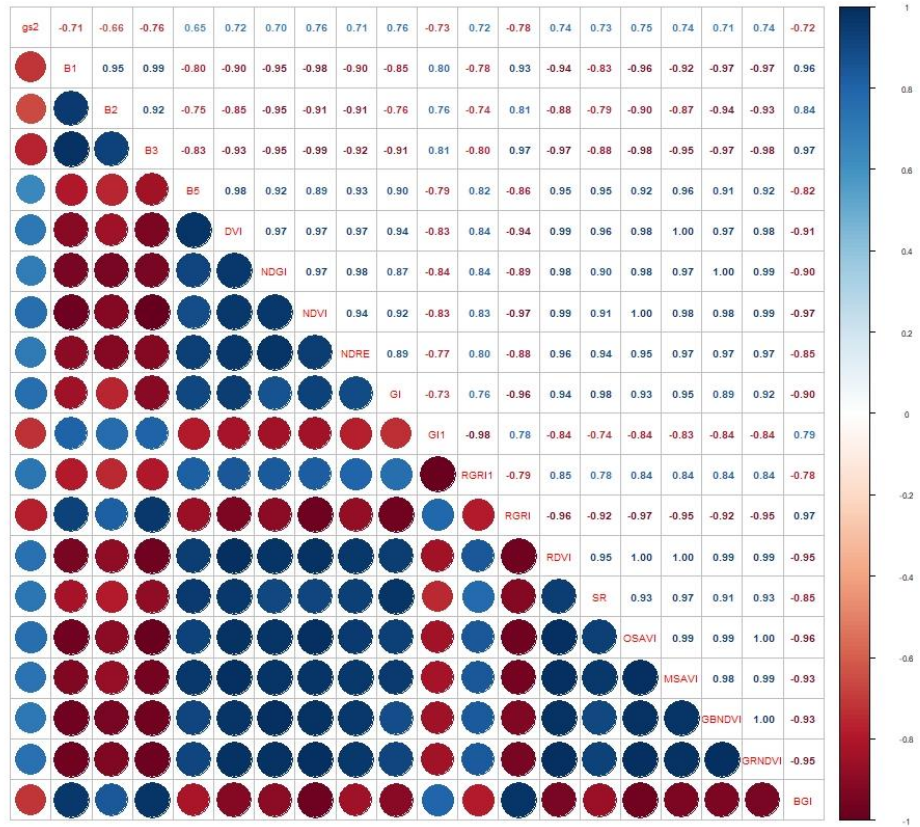
Nota: Los valores con * indican un p-valor < 0,05, con lo cual las correlaciones son estadísticamente significativas.

Anexo 4. Correlación entre la medición de transpiración a las 13 horas y parámetros espectrales en cada una de las campañas.

	Floración		Llenado de baya		Cosecha
	Campaña 1	Campaña 2	Campaña 3	Campaña 4	Campaña 5
Azul (B1)		-0,62*	-0,51*		
Rojo (B3)		-0,63*	-0,57*		
NDVI		0,60*	0,53*		
RGRI		0,72*	0,58*		
RDVI		-0,71*			
SR	α	0,52*	.048*		
OSAVI		0,56*	0,50*		
MSAVI		0,53*			
GRNDVI		0,52*	0,48*		
BGI		-0,76*	-0,54*		
NDGI*			0,69*		
NDRE*			0,57*		
GI1			-0,54*		
RGRI*			0,53*		
GBNDVI*			-0,51*		

Nota: Los valores con * indican un p-valor < 0,05, con lo cual las correlaciones son estadísticamente significativas.

Anexo 5: Matriz de correlación entre conductancia estomática a las 13 horas y parámetros espectrales para la campaña 3.



Anexo 6. Datos climáticos.

Date	Time	Presion Vapor	Presion vap Saturacion	DPV	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt	Wind Speed	Wind Run	Hi Speed	Rain	Solar Rad,
19/12/2019	0:00	1,5	1,9	0,44	16,8	17,4	16,8	77	12,8	1,8	6,44	4	0	0
19/12/2019	1:00	1,4	1,8	0,33	15,6	16,8	15,6	81	12,4	1,3	4,83	3,6	0	0
19/12/2019	2:00	1,3	1,6	0,23	13,8	15,6	13,8	85	11,4	0	0	1,3	0	0
19/12/2019	3:00	1,3	1,4	0,17	12,2	13,8	12,2	88	10,3	0	0	0,4	0	0
19/12/2019	4:00	1,2	1,4	0,12	11,6	12,2	11,5	91	10,2	0	0	1,3	0	0
19/12/2019	5:00	1,3	1,4	0,11	11,7	11,8	11,5	92	10,4	0	0	0,9	0	0
19/12/2019	6:00	1,3	1,3	0,06	11,4	11,8	11,1	95	10,7	0	0	0,9	0	0
19/12/2019	7:00	1,3	1,4	0,07	11,7	11,7	11,2	95	10,9	0,4	1,61	1,3	0	6
19/12/2019	8:00	1,5	1,7	0,14	14,8	14,8	11,7	92	13,5	0,4	1,61	1,8	0	68
19/12/2019	9:00	1,6	1,9	0,27	16,5	16,5	14,8	86	14,1	0,4	1,61	2,2	0	123
19/12/2019	10:00	1,7	2,1	0,39	17,9	17,9	16,5	81	14,6	0,9	3,22	2,2	0	151
19/12/2019	11:00	1,7	2,4	0,65	20,4	20,4	17,9	73	15,4	0,9	3,22	3,1	0	300
19/12/2019	12:00	1,7	2,7	0,99	22,4	22,6	20,4	63	15,1	1,8	6,44	4,9	0	540
19/12/2019	13:00	1,8	2,9	1,17	23,7	23,7	22,3	60	15,5	2,2	8,05	5,8	0	518
19/12/2019	14:00	1,6	2,9	1,27	23,4	23,7	22,7	56	14,1	1,8	6,44	4	0	351
19/12/2019	15:00	1,3	3,3	1,92	25,5	25,6	23,2	41	11,3	1,3	4,83	4,9	0	439
19/12/2019	16:00	1,1	3,3	2,13	25,6	26,4	25,5	35	9	2,7	9,66	6,3	0	493
19/12/2019	17:00	1,1	3,6	2,51	27,1	27,2	25,6	30	8	2,2	8,05	6,3	0	763
19/12/2019	18:00	1,0	3,1	2,10	24,8	27,1	24,8	33	7,4	3,6	12,87	8	0	522
19/12/2019	19:00	1,0	2,7	1,67	22,3	24,8	22,3	38	7,3	4	14,48	8	0	192
19/12/2019	20:00	1,0	2,2	1,20	19,2	22,3	19,2	46	7,3	4	14,48	9,8	0	93
19/12/2019	21:00	1,3	2,0	0,65	17,2	19,2	17,2	67	11	3,1	11,27	9,4	0	14
19/12/2019	22:00	1,4	1,7	0,28	14,8	17,2	14,8	83	12	0,4	1,61	3,6	0,4	1
19/12/2019	23:00	1,4	1,6	0,26	14,3	14,8	14,2	84	11,6	0,4	1,61	1,8	0	0

Date	Time	Presion Vapor	Presion vap Saturacion	DPV	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt	Wind Speed	Wind Run	Hi Speed	Rain	Solar Rad,
31/12/2019	0:00	1,3	2,5	1,27	21,4	22,5	21,4	50	10,6	0,9	3,22	2,7	0	0
31/12/2019	1:00	1,3	2,7	1,39	22,2	22,3	21,2	48	10,7	0,9	3,22	4,5	0	0
31/12/2019	2:00	1,3	2,4	1,09	20,5	22,2	20,5	55	11,1	2,2	8,05	5,8	0	0
31/12/2019	3:00	1,3	2,2	0,91	19,1	20,5	19,1	59	10,9	1,8	6,44	5,4	0	0
31/12/2019	4:00	1,3	2,0	0,71	17,2	19,1	17,2	64	10,3	2,2	8,05	5,8	0	0
31/12/2019	5:00	1,2	1,7	0,47	14,6	17,2	14,5	72	9,6	0,4	1,61	1,3	0	0
31/12/2019	6:00	1,2	2,0	0,78	17,4	17,4	13,3	61	9,8	1,8	6,44	6,7	0	0
31/12/2019	7:00	1,2	2,0	0,78	17,4	17,4	17,1	61	9,8	2,7	9,66	7,2	0	8
31/12/2019	8:00	1,2	2,1	0,91	18,6	18,6	17,1	58	10,1	1,3	4,83	4,9	0	141
31/12/2019	9:00	1,3	2,4	1,13	20,5	20,5	18,6	53	10,6	3,1	11,27	6,7	0	364
31/12/2019	10:00	1,3	2,8	1,51	23	23	20,5	46	10,8	2,7	9,66	5,8	0	568
31/12/2019	11:00	1,3	3,2	1,88	25,1	25,1	22,9	41	10,9	3,1	11,27	6,3	0	744
31/12/2019	12:00	1,3	3,6	2,36	27,3	27,3	25,2	35	10,5	2,7	9,66	7,2	0	886
31/12/2019	13:00	1,2	4,2	3,02	29,8	29,8	27,3	28	9,3	2,7	9,66	6,3	0	982
31/12/2019	14:00	1,1	4,7	3,62	31,8	31,8	29,6	23	8,1	2,7	9,66	6,3	0	1027
31/12/2019	15:00	1,0	5,3	4,27	33,8	33,8	31,8	19	6,9	2,2	8,05	7,2	0	1008
31/12/2019	16:00	1,0	5,6	4,56	34,8	35,3	33,7	18	7	1,3	4,83	5,8	0	927
31/12/2019	17:00	1,0	5,8	4,86	35,7	35,9	34,6	17	6,8	1,3	4,83	4,9	0	793
31/12/2019	18:00	1,3	5,7	4,38	35,2	36,3	35,2	23	10,9	1,8	6,44	5,8	0	623
31/12/2019	19:00	1,2	5,0	3,73	32,8	35,1	32,8	25	10,2	3,1	11,27	6,3	0	425
31/12/2019	20:00	1,1	4,5	3,35	30,9	32,8	30,9	25	8,6	2,7	9,66	5,4	0	227
31/12/2019	21:00	0,9	3,6	2,70	27,2	30,9	27,2	25	5,5	2,2	8,05	4,5	0	45
31/12/2019	22:00	0,8	3,0	2,19	24,1	27,2	24,1	27	3,9	1,3	4,83	4	0	1
31/12/2019	23:00	0,8	2,6	1,80	21,8	24,2	21,7	31	3,9	0,9	3,22	2,2	0	0

Date	Time	Presion Vapor	Presion vap Saturacion	DPV	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt	Wind Speed	Wind Run	Hi Speed	Rain	Solar Rad,
25/01/2020	0:00	1,0	3,1	2,05	24,4	24,5	22,6	33	7,1	1,3	4,83	4,5	0	0
25/01/2020	1:00	0,9	2,8	1,88	23	24,5	23	33	5,9	3,1	11,27	8	0	0
25/01/2020	2:00	0,9	2,5	1,63	21,4	23	21,4	36	5,7	2,7	9,66	7,6	0	0
25/01/2020	3:00	0,8	2,4	1,52	20,2	21,4	20,2	36	4,6	3,1	11,27	6,7	0	0
25/01/2020	4:00	0,9	2,3	1,37	19,4	20,2	19,1	39	5,1	1,3	4,83	4,5	0	0
25/01/2020	5:00	0,9	2,2	1,30	18,8	19,4	18,8	40	4,9	1,3	4,83	5,8	0	0
25/01/2020	6:00	0,9	1,8	0,93	16,1	18,8	15	49	5,4	0,4	1,61	4	0	0
25/01/2020	7:00	0,9	1,5	0,63	13	16,3	13	58	4,9	0,4	1,61	1,8	0	1
25/01/2020	8:00	1,1	2,0	0,88	17,1	17,1	11,9	55	8	0,4	1,61	3,1	0	63
25/01/2020	9:00	1,1	2,3	1,19	20	20	17,1	49	9	2,7	9,66	6,3	0	275
25/01/2020	10:00	1,2	2,8	1,62	22,9	22,9	20	42	9,3	2,7	9,66	5,8	0	484
25/01/2020	11:00	1,2	3,1	1,92	24,9	24,9	22,9	39	10	3,6	12,87	8	0	668
25/01/2020	12:00	1,2	3,6	2,45	27,4	27,4	24,9	33	9,7	4,5	16,09	8	0	818
25/01/2020	13:00	1,3	4,0	2,67	28,9	29,3	27,3	33	11	4	14,48	8	0	918
25/01/2020	14:00	1,4	4,4	3,07	30,8	30,8	28,7	31	11,7	4	14,48	9,8	0	967
25/01/2020	15:00	1,4	4,9	3,45	32,4	32,9	30,8	29	12,1	4	14,48	9,4	0	954
25/01/2020	16:00	1,5	5,2	3,71	33,7	33,8	32,4	29	13,2	3,6	12,87	8	0	883
25/01/2020	17:00	1,6	5,3	3,74	34,1	34,2	33,6	30	14,1	4	14,48	8	0	756
25/01/2020	18:00	1,5	5,3	3,80	34,1	34,3	33,8	29	13,5	4,5	16,09	8	0	590
25/01/2020	19:00	1,6	5,2	3,56	33,5	34,1	33,4	31	14,1	4	14,48	7,2	0	399
25/01/2020	20:00	1,5	4,3	2,74	30,2	33,6	30,2	36	13,5	2,7	9,66	6,3	0	184
25/01/2020	21:00	1,5	3,8	2,25	27,9	30,2	27,9	40	13,1	2,2	8,05	4,9	0	35
25/01/2020	22:00	1,5	3,3	1,80	25,6	27,9	25,6	45	12,8	1,8	6,44	3,6	0	0
25/01/2020	23:00	1,5	3,2	1,73	25,1	25,6	25,1	46	12,6	1,3	4,83	3,6	0	0

Date	Time	Presion Vapor	Presion vap Saturacion	DPV	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt	Wind Speed	Wind Run	Hi Speed	Rain	Solar Rad,
01/02/2020	0:00	1,5	2,7	1,20	22,3	23,2	22,3	22,3	55	12,9	1,3	4,83	3,1	0
01/02/2020	1:00	1,5	2,5	1,03	21,1	22,4	21,1	59	12,7	1,3	4,83	3,1	0	0
01/02/2020	2:00	1,4	2,3	0,82	19,5	21,1	19,5	64	12,5	0	0	0,9	0	0
01/02/2020	3:00	1,5	2,2	0,70	19	19,5	19	68	13	0,4	1,61	1,3	0	0
01/02/2020	4:00	1,6	2,4	0,76	20,2	20,6	18,9	68	14,1	0,4	1,61	2,2	0	0
01/02/2020	5:00	1,5	2,1	0,57	18,3	20,8	18,3	73	13,4	0,4	1,61	3,1	0	0
01/02/2020	6:00	1,4	1,8	0,43	15,9	18,3	15,9	76	11,7	0	0	1,3	0	0
01/02/2020	7:00	1,5	1,7	0,26	15,2	16,1	15,1	85	12,7	0	0	0,9	0	0
01/02/2020	8:00	1,6	2,0	0,39	17,4	17,4	15,2	80	14	0	0	1,3	0	42
01/02/2020	9:00	1,7	2,6	0,97	21,9	21,9	17,4	63	14,6	0,9	3,22	3,1	0	233
01/02/2020	10:00	1,6	3,1	1,44	24,4	24,4	21,9	53	14,2	1,3	4,83	3,6	0	443
01/02/2020	11:00	1,6	3,5	1,83	26,5	26,5	24,3	47	14,3	1,3	4,83	4	0	635
01/02/2020	12:00	1,7	4,0	2,25	28,8	28,8	26,5	43	15	1,3	4,83	3,6	0	786
01/02/2020	13:00	1,7	4,3	2,69	30,4	30,4	28,8	38	14,5	1,3	4,83	3,6	0	891
01/02/2020	14:00	1,7	4,5	2,86	31,2	31,2	30,4	37	14,8	1,8	6,44	5,8	0	943
01/02/2020	15:00	1,7	4,7	3,08	31,9	32,1	31,2	35	14,5	2,2	8,05	6,3	0	929
01/02/2020	16:00	1,6	4,2	2,61	29,9	32,2	29,5	38	14,1	4	14,48	10,3	0	820
01/02/2020	17:00	1,6	3,5	1,91	26,9	29,9	26,9	46	14,3	5,4	19,31	11,6	0	737
01/02/2020	18:00	1,6	3,4	1,76	26,1	26,9	25,8	48	14,2	4,9	17,7	11,6	0	574
01/02/2020	19:00	1,6	3,1	1,47	24,7	26,2	24,7	53	14,4	4	14,48	9,4	0	343
01/02/2020	20:00	1,7	2,8	1,08	23,1	25,2	23,1	62	15,4	3,1	11,27	6,3	0	167
01/02/2020	21:00	1,7	2,5	0,74	20,9	23,1	20,9	70	15,2	2,7	9,66	5,8	0	35
01/02/2020	22:00	1,7	2,3	0,60	19,8	20,9	19,8	74	15	1,3	4,83	4,5	0	0
01/02/2020	23:00	1,7	2,1	0,42	18,2	19,8	18,1	80	14,7	0,9	3,22	1,8	0	0

Date	Time	Presion Vapor	Presion vap Saturacion	DPV	Temp Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt	Wind Speed	Wind Run	Hi Speed	Rain	Solar Rad,
10/03/2020	0:00	0,7	1,6	0,90	13,7	15,6	13,7	43	1,3	0	0	1,3	0	0
10/03/2020	1:00	0,7	1,5	0,80	13,1	13,6	12,9	47	2	0,4	1,61	1,8	0	0
10/03/2020	2:00	0,8	2,0	1,18	17,1	18,1	13,1	40	3,3	0,4	1,61	2,2	0	0
10/03/2020	3:00	0,8	1,6	0,84	14,4	17,8	14,4	49	3,8	0	0	1,3	0	0
10/03/2020	4:00	0,8	1,5	0,68	13,1	14,5	12,7	55	4,3	0,4	1,61	1,8	0	0
10/03/2020	5:00	0,8	1,4	0,55	11,8	13,6	11,8	60	4,3	0	0	1,3	0	0
10/03/2020	6:00	0,9	1,3	0,44	10,9	12,4	10,7	66	4,8	0,4	1,61	1,8	0	0
10/03/2020	7:00	0,9	1,2	0,37	10,2	10,9	9,9	70	5	0	0	1,3	0	3
10/03/2020	8:00	1,1	1,9	0,80	16,4	16,4	10,2	57	7,9	0	0	1,3	0	112
10/03/2020	9:00	1,1	2,8	1,79	23,2	23,2	16,5	37	7,7	0,4	1,61	1,3	0	328
10/03/2020	10:00	1,0	3,3	2,34	25,9	25,9	23,2	30	7	0,9	3,22	4,5	0	517
10/03/2020	11:00	1,0	3,7	2,73	27,8	27,9	25,9	27	7,1	2,2	8,05	4,9	0	672
10/03/2020	12:00	1,1	4,3	3,20	30,1	30,1	27,8	25	7,9	1,3	4,83	8,9	0	779
10/03/2020	13:00	1,0	4,8	3,71	32	32	29,9	22	7,6	1,3	4,83	4	0	827