



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Estimación de fracción de cobertura de dosel a partir de imágenes RGB capturadas desde un dron de bajo costo: Caso de estudio en Avellano europeo (*Corylus avellana* L.)

MEMORIA DE TÍTULO

ESPERANZA JAVIERA SALAS MIRANDA

TALCA, CHILE 2022

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su unidad de procesos técnicos certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Talca, 2022



UNIVERSIDAD DE TALCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

Estimación de fracción de cobertura de dosel a partir de imágenes RGB capturadas desde un dron de bajo costo: Caso de estudio en Avellano europeo (*Corylus avellana* L.)

Por

Esperanza Javiera Salas Miranda

MEMORIA DE TITULO

presentada a la Universidad de Talca como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO AGRÓNOMO

TALCA, 2022

APROBACIÓN



Profesor Guía: Samuel Orlando Ortega Fariás. Ing. Agr. MSc. PhD.



Profesor Co-Guía: Daniel Alejandro de la Fuente Sáiz. Ing. Agr. MSc. Dr(c)

Fecha de presentación de la Defensa de Memoria: 13-05-2022

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mis padres, María Soledad Miranda y Héctor Salas por ser mi apoyo incondicional en toda la etapa estudiantil, son ellos quien con sus valores me han enseñado la disciplina y la motivación para no decaer en los momentos difíciles.

Además, agradezco a mi Hermano Nicolas por ser mi ejemplo a seguir durante mi etapa universitaria, su esfuerzo y dedicación fueron de gran ayuda durante este proceso y gracias al por hacerme tía y con eso entregarme la fuente de energía para terminar este proceso.

Agradezco a la vida Universitaria por darme la oportunidad de crear hermosos lazos afectivos y haber podido coincidir con grandes personas que ahora puedo llamar amigas.

Finalmente estoy eternamente agradecida por el apoyo constante del profesor Daniel de la fuente y Samuel Ortega que hicieron posible concluir este proceso. Gracias a ellos por hacerme parte de su acogedor equipo de trabajo en el CITRA.

RESUMEN

El avellano europeo (*Corylus avellana* L.) se ha convertido en un cultivo estratégico del desarrollo de las zonas agrícolas del valle central de Chile. El riego es una de las variables que interfieren en la productividad. Para precisar el consumo hídrico, se ha utilizado ampliamente la ecuación adaptada de la Fao-56, que involucra un coeficiente de cultivo (K_c) referente a las características de las etapas fenológicas. El K_c se puede obtener a través de la fracción de cobertura (f_c). Es por este motivo que se llevó a cabo un estudio durante las temporadas 2019-2020 y 2020-2021 con el objetivo de estimar el K_c utilizando imágenes de un UAV, en una planta de avellano europeo var. Tonda di Giffoni, en un huerto de la empresa Agrichile S.A, ubicado en la localidad de Camarico, Rio Claro, Maule, Chile ($35^{\circ} 18' 30$ latitud Sur, $71^{\circ} 22' 57$ latitud oeste, 219 m.s.n.m). La f_c se estimó a través de imágenes capturadas al medio día solar, utilizando 2 métodos diferentes. El primero, el conteo manual de una cuadrícula a través de una fotografía digital y el segundo procesando las imágenes aéreas de un UAV Dji Mavic air en el programa QGIS para segmentar el suelo de planta. Además, a través de la ecuación para estimar la evapotranspiración real, adaptada por Allen et, al., 1998, se calculó un coeficiente de corrección de riego (K_r), que fue multiplicado por el K_c de la literatura. Finalmente se realizó una regresión lineal entre ambos métodos que mostraron diferencias estadísticas entre las 2 temporadas. Se obtiene una relación muy baja entre la variable estimada y observada de (R^2) de 0.0268, pendiente de 0.057377, MAE: 0.0711335%, RMSE: 0.00797239 para la temporada 2019-2020. Sin embargo, para la temporada 2020-2021, existió una relación moderadamente fuerte entre f_c observada y la f_c estimada, con un $R^2= 0.76669$ con pendiente de 0.641026, MAE: 0.0322436 % y RMSE: 0.00152509 %. Por medio de los resultados se concluye que el K_c se puede obtener a través de un K_r entregado por la f_c capturadas por el UAV, sin embargo, se debe tener en cuenta factores climáticos y agronómicos.

Palabras claves: Coeficiente de cultivo (K_c), fracción de cobertura (f_c), factor de corrección de riego (K_r), UAV.

ABSTRACT

The European hazelnut (*Corylus avellana* L.) has become a strategic crop for the development of agricultural areas in the central valley of Chile. Irrigation is one of the variables that interfere with productivity. To specify water consumption, the adapted equation of Fao-56, which involves a culture coefficient (k_c) referring to the characteristics of the phenological stages, has been widely used. k_c can be obtained through the coverage fraction (f_c). It is for this reason that a study was carried out during the seasons 2019-2020 and 2020-2021 with the aim of estimating the k_c using images of a UAV, in a European var hazel plant. Tonda di Giffoni, in an orchard of the company Agrichile S.A, located in the town of Camarico, Rio Claro, Maule, Chile ($35^{\circ} 18' 30$ latitude South, $71^{\circ} 22' 57$ latitude West, 219 m.s.n.m). The f_c was estimated through images captured at solar noon, using 2 different methods. The first, the manual counting of a grid through a digital photograph and the second processing the aerial images of a Dji Mavic air UAV in the QGIS program to segment the floor plan. In addition, through the equation for estimating actual evapotranspiration, adapted by Allen et al., 1998, an irrigation correction coefficient (K_r) was calculated, which was multiplied by the k_c of the literature. Finally, a linear regression was performed between both methods that showed statistical differences between the 2 seasons. We obtained a very low ratio between the estimated and observed variable of (R^2) of 0.0268, slope of 0.057377, MAE: 0.0711335%, RMSE: 0.00797239 for the 2019-2020 season. However, for the 2020-2021 season, there was a moderately strong relationship between observed and estimated f_c , with an $R^2 = 0.76669$ with a slope of 0.641026, MAE: 0.0322436 % and RMSE: 0.00152509 %. By means of the results it is concluded that the k_c can be obtained through a K_r delivered by the f_c captured by the UAV, however it must take into account climatic and agronomic factors.

Key words: Crop coefficient (k_c), coverage fraction (f_c), irrigation correction factor (K_r), UAV.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Hipótesis.....	4
1.2	Objetivo General.....	4
1.3	Objetivos específicos.....	4
2.1.1	Superficie y variedades en Chile.....	5
2.1.2	Requerimientos edafoclimáticos.....	6
2.2.1	Coefficiente de cultivo Kc y Kr.....	7
2.3	Relación Kr/Fracción de cobertura.....	8
2.4	Agricultura de precisión.....	9
2.4.1	UAV.....	9
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
3.1	Ubicación del ensayo.....	12
3.2	Diseño experimental.....	13
3.3	Mediciones meteorológicas del sitio.....	13
3.4	Monitoreo del cultivo.....	13
3.5	Medición de fracción de Cobertura.....	14
3.6	Medición de fracción de cobertura con UAV.....	14
3.7	Cálculo de Kr.....	17
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
4.2	Fracción de cobertura manual.....	19
4.3	Porcentaje de sombra a través de imágenes RGB.....	20
4.4	Comparación entre la fracción de cobertura observada (manual) v/s estimada (UAV).....	22
4.5	Validación de la Fracción de cobertura.....	22
4.6	Estimación del Kr.....	24
4.7	Corrección del coeficiente de cultivo (Kc).....	27
V.	CONCLUSIONES.....	28
VI.	BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	29

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro n ° 1: Resumen del porcentaje sombreado obtenidos en la primera (2019-2020) y segunda temporada (2020-2021) utilizando el cálculo, manual y el UAV dji mavic air, además del tiempo que se empleó para procesar las imágenes	21
Cuadro n° 2: Kr observado, estimado y las diferencias entre ellos para dos temporadas de estudio en una planta de avellano europeo var. tonda di giffoni.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dron multirrotor (cuadricoptero) y dron de ala fija. (pino, 2019).	10
Figura 2. Imágenes según tipo de cámara y espectros (rgb y nir) (torres-rua, 2017).....	11
Figura 3. Imagen satelital del predio en Frutícola Agrichile, Camarico, Rio claro, Maule, Chile. Obtenida por Google Earth. La zona enmarcada corresponde al lugar donde se realizaron los vuelos del UAV	12
Figura 4. Fotografía del predio de avellanos europeos capturada al medio día solar por el UAV Dji mavic air	13
Figura 5. Fotografía capturada por cámara profesional sony ilce-600 del día 12-02-2021, utilizada para el conteo de porcentaje de soleado y de sombre. área de cuadrícula 15 m ² , correspondiente al marco de plantación 5x3 metros	14
Figura 6. Captura de pantalla de la calculadora ráster. ejemplo de pixeles correspondientes a valores mayores a 0.1... ..	16
Figura 7. Capturas de pantalla de calculadora ráster para EXG > 0.1.....	16
Figura 8. (a) Fotografía aérea del UAV, (b) filtro con valores > 0.1 para segmentar planta de suelo con índice exg, (c) filtro que anula la segmentacion de suelo mas el poligono que representa el marco de plantación (5x3 m).	17
Figura 9. Registro climatológico temporada 2019-2020 y 2020-2021, (a) temperaturas del aire (°c), (b) humedad relativa (%), (c) precipitaciones (mm/día) y evapotranspiración de referencia	

(eto en mm/día) el sitio de estudio del avellano europeo. a través de una estación ema ubicado a 7 km de la planta en estudio dentro del fundo la cachimba en Rio claro..... 19

Figura 10. (a) Porcentaje de sombra temporada 2019-2020 y (b) temporada 2020-2021 del avellano europeo cv. tonda di giffoni, contabilizados en una cuadrícula área manual 19

Figura 11. Fotografía donde se comparada el vigor del 17 de diciembre del 2019(a) y el exceso de vigor del 21 de diciembre del 2020 (b), del avellano europeo, capturadas por el uav dji mavic air..... 20

Figura 12. Comparación de la intensidad lumínica entre fotografía aérea capturada el día 03 de enero del 2020 (a) y el 04 de enero del 2021 (b), capturada por el uav al medio día solar. 20

Figura 13. Correlación lineal del porcentaje de sombreado observado (conteo manual) y el sombreado estimado (imágenes del UAV) en toda la temporada de estudio de una planta de avellano europeo conducido en multieje (huerto la cachimba, rio claro, maule). 23

Figura 14. Porcentaje de sombreado observado (conteo manual) y sombreado estimado (imágenes del dron) de dos temporadas por separado. (a) temporada 2019-2020 y (b) temporada 2020-2021 en una planta de avellano europeo formado en multieje (huerto la cachimba, Rio claro, Maule) 23

Figura 15. Coeficiente de corrección de riego (K_r) observado, calculado la fracción de cobertura a través del conteo manual y K_r estimado por la fracción de cobertura calculada por el uav para 2 temporadas de estudio de una planta de avellano europeo var. tonda di giffoni (huerto la cachimba, Cumpeo, Rio claro, región del maule)..... 25

Figura 16. Curva generalizada del coeficiente del cultivo, correspondiente al procedimiento del coeficiente único del cultivo. (fuente: fao 56, 1998) 25

Figura 17. Comparación entre coeficiente de cultivo adaptado por fao-56, k_c obtenido por torre eddy covariance ubicado en zona de estudio en el fundo de avellanos europeo var. tonda di giffoni y K_c estimado y corregido por K_r obtenido por imágenes rgb del UAV Dji mavic air. 27

I. INTRODUCCIÓN

Para estimar el consumo de agua de un cultivo se ha usado ampliamente el método del balance hídrico propuesto por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977), que relaciona la evapotranspiración (ETa) como la forma empírica de explicar que volumen de agua puede perder una plantación agrícola considerando la información de evapotranspiración de referencia (ETo) y coeficiente de cultivo (Kc). Los Kc en frutales deberán tener en cuenta las combinaciones de: cultivar, sistema de conducción, tamaño de plantas, distancia de plantación, orientación, características del riego, laboreo del suelo y estado fenológico del cultivo entre otros aspectos (Girona et al., 2004). Además, el Kc debe reflejar la condición de la cobertura vegetal y arquitectura del dosel. De esta forma se puede relacionar dicho parámetro con la fracción de cobertura vegetal, la cual corresponde al área sombreada proyectada sobre el suelo al medio día (Adam et. al., 1997). Por ende, la FCV es considerada una de las principales variables que pueden explicar el desarrollo de los cultivos y sus características biofísicas como la densidad de las plantas, la fenología, el índice de área foliar y rendimiento (Fang.et. al., 2016)

Además existe un factor de cobertura (Kr) que se aplica en huertos jóvenes como una manera de corregir la baja superficie foliar en la que se intercepta la radiación solar y lograr de esta forma una relación porcentual entre suelo sombreado y el porcentaje del gasto energético (Fererres et al.,1981).Por ejemplo en árboles frutales donde la cobertura no es total (Fernandez, 2015), la estimación del porcentaje de sombreadamiento (Ps) involucra el área de cobertura potencial (Ai), que relaciona directamente el marco de plantación como: el área de cobertura (Ac), correspondiente al área de sombreadamiento de cada árbol (Ellena, 2013). A esto se suma la idea de relacionar un área pequeña de canopia en los primeros estadios de frutales jóvenes, con el mayor ahorro de agua (Fererres et al., 1982). Por ende, el Kr corresponde al factor de corrección por sombreadamiento que se aplica a arboles con menos del 60% de cubrimiento del suelo, el cual se ha utilizado en algunos frutales como palta, aplicando valores de Kr entre el 0,28 (10% de cubrimiento) al 0,89 (60% de cubrimiento) (Pilar, 2009). Traduciéndose así en una menor transpiración de un árbol joven, es decir, se corrige la evapotranspiración a través de su estado de canopia que reflejara la menor demanda de agua en etapas más tempranas de cultivo con respecto a su marco de plantación. El Kr debe aplicarse a un Kc referencial que cubre por completo el suelo (praderas). Sin embargo, los valores encontrados en la literatura son referentes de otras zonas climáticas diferentes a las

del territorio nacional (mediterráneo) por lo cual encontrar un Kc apropiado para un cultivo, otorgaría información relevante para considerarla como estrategias de riego. La utilización de elementos que permitan caracterizar el dosel como el Ps son elementos que permiten conocer las relaciones hídrica apropiadas para un cultivo y sitio específico.

La arquitectura de la canopia permite conocer el intercambio de energía y materia entre planta y atmosfera siendo la fracción de cobertura uno de los factores que se pueden utilizar para caracterizar la arquitectura de una planta. Su estimación puede ser mediante mediciones directas en el campo, consideras también llamada “forma tradicional”, que involucra el conteo de área sombreada mencionada anteriormente (Williams et al., 2003). Dicha técnica se realiza in situ a través de capturas fotográficas al medio día solar de una cuadrícula con dimensiones correspondientes al marco de plantación, para luego ser interpretada como porcentaje sombreado y porcentaje soleado, de la cual se estima la fracción de cobertura. Es más, se han realizado trabajos investigativos utilizando esta técnica, que han arrojado una importante relación entre la fracción de cobertura con el índice de área foliar, existiendo una dependencia de la fracción de cobertura y el índice de área foliar, a la distribución de las hojas en el espacio (Campillo, 2010). Sin embargo, esta estimación al ser realizada por una persona resulta en información más bien subjetiva y al deberse de una gran cantidad de cuadrículas contadas de forma manual, se genera fatiga por la repetición. Es por esto que estimar la fracción de cobertura con técnicas antiguas se considera cada vez más tediosa, generando a su vez la utilización de recursos económicos para suplir la demanda de tiempo del recurso humano capacitado, y los insumos necesarios para la interpretación de los datos.

Gracias al avance tecnológico, en la actualidad se han implementado al sector agrícola la utilización de imágenes satelitales, las cuales se han incorporado positivamente como una alternativa para mejorar la problemática de la estimación de la Fracción de Cobertura (FC). La teledetección es un término asociado a la agricultura de precisión que otorga a los productores una herramienta de monitoreo de cultivos a través de imágenes satelitales y sistemas de posicionamiento (GPS) (Hatfield, 2008), lo que permite llevar un seguimiento del cultivo en su todas sus etapas. Una de las herramientas ampliamente usadas es el procesamiento de imágenes satelitales del programa Landsat, que otorga imágenes multiespectrales de la superficie de la tierra a través de los satélites Landsat 7ETM+, 8OLI, 9OLI-2 (Balboltin et at., 2016) y el recientemente desplegado, Landsat 9 que cuenta con sensores infrarrojos térmicos, que sire para calcular la humedad del suelo y detectar la salud de las plantas (EFE,2021). Sin embargo, se ha cuestionado la calidad de las imágenes consideradas de baja resolución espaciales y espectrales, lo que genera problemas representativos en los mapas de distribución espacial y evolución del cultivo, por ejemplo, en días nubosos donde se pierde la representatividad de las imágenes, considerándose una desventaja importante. Para suplir tales limitaciones, se han empleado vehículos aéreos no

tripulados (UAV) equipados con varios tipos de sensores como cámaras multispectrales, hiperespectrales, infrarrojos térmicos y LIDAR (Colomina y Molina, 2014), que permiten obtener gran cantidad de datos en poco tiempo. Sin embargo, dichos sensores implican una inversión altamente costosa para cualquier huerto agrícola y por consiguiente es inviable económicamente. A raíz de esto, la implementación de Drones de bajo costo con sensores RGB, han demostrado el potencial de estas imágenes para entregar información detallada sobre la variabilidad espacial y temporal de los cultivos usando índices vegetacionales basados en RGB de fácil planificación y alta resolución, incluso con días nublados, (Schirrmann et al., 2016). Las imágenes entregan información de color en las bandas rojo, verde y azul de alta calidad, las que a través una serie de fotografías individuales programáticamente emparejadas forman una nueva imagen compuesta (orto mosaicos), muy útiles para inspecciones de campo, problemáticas de fuga de agua, salud del cultivo y también pueden ser utilizadas para calcular la cubierta del dosel, que a su vez puede ayudar a determinar el uso del agua de cultivo (Loaiza, 2018).

La implementación de estos índices vegetacionales RGB, como el índice ExG (índice de exceso de verdor) permiten enfrentar la problemática a bajo costo y optimizando el tiempo, esfuerzo humano, recursos económicos e hídricos.

Esto es clave en cultivos que se han establecido de forma expansiva en nuestro país y de los cuales se conoce muy poco sobre el manejo hídrico. Actualmente el avellano europeo (*Corylus avellana* L.) se considera el tercer cultivo frutal de mayor crecimiento económico en el país (Ellena, 2003). El cultivo avellano se conduce principalmente en multi eje nuestro país; por ejemplo, Tonda di Giffoni al ser menos vigorosa que la variedad Barcelona, se maneja de esa forma, mientras que la segunda se establece en mono eje por ser una variedad más vigorosa (Grad, 2009). Su forma de establecimiento permite asociarlo a la arquitectura y área de dosel. Actualmente la arquitectura del dosel no ha sido estudiada como una forma simple de obtener los valores de K_r con los cuales ajustar los K_c de literatura para optimizar las labores de riego en todas sus etapas de desarrollo del cultivo. Es por esto, que la presente investigación busca demostrar la factibilidad de obtener la F_c (reemplazando métodos tradiciones) mediante la utilización de un UAV de bajo costo e imágenes RGB.

1.1 Hipótesis:

Mediante imágenes RGB capturadas por un UAV de bajo costo es posible cuantificar la fracción de cobertura y Kr en un huerto de avellano europeo (*Corylus avellana* L.) de alta densidad conducido en multieje.

1.2 Objetivo General:

Determinar la fracción de cobertura de un huerto de avellano empleando imágenes áreas RGB desde un UAV de bajo costo para generar los Kr durante dos temporadas agrícolas.

1.3 Objetivos específicos:

- Caracterizar la arquitectura del dosel y porcentaje de cobertura en terreno mediante mediciones in situ durante el crecimiento fenológico del cultivo.
- Modelar fotogramétricamente imágenes RGB georreferenciadas del huerto.
- Relacionar la FC con el Kr y Kc durante las temporadas en estudio.

II. REVISIÓN BIBLOGRÁFICA

2.1 Avellano europeo

El avellano europeo (*corylus avellana L.*) se ha considerado un frutal rentable económicamente ya que, por sus costos de establecimiento, fácil mecanización y recolección de la fruta desde el suelo presenta bajos costos de producción (Mella, 2017).

La producción se concentra en el hemisferio norte, siendo Turquía, Italia, España, Estados Unidos, Georgia y Francia los principales productores., donde los dos primeros, son los mayores productores con un 63% y 13 %, respectivamente (INC.2019). En el 2021 el mercado mundial de la avellana se valoró en 420 millones de dólares y se espera que alcance los 720,9 millones de dólares a finales del 2029, con un crecimiento anual de 8,1 % durante el periodo 2021-2022 (Abad, 2022).

2.1.1 Superficie y variedades en Chile

De acuerdo con las proyecciones por mella (2013) la superficie del avellano europeo en Chile al año 2020 alcanzaría las 17 mil ha. Sin embargo, según los datos recientes de ODEPA (2022), la superficie tuvo una expansión explosiva aumentando a 24.456 ha en el territorio nacional, específicamente al sur de Chile (Ñuble y Araucanía) donde los agricultores ven a este cultivo como una alternativa productiva en reemplazo a la ganadería. Desde 1990 se establece en Chile el avellano europeo entre la región del Maule, la Araucanía, Los Ríos y Los Lagos (Mella, 2013). Visualizándose una expansión acelerada en la superficie plantada en la actualidad en la región del Maule con 11.225 ha, Ñuble con 2.943 ha. Bio Bío con 1.031 ha. La Araucanía con 7.034,29. Los Ríos con 1.267 ha y Los Lagos con 890,41 al año 2020. (Odepa, 2020) La producción según las exportaciones registradas alcanza las 2,5 toneladas por hectáreas, cifras que son menores a lo esperado comparadas con los rendimientos.

Las principales variedades que se cultivan en Chile son dos: Barcelona y Tonda di Giffoni, donde cerca del 60 % de la superficie nacional está plantada con Barcelona que a su vez es polinizante de la segunda variedad más plantada, Tonda di Giffoni (ODEPA,2019) Además, se cultivan otras variedades de menos importancia como Tonda Gentile delle Langhe (TGL), Tonda Romana y algunas nuevas de origen norteamericano como Jefferson, Yamhill, Tonda Pacifica, entre otras (Mella, 2018).

El caso estudio es llevado a cabo sobre la variedad Tonda di Giffoni considerada la variedad con mayor demanda, por su alta productividad, características organolépticas y su

alta demanda en la industria chocolatera (Grau. 2003). Además, se caracteriza por ser un árbol que presenta un rápido crecimiento, vigor intermedio, precocidad productiva elevada, una notable proteandria y autoesterilidad, floración masculina y femenina muy precoz. (Mella 2013). Esta variedad se conduce preferentemente a través del sistema de multieje en un marco de plantación de 5x3 y 5x2,5 metros. Dado su crecimiento vertical y cerrado, la utilización de un sistema de conducción en multieje no dificulta las labores mecanizadas en comparación a otras variedades como Barcelona que se conducen en monoeje por presentar un crecimiento más vigoroso y expansivo (Mella,2018).

2.1.2 Requerimientos edafoclimáticos.

El avellano europeo es una especie que por lo general se adapta a diferentes condiciones climáticas, pero el desarrollo óptimo se da en localidades que presentan temperaturas medias anuales entre 12 y 16° C. (Ellena,2013) En esa circunstancia se cumplen entre 700-1200 horas frías para las yemas vegetativas y para los amentos las 500 horas. Las temperaturas mínimas no deben ser inferiores a -8°C, ya que pueden causar daños en inflorescencias femeninas (Köksal, 2002; Ellena, 2013).

En zonas con pluviometría de al menos 800 mm anuales el avellano europeo puede ser cultivado sin riego. Pero en la zona centro sur donde se cumplen las óptimas condiciones para su establecimiento se debe regar para alcanzar los mejores rendimientos (Mella, 2018). Además, se ha observado daño por sales por la presencia de brisas marinas en zonas costeras, lo que quiere decir que esta especie no tolera aguas salinas (Ellena, 2013; Koval, 1972).

Para el establecimiento, el avellano europeo se desarrolla mejor en suelos fértiles, profundos, con buen drenaje y pH entre 6,0 y 7,5. Sin embargo en las plantaciones de la zona sur en suelos de pH 5,7 y 6,0 se han observado buenos rendimientos y calidad de fruta (Mella, 2018)

El avellano, tiene un ciclo anual bastante complejo por la sobreposición de estados fenológicos durante los meses de diciembre y enero. En tal sentido, requiere una adecuada disponibilidad hídrica para atenuar la competencia entre los diferentes órganos del árbol (Gispert et al., 2005).

La demanda hídrica es propicia cubrirlas durante todo el desarrollo, pero particularmente las necesidades de agua son elevadas durante el período que abarca el crecimiento vegetativo, la inducción floral y el desarrollo de la avellana (Girona et al., 1994; Valenzuela et al., 2000).

2.2 Determinación de necesidades hídricas

Para la determinación de las necesidades hídricas de un cultivo se debe considerar la evapotranspiración de referencia (ET_o) la cual corresponde a un cultivo de pasto en referencia con características específicas en los que los únicos factores que afectan la ET_o son los parámetros climáticos y se pueden calcular a partir de datos meteorológicos (FAO 1998). La fórmula de Perman Montheith permite estimar la ET_o por medios de parámetros meteorológicos como: radiación solar neta, temperatura del aire, velocidad del viento y tensión de vapor del agua. Esto constituye una gran ventaja en casos de imposibilidad de disponer de observaciones meteorológicas en el sitio deseado (Guevara, 2006). Una hídrica es mediante la siguiente expresión (eq. 1)

la ecuación de la evapotranspiración real (ET_a) (eq. 1) es la forma de mejorar la precisión de la demanda hídrica asociándola a un cultivo en específico. La ET_a entrega una cuantificación más representativa de una especie en particular ya que involucra el efecto de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo combinado en un único coeficiente K_c (Uribe et al ,2019).

$$ET_a = K_c \times ET_o \quad (1)$$

Donde, ET_a es la evapotranspiración de referencia (mm/día), K_c es el coeficiente de cultivo (adimensional) y ET_o es la evapotranspiración de referencia (mm/día).

Sin embargo, en dicha ecuación, se considera un K_c estandarizado de la literatura, que no considera la variabilidad espacial y temporal de una zona en específico, donde puede variar las condiciones climáticas, suelo y variedad, por lo que se inducen importantes errores en la estimación de la Et_a. (Carrasco-Benavides et al., 2012; Ortega-Farias et al., 2009)

2.2.1 Coeficiente de cultivo K_c y K_r

El coeficiente de cultivo (K_c) junto con la ET_o se utilizan para calcular la tasa de evapotranspiración de cada cultivo en sus diferentes etapas de crecimiento (eq. 1), donde el K_c incorpora las características de los cultivos y los efectos promediados de la evaporación del suelo. (Doorenbos y Pruitt, 1977) Es relevante para la planificación y gestión de programas de riego la utilización de los coeficientes medios de cultivo, más que los K_c calculados solo en un periodo de tiempo (FAO, 1990). Estudios realizados en frejoles, han demostrado que conocer el K_c en las diferentes etapas fenológicas, ha ayudado a mejorar el uso del agua de

riego, encontrando los valores de K_c y las necesidades hídricas más altas en la etapa media de desarrollo del frejol (Cabello, 2015). Sin embargo, en la literatura no existen K_c desarrollados para avellano europeo adaptados a las condiciones de Chile, por lo que se generan errores para estimar la ET_a . Los K_c generados por la FAO-56 están desarrollados para localidades distintas a la local de clima mediterráneo por lo que se hace necesario calibrar los valores K_c especialmente en las zonas óptimas de establecimiento del avellano.

Gracias al avance de la tecnología se han implementado diferentes tipos de instrumentos que han permitido mejorar la estimación de la evapotranspiración de una cubierta vegetal. Uno de los sistemas de referencia entre los métodos micrometeorológico es la torre Eddy covariance la que determina la correlación entre las fluctuaciones de la concentración de un escalar (agua, CO_2 , momento, entre otros) y las fluctuaciones de la velocidad vertical del viento, para determinar la ET_a . (Monteith y Unsworth, 2007). A pesar de su gran utilidad, el Eddy covariance es un instrumento costoso y sofisticado que no es ampliamente usado, salvo en investigación.

En busca de determinar la evapotranspiración reduciendo costos operacionales Fereres et al, (1981) indican que el consumo de un árbol frutal joven puede estimarse con los K_c de árboles totalmente desarrollados aplicando un coeficiente corrector, menor que la unidad, denominado coeficiente de cobertura (K_r), el cual corrige el hecho de disponer de menor superficie foliar expuesta a radiación solar que relaciona el porcentaje de suelo sombreado y el porcentaje de gasto potencial de agua. El K_r a su vez se puede estimar con la fracción de cobertura creando una relación directa entre el área de la canopia con respecto al marco de plantación (Fereres,1982).

2.3 Relación K_r /Fracción de cobertura

En busca de precisar el gasto hídrico de cultivos como frutales, regados bajo sistemas localizados, es utilizada la sombra proyectada de los árboles para estimar el factor de corrección (K_r). Y corregir el K_c Fereres et. al.,1981 asume una relación directa entre el porcentaje de suelo sombreado (%SS) y la Evapotranspiración relacionados en la ecuación:

$$ET_{cg} = ET_c \times K_c \times K \tag{2}$$

En donde ET_{cg} es la evapotranspiración real en riego por goteo (mm/día), ET_c es la evapotranspiración de referencia (mm/día), K_c que es el coeficiente de cultivo (adimensional) y el K_r que es el porcentaje de suelo sombreado al medio día solar. (%SS).

Estudios realizados en almendros han descrito como utilizar este método a través de la superficie de sombreado la que debe estar por valores entre el 8% a 65% para aplicarle un factor de corrección inferiores a la unidad, correspondientes a arboles más jóvenes, y sobre el 65 % de sombreado el valor será 1 (Girona,2006). Sin embargo, las metodologías como las propuestas por Keller y Karmel resultan más precisas ya que involucran en una ecuación a un cultivo bajo riego por goteo, relacionado al porcentaje de suelo sombreado:

$$Kr = \frac{\% \text{ suelo sombreado}}{85} \text{ para } \% \text{ suelo sombreado} < 85 \quad (3)$$

$$Kr = 1 \text{ \% de suelo sombreado} > 85$$

Ademas de la propuesta por Decroix:

$$Kr = 0,1 + \text{suelo sombreado para } < 0.9 \quad (4)$$

$$Kr = 1 \text{ para suelo sombreado} > 0.9$$

Siendo el suelo sombreado expresado en fracción. (Domingo, 2013)

Para estimar la fracción de cobertura se usan métodos tradicionales como las fotografías de las cubiertas plásticas cuadrículadas, que porcentualmente miden el sombreado del árbol, pero este método requiere de muchas horas hombre por las grandes superficies, aumentando la variabilidad espacial de muestreo. En post del avance tecnológico el uso de Drones en la agricultura es una alternativa de menor costo que puede estimar la fracción de cobertura a través de captura de imágenes RGB de alta resolución Comprobado en trabajos realizados en maíz que dicho método muestra alta precisión para estimar la FC en las primeras etapas de desarrollo, por lo que es posible utilizarlos para conocer la germinación, densidad y vigor inicial del cultivo, y durante las etapas de desarrollo del cultivo se permite estimar la cobertura vegetal con errores menores al 5%.(García et al. 2020).

2.4 Agricultura de precisión

2.4.1 UAV

Un UAV es un vehículo aéreo reusable, controlado de forma remota, semiautónomo o autónomo (Eisenbeiss, 2009). Los cuales se ha incorporado rápidamente en las actividades agrícolas, teniendo un impacto positivo en la agricultura dado que se ha convertido en una herramienta ubicua y de bajo costo operativo (Torres- Rúa, 2017). En este sentido la agricultura de precisión requiere una alta gestión espacial de los insumos para la producción agrícola. Por ende, que la información procesable sobre el estado del cultivo y el campo se adquiera con la misma resolución espacial alta y en una frecuencia temporal apropiada para

las respuestas oportunas (Al-Arab *et al.*, 2013). Se ha comprobado en vides (*Vitis vinifera* L., cv. Carménè) que la altura es un punto clave a considerar para las obtenciones de capturas de imágenes de alta resolución para identificar la temperatura de dosel, dado que se supone que, a menor altura de capturas de imágenes, se obtendrá una mayor correlación con las variables terrestres (Sepúlveda *et al.* 2016).

Para aplicaciones de uso agrícola un UAV debe tener las siguientes características: a) bajo costo (que depende del tipo de UAV y del nivel de equipamiento); b) amplia cobertura espacial, para el monitoreo de decenas a miles de hectáreas (que depende de la velocidad, altura y duración del vuelo, así como de las características de la cámara, como el ángulo de visión, distancia focal, y tamaño del sensor); c) monitoreo frecuente de variables de procesos o actividades que presentan alta variabilidad espacial y temporal, como la aplicación del riego, desarrollo fenológico, y estado fitosanitario y nutricional de los cultivos; d) alta resolución espacial, para la toma y clasificación de imágenes que permitan detectar con precisión el grado de afectación o estrés de una parcela a una variable ambiental, hídrica, edáfica o vegetal; e) facilidad de manipulación, para los procedimientos de adquisición, manejo y análisis de datos; f) algoritmos avanzados de monitoreo/actuación, que permitan programar y ejecutar misiones de vuelo de manera eficiente, rápida y confiable (Chao y Chen 2012).

Los drones más utilizados en la agricultura son el multirrotor-cuadricóptero (tiempo de vuelo de 30 minutos y cobertura por vuelo de 65 ha) y el de ala fija (tiempo de vuelo de 30 a 90 minutos y cobertura por vuelo de 120 a 3.800 ha) (Pino,2019)



Figura1. Dron multirrotor (cuadricóptero) y Dron de ala fija. (Pino, 2019).

2.4.2 Cámaras RGB y Multiespectrales

La incorporación de cámaras en los drones busca obtener imágenes de altas resolución. Entre las cuales se encuentran los sensores RGB que capturas imágenes rojo-verde -azul y los NIR en infrarrojo lejano (Pino,2019). Estas cámaras llamadas multiespectrales son capaces de realizar varias imágenes a la vez (5-10) cada una en una longitud de onda diferente que representa un color. Las coberturas en la agricultura cuentan con unas firmas

espectrales típicas, estas generalmente son curvas de reflectividad espectral que se encuentran en los rangos de las longitudes de onda del espectro de la luz visible (400nm a 700nm) y el infrarrojo cercano, medio y térmico (700nm a 1400nm (Lozano,2019). Además, las cámaras multispectrales pueden ser capaces de adquirir imágenes 2D y a la vez medir el espectro electromagnético completo en cierto rango (VIS-NIR, p.ej.) en cada uno de los puntos de dicha imagen (Valero.2020).

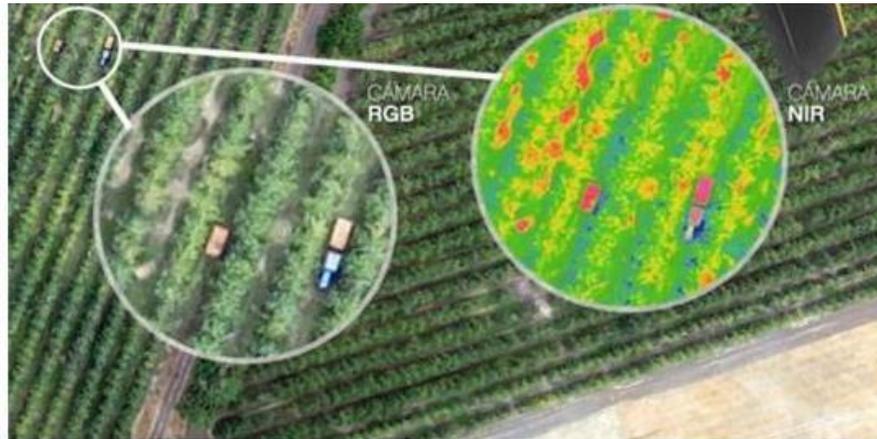


Figura 2. Imágenes según tipo de cámara y espectros (RGB Y NIR) (Torres-Rua, 2017)

En el mercado existen diferentes modelos de cámaras multispectrales con diferentes precisiones de acuerdo con la actividad a realizar, desde cámaras digitales modificadas para capturas RGB y NIR como el modelo CANON S100 utilizada en el estudio para detección de enfermedades de la papa y estrés hídrico (Berries et al, 2016). Hasta cámaras más especializadas utilizadas para levantamientos fotográficos como lo son el modelo Sony RX1R II de 42 MP, la cual crea mapas de orto mosaicos, reconstrucción 3D y nubes de puntos e imágenes individuales (León,2016). O también el modelo Micasense RedEdge-MX multispectral que contiene una cámara de espectro completo, la que permite capturar RGB, NDVI, además de mapas de clorofila, MDS (modelo digital de superficie), RGB/visual (rojo, verde, azul). (MicaSense. 2022)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del ensayo

El estudio se realizó en un huerto de avellano europeo cv Tonda di Giffoni en las temporadas 2019-2020 y 2020-2021, ubicado en la localidad de Camarico, Rio Claro, Maule, Chile ($35^{\circ} 18' 30$ latitud Sur, $71^{\circ} 22' 57$ latitud oeste, 219 m.s.n.m) de propiedad de Agrichile S.A. La empresa cuenta con una superficie de 1600 ha plantadas con avellanos europeos.

El sitio experimental se ubica en el sector 7 del equipo n°30, de un total de 30 equipos distribuidos en el predio, En el sector, el cultivo está establecido en un marco de plantación de 5x3 (666,6 árboles /ha) conducidas en multieje con una altura de 5 a 5,5 metros en promedio. El riego se maneja bajo el sistema de microjets con una línea de riego por hilera y un emisor por árbol espaciados cada 3 metros, los cuales abastecen con agua a un caudal de 32 L/h-1. La clase textural del suelo corresponde al tipo Franco arcilloso arenoso, con materia orgánica de 2,3 %.

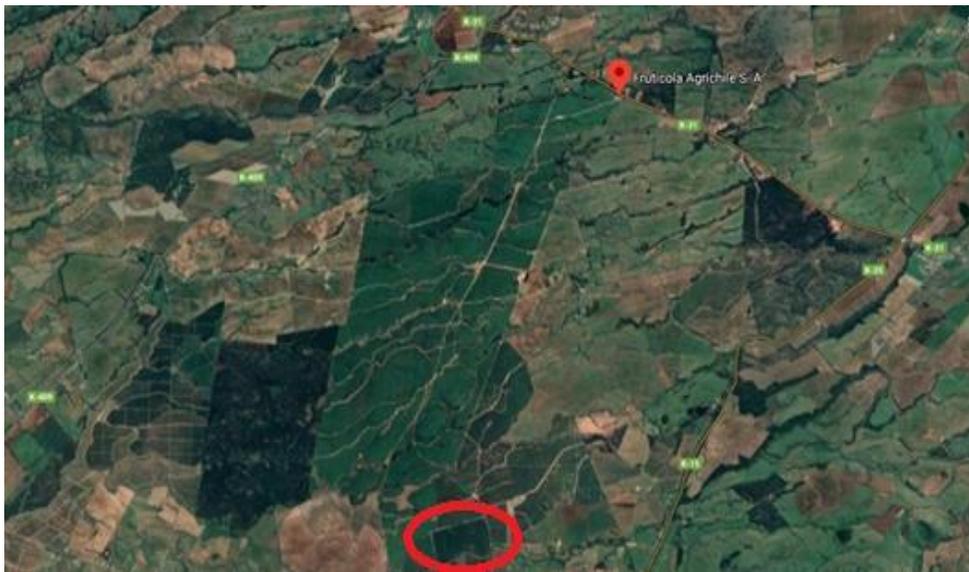


Figura 3. Imagen satelital del predio en Frutícola Agrichile, Camarico, Rio claro, Maule, Chile. Obtenida por Google Earth. La zona enmarcada corresponde al lugar donde se realizaron los vuelos del UAV..



Figura 4. Fotografía del predio de avellanos europeos capturada al medio día solar por el UAV Dji Mavic air.

3.2 Diseño experimental

Desde el borde del camino en el equipo 30 sector 7, se eligió la planta número 8, evitando el efecto borde, ubicada en un sitio de influencia donde además se encuentra un equipo Eddy covariance. Dicha planta fue la unidad experimental durante toda la temporada, desde floración a senescencia la cual fue fotografiada con una cámara profesional y un dron cada 8 días.

3.3 Mediciones meteorológicas del sitio

Se recopiló información climática utilizando la estación meteorológica EMA, A733, Adcon, Telemetry)) ubicada a 7 km del sitio experimental mencionado anteriormente. La cual busca un monitoreo cada 15 minutos utilizando la humedad relativa, velocidad y dirección del viento, precipitaciones, temperatura del aire, radiación solar, las cuales se unen en la ecuación de Permanth monthei (FAO,1998), entregando datos climáticos representativos donde se encuentra la planta a estudiar.

3.4 Monitoreo del cultivo

Para conocer el estado hídrico del cultivo, se utilizó la maquina sholander (PMS Instrument Company, Model 1000, Pressure Chamber Instrument) (Sholander et al., 1965) la cual entrega información sobre el potencial xilemático de hoja. La medición se llevó a cabo 1 vez a la semana, en donde se taparon 3 hojas del árbol con papel aluza y aluminio entre las 10:30

y 11 horas, escogiendo hojas adultas, sanas y expuestas al sol (Medina & Fereres,2002; Gómez del campo et al., 2008). La medición xilemática se llevó a cabo transcurrido el tiempo desde el tapado de hojas hasta el mediodía sol, correspondiente a las 13:30 a 14:00 hrs.

3.5 Medición de fracción de Cobertura

La fracción de cobertura fue medida utilizando un plástico cuadrículado (10 x 10 cm tamaño de una cuadrícula), el cual se colocó bajo la copa de los árboles de tamaño 5 x 2 metros, que representa el marco de plantación presente en el huerto. Se tomaron fotografías con una cámara digital (Sony ILCE-6000) al medio día solar, correspondiente entre las 13:30 y 14:00hrs en ambos lados del árbol ubicado en hilera de sur a norte (2 fotografías por lado). Cabe destacar que la captura de imágenes fue realizada en días soleados, ya que la presencia de nubes puede interferir en la calidad de las fotografías y resultados. Dichas fotografías fueron utilizadas para estimar el porcentaje de cuadrados con sombra en relación con los cuadrados totales del plástico, dicho valor fue considerado como la fracción de cobertura.



Figura 5. Fotografía capturada por cámara profesional Sony ILCE-600 del día 12-02-2021, utilizada para el conteo de porcentaje de soleado y de sombra. Área de cuadrícula 15 m², correspondiente al marco de plantación 5x3 metros.

3.6 Medición de fracción de cobertura con UAV

Para estimar la FC con imágenes aéreas se utilizó el dron DJI mavic air de bajo costo (1.013,46 USD) que captura imágenes de 12 megapíxeles, con una distancia focal de 35 mm de 24 mm. Tiempo de vuelo de 21 minutos. El cual se monitorea con la aplicación DJI GO 4

instalada en un smartphone. Las capturas aéreas se realizaron al medio día solar. (A la misma hora que se capturó las fotografías con la cámara profesional entre 13:30 y 14:00 hrs. en días soleados sin nubosidad) en un ángulo de 90° apuntando al suelo. La cámara fue seteada a ISO 100 durante todo el ensayo para evitar la apertura y cierre del lente automático, capturando en total cuatro imágenes por árbol. 2 fotografías a 20 metros y 2 fotografías a 10 metros de altura.

Las fotografías captadas por el UAV correspondientes a imágenes RGB, fueron ingresadas al programa de información geográfica QGIS, el cual en primera instancia crea automáticamente la diferenciación de las bandas RGB, siendo la banda del rojo (n°1), verde (n° 2) y azul (n°3). A partir de la diferenciación de las bandas se puede calcular diferentes índices vegetacionales a través de fórmulas numéricas que resultan de la separación de las bandas, que resultan útiles para la segmentación de suelo y planta. Entre los cuales están: el VARI (Visual Atmospheric Resistance Index) (Gittersol et al, 2020), GLI (Green leaf Index) (Louhaichi et al, 2001) y EXG (Excess Green Index) (Woebbecke, et al, 1995), entre otros. Sin embargo, para este estudio utilizó el índice EXG, considerado el más eficiente para diferenciar planta de suelo (Soontranon et al, 2014). Por lo tanto, este último fue ingresado a la calculadora ráster del programa QGIS con su fórmula normalizada:

$$EXG = 2 \times (Verde \div (Rojo + Verde + Azul)) - (Rojo \div (Rojo + Verde + Azul)) - (Azul \div (Rojo + Verde + Azul)) \quad (5)$$

Con la obtención del índice de exceso de verde, se creó un filtro para separar los píxeles correspondientes al suelo, que fluctúan en valores entre 0.1-0.05, (figura 6). Para poder estimar el valor más exacto se llevó a cabo una clasificación supervisada de imagen, en donde se consideran árboles los píxeles con valores mayores a 0.1.

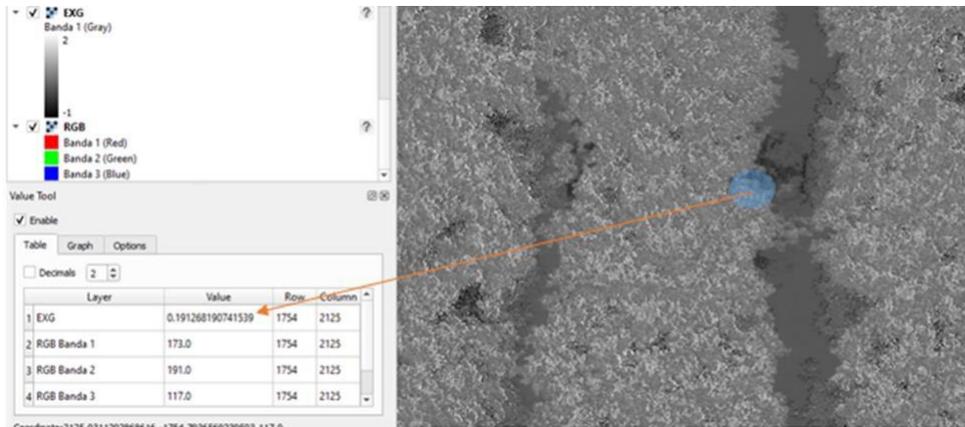
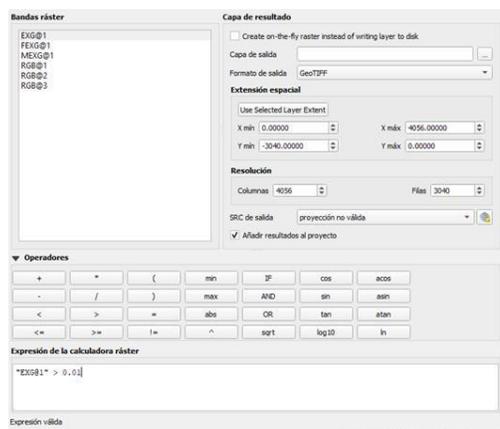


Figura 6. Captura de pantalla de la calculadora ráster. Ejemplo de pixeles correspondientes a valores mayores a 0.1

Tras la supervisión de los pixeles y post ingreso del valor a filtrar (Figura 6) se introduce en la calculadora el índice EXG con su respectiva formula normalizada dividida en el filtro de la misma (Figura 7. a) con el propósito de indeterminar la ecuación, dejando el suelo con valor 0, para obtener valores porcentuales correspondientes a la cobertura vegetal de los árboles.

a)



b)

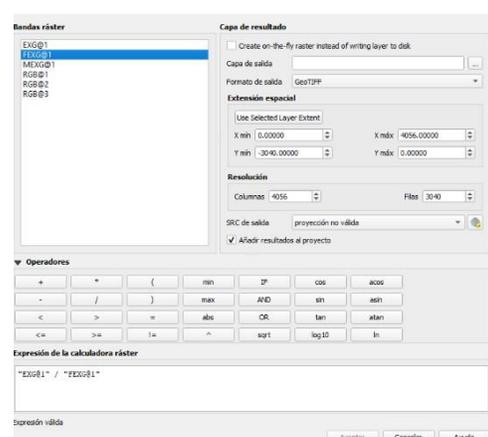


Figura 7. Capturas de pantalla de calculadora ráster para EXG > 0.1.

Para lograr el porcentaje de suelo y planta, se creó un archivo shape. Por medio de este tipo de formato de datos se estableció el área de interés a través de la creación de un polígono dibujado manualmente sobre las imágenes, que representó el marco de plantación, para luego extraer la estadística zonal de vegetación, es decir, el sombreado del árbol.

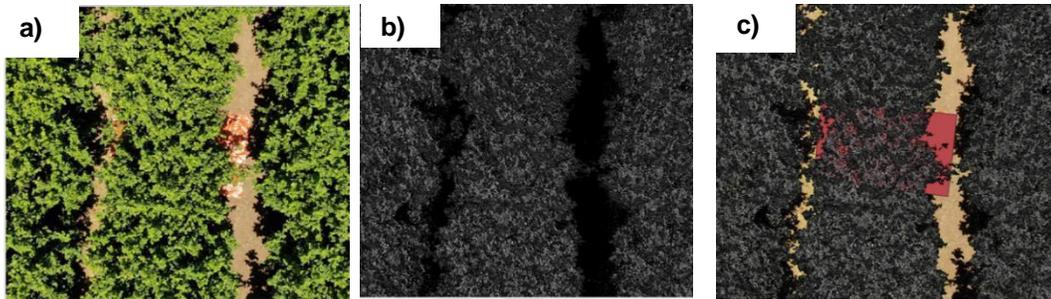


Figura 8. (a) Fotografía aérea del UAV, (b) filtro con valores > 0.1 para segmentar planta de suelo con índice ExG, (c) filtro que anula la segmentación de suelo mas el polígono que representa el marco de plantación (5x3 m).

Con la creación de las capas raster se logró segmentar el suelo de planta (Figura 8) y visualizar el área de interés demarcada por el plástico (Figura 8.c).

3.7 Cálculo de K_r

Con la obtención del porcentaje de sombreado del conteo manual y por el programa QGIS que procesó las imágenes aéreas, se calculó el K_r utilizando la fórmula descrita por Keller y Karmel (eq.3) para porcentajes de sombra igual o menos al 85% y la fórmula descrita por Decroix (eq.4) para porcentajes de suelo sombreado mayores a 90% (Domingo,2013).

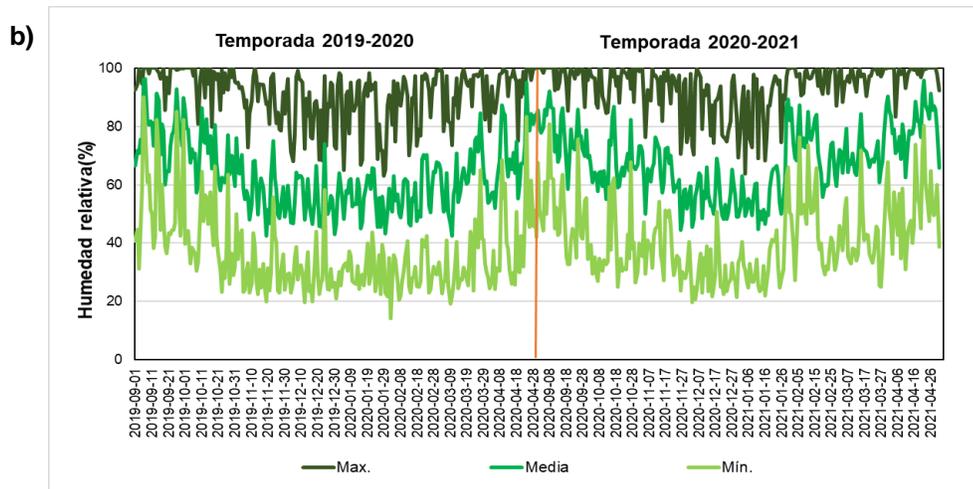
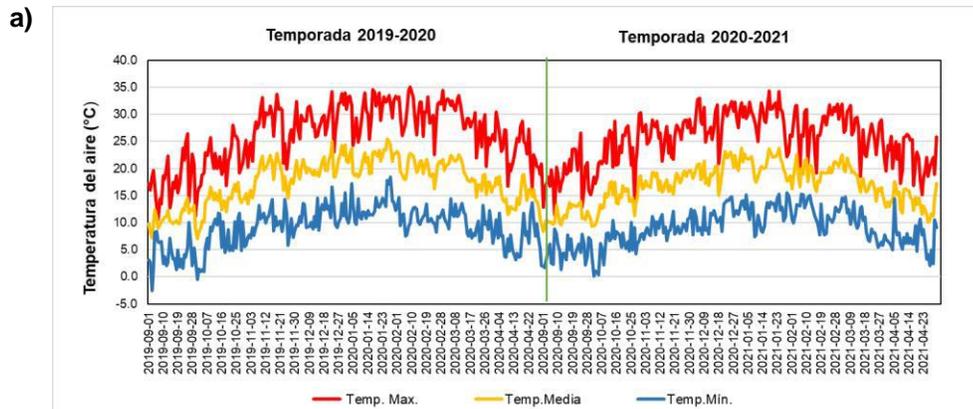
Calculado el K_r se corrigió el K_c bajo la fórmula propuesta por Ferreres et. al., 1981 (eq. 2)

3.8 Análisis de datos

Con los datos recopilados se calculó el porcentaje de fracción de cobertura con las cubiertas plásticas y el % de cobertura con las capturas del dron. Para ello se realizó una regresión lineal simple para analizar la correlación entre la variable observada y la estimada. Siendo la variable observada la medición de campo con fotografías digitales y la variable estimada la imagen aérea procesada del dron (porcentaje de píxeles que corresponden a vegetación). Las imágenes captadas por el dron fueron procesadas con el programa QGIS, software abierto que entrega información geográfica el cual separa las bandas RGB segmentando el suelo de planta y entrega información porcentual de la cobertura de dosel.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante todo el estudio, se registraron en general condiciones climáticas caracterizadas por bajas precipitaciones y altas temperaturas. En la figura 9.a, se registra la temperatura promedio más alta registrada en el primer periodo (2019-2020) entre septiembre y abril fue de 26,22°C y 25,35°C para la segunda temporada (2020-2021) y las mínimas de 9,15°C y 8,96°C respectivamente, mientras que la humedad relativa media para la primera y segunda temporada (figura 9.b) fue de 63,31% y 68,21% con una máxima promedio de 91,03% y 93,83% y mínima promedio de 36,31% y 41,15%. En cuanto a las precipitaciones, el total acumulado fue de 194,2 mm, de los cuales 65,4 mm correspondieron a la primera temporada y 127,8 mm para la segunda. Esta diferencia se produjo por un evento de lluvia ocurrido en el mes de enero del 2021 en el que cayeron 66 mm de precipitaciones. Además, se registró una disminución en la evapotranspiración en los días lluviosos (figura 9.c) generada por la saturación del ambiente por la lluvia. La ETo acumulada en el primer periodo fue de 4,33 mm/día y 4,35 mm/día en el segundo.



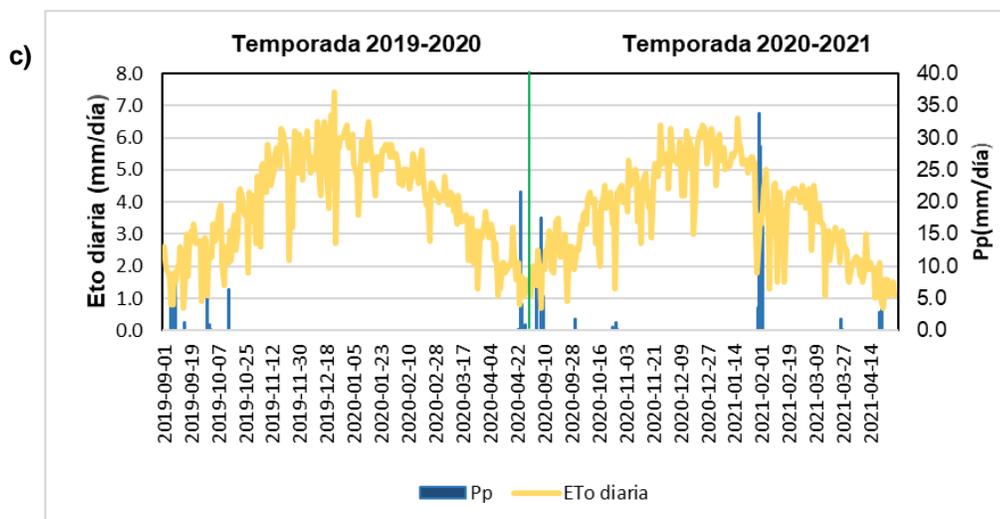


Figura 9: Registro climatológico temporada 2019-2020 y 2020-2021, (a) temperaturas del aire (°C), (b) Humedad relativa (%), (c) Precipitaciones (mm/día) y Evapotranspiración de referencia (ETo en mm/día) el sitio de estudio del avellano europeo. A través de una estación EMA ubicado a 7 km de la planta en estudio dentro del fundo la cachimba en Rio claro.

4.2 Fracción de cobertura manual

El conteo manual de las cuadrículas arrojó diferencias en ambas temporadas. Se calculó un menor porcentaje de sombreado en la primera temporada (2019-2020) (figura 10.a) comparada a la segunda (figura 10. b). Obteniéndose en promedio un 73% de sombra versus registrado en la segunda temporada de 78%. Las diferencias se debieron a los manejos del huerto asociados directamente a la poda efectuada pre estudios de la temporada 2019-2020, lo que generó menor porcentaje de sombreado comparados a la temporada siguiente donde se observó un vigor exagerado de la planta (figura 11).

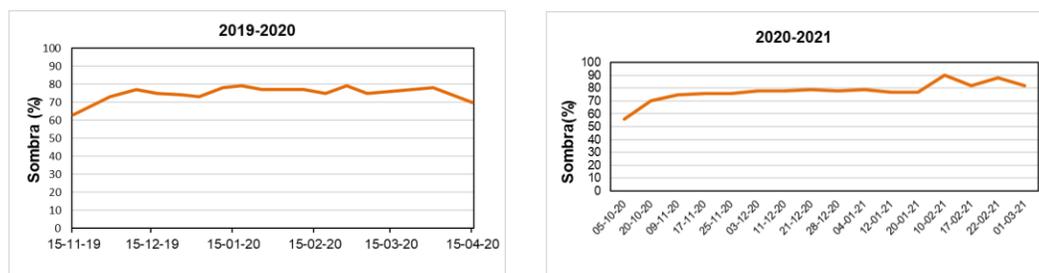


Figura 10: (a) Porcentaje de sombra temporada 2019-2020 y (b) temporada 2020-2021 del avellano europeo cv. Tonda di Giffoni, contabilizados en una cuadrícula Área manual.

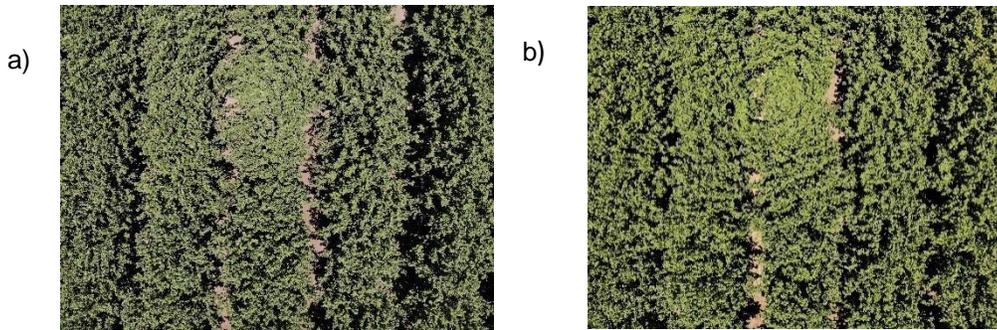


Figura 11. Fotografía donde se comparada el vigor del 17 de diciembre del 2019(a) y el exceso de vigor del 21 de diciembre del 2020 (b), del avellano europeo, capturadas por el UAV Dji Mavic air.

4.3 Porcentaje de sombra a través de imágenes RGB

Para el proceso de las imágenes RGB, se escogió las fotografías captadas a 20 metros de altura ya que se logró una mejor identificación de bordes de la cuadrícula de plástico para realizar el polígono de área. Hubo diferencias en el umbral del índice EXG utilizado entre temporadas, siendo la primera (2019-2020) en la que se debió aplicar filtros que fluctuaron entre los 0.05 y -0.01, considerados menores al común del suelo (0.1-0.05) y en la segunda temporada (2020-2021) valores entre 1.15- 0.05. Esta diferencia se asoció a la calidad de los pixeles y la interferencia lumínica al momento de capturar las imágenes, siendo las condiciones ambientales unos de los factores que interfieren en el valor utilizado para EXG (Parker et al., 2020). Esto se explica ya que, en la primera temporada, existió mayor nubosidad provocada por incendios forestales que afectaron fuertemente al territorio nacional y específicamente a la región del Maule por un largo periodo a partir de diciembre del 2021, que afecto la interpretación de la fotografía aérea, asumiendo un cambio en la clorofila de dosel de una temporada a otra. (Figura 12)

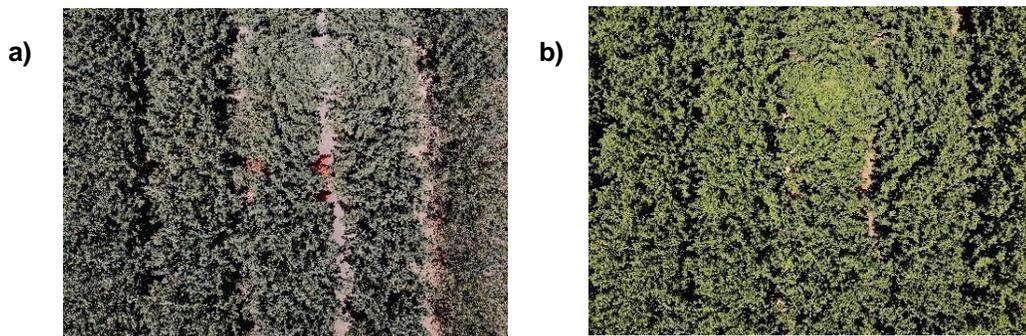


Figura 12: Comparación de la intensidad lumínica entre fotografía aérea capturada el día 03 de enero del 2020 (a) y el 04 de enero del 2021 (b), capturada por el UAV al medio día solar.

Cuadro n ° 1: Resumen del porcentaje sombreado obtenidos en la primera (2019-2020) y segunda temporada (2020-2021) utilizando el cálculo, manual y el UAV Dji mavic air, además del tiempo que se empleó para procesar las imágenes.

Temporada	Fecha	Manual		UAV		Diferencias	
		Sombra (%)	Tiempo (min)	Sombra (%)	Tiempo (min)	Sombra (%)	Tiempo (min)
2019-2020	15-11-19	63	45	69	12	-6	33
2019-2020	29-11-19	73	40	72	10	1	30
2019-2020	09-12-19	77	40	77	9	0	31
2019-2020	17-12-19	75	40	74	8	1	32
2019-2020	26-12-19	74	40	74	10	0	30
2019-2020	02-01-20	73	45	75	10	-2	35
2019-2020	11-01-20	78	40	80	8	-2	32
2019-2020	18-01-20	79	40	70	10	9	30
2019-2020	26-01-20	77	40	64	10	13	30
2019-2020	03-02-20	77	40	63	15	14	25
2019-2020	11-02-20	77	40	68	15	9	25
2019-2020	19-02-20	75	40	61	10	14	30
2019-2020	27-02-20	79	40	62	8	17	32
2019-2020	06-03-20	75	40	60	10	15	30
2019-2020	31-03-20	78	40	51	10	27	30
2019-2020	15-04-20	70	40	51	10	19	30
2019-2020	05-06-20	10	50	65	7	-55	43
2020-2021	05-10-20	56	45	60	8	-4	37
2020-2021	29-10-20	70	40	73	10	-3	30
2020-2021	09-11-20	75	40	75	7	0	33
2020-2021	17-11-20	76	40	77	7	-1	33
2020-2021	25-11-20	76	40	71	5	5	35
2020-2021	03-12-20	78	40	82	5	-4	35
2020-2021	11-12-20	78	35	82	5	-4	30
2020-2021	21-12-20	79	35	71	5	8	30
2020-2021	28-12-20	78	35	75	5	3	30
2020-2021	04-01-21	79	35	81	5	-2	30
2020-2021	12-01-21	77	35	71	5	6	30
2020-2021	20-01-21	77	35	74	5	3	30
2020-2021	10-02-21	85	30	83	7	2	23
2020-2021	17-02-21	82	35	80	5	2	30
2020-2021	22-02-21	88	35	79	5	9	30
2020-2021	01-03-21	82	35	74	5	8	30

4.4 Comparación entre la fracción de cobertura observada (manual) v/s estimada (UAV)

Se registro mayor similitud entre el conteo manual y el estimado por el UAV en las mediciones efectuadas al inicio de cada temporada, es más, tanto el día 09 noviembre del 2019 y el 09 de noviembre del 2020 presentaron el mismo porcentaje de sombreado en sus dos formas de cálculo (manual y dron). Sin embargo, en enero los valores comienzas a ser menos exactos comparativamente. Este comportamiento de los datos se asocia a factores fisiológicos propios del cultivo, ya que como se menciona en la literatura, en el avellano europeo a partir de noviembre comienza a ocurrir la fecundación, hasta mediados de enero, tras esta fecha comienza, el crecimiento y lignificación del fruto (Mella, 2013), por lo que sus ramas comienzan a inclinarse por el peso del fruto que se incrementa rápidamente en febrero. Este aplastamiento de las ramas, es el que provocó mayor intercepción de luz a la canopia en los meses de verano entre enero y marzo, que afectó directamente la interpretación del proceso de imágenes generado por una mayor distribución de los pixeles, por lo que se hace más confuso la identificación de los valores de pixeles que segmentan el suelo y planta.

En estudio realizados en maíz (Garcia, et,al, 2020), la estimación de la fracción de cobertura a través de imágenes RGB sí logra ser representativa en los primeros estadios, donde las hojas están dentro de su marco de plantación. Caso similar ocurrió en este estudio sobre el avellano, en donde sí se puede estimar con mayor exactitud la fracción en los primeros meses de la temporada con el dron. Sin embargo, esto cambia cuando además del aplastamiento de ramas por el peso del furo, se genera el solape de las ramas de los árboles cercanos a él, interfiriendo en el porcentaje de sombramiento estimado. La expansión de las ramas genera un aumento en el área sombreada que hace disminuir el Índice de área foliar (De la casa,2007) ya que la imagen captada por el dron interpreta que hay más hojas cuando se expanden las ramas, aumentando el área de transpiración del cultivo.

4.5 Validación de la Fracción de cobertura

El porcentaje de sombreado para un huerto de avellano europeo cv. Tonda di Giffoni formado en multieje se presenta en la figura 13, en donde la correlación entre la variable medida con el conteo manual de cuadrícula y la estimada calculada por imágenes del dron (FCD) para las dos temporadas, presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.426 con una pendiente (b) 0.627 y RMSE 0.00606048 % de MAE 0.0599859 %. El test t , indicó que la relación entre FCM Y FCD son estadísticamente distintas lo que indica que imágenes aéreas del dron subestiman la fracción de cobertura en un 62 %.

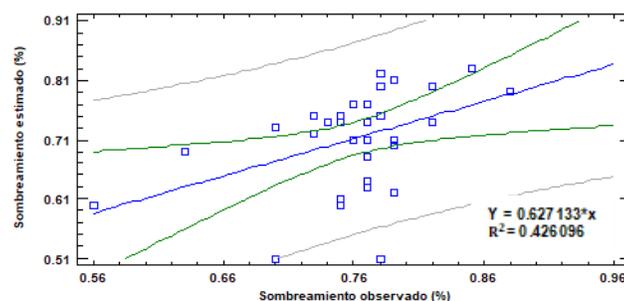


Figura 13. Correlación lineal del porcentaje de sombreado observado (conteo manual) y el sombreado estimado (imágenes del dron) en toda la temporada de estudio de una planta de avellano europeo conducido en multieje (Huerto la cachimba, Rio Claro, Maule).

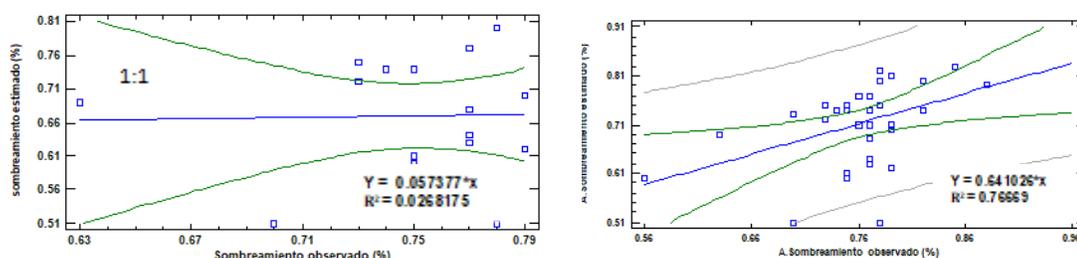


Figura 14. Porcentaje de sombreado observado (conteo manual) y sombreado estimado (imágenes del dron) de dos temporadas por separado. (a) Temporada 2019-2020 y (b) temporada 2020-2021 en una planta de avellano europeo formado en multieje (Huerto la cachimba, Rio Claro, Maule).

Al analizar por separado las temporadas (Figura 14), se obtiene un índice de determinación (R^2) de 0.0268, pendiente de 0.057377, MAE: 0.0711335%, RMSE: 0.00797239 para la temporada 2019-2020, y para la temporada siguiente un $R^2= 0.76669$ con pendiente de 0.641026, MAE: 0.0322436 % y RMSE: 0.00152509 %. Dichos datos evidencian que hay diferencias entre ambos periodos, siendo el primero (figura 14.a) el que presenta menor correlación entre la FCM Y FCD y mayor dispersión de puntos alrededor de la línea 1:1, por lo que las imágenes procesadas subestimaron en 94% en comparación a la segunda temporada (figura 14.b) en la que existe una relación moderadamente fuerte entre FC observada y la FC estimada, en la que solo se subestima un 35%. Los datos presentaron una tendencia al aumento en los primeros meses de cada temporada, en donde hubo una fuerte correlación entre las variables FCM Y FCN, considerando los meses entre octubre y principio de diciembre, el periodo de mayor importancia dado el crecimiento de fruto en donde se presentó una fracción de cobertura en aumento, por lo que el monitoreo en esa etapa es significativo en comparación a los meses de enero- febrero y Marzo (cuadro 1) en donde hubo una estabilización de los datos. A raíz de esto el monitoreo es pertinente realizarlo al inicio y final de la temporada.

A pesar de las sub y sobreestimaciones de las imágenes procesadas., la utilización del Dron solo empleo un tiempo de trabajo de 4 horas versus el método manual que requirió un trabajo de 22 horas.

4.6 Estimación del Kr

La Figura 14 muestra las diferencias entre los valores de Kr entre las temporadas, principalmente en la primera temporada de estudio donde las variables climáticas afectaron la representatividad de los datos, observándose valores de Kr muy bajos en los últimos monitoreos de la temporada de hasta 0.6 de la fracción de cobertura estimada por el Dron. Sin embargo, los valores Kr cálculos para la fracción de cobertura utilizando el método manual y dron se comportaron de manera similar al comienzo de la temporada 2 (2020-2021) entre los meses de octubre y noviembre, (cuadro 2), en donde se registraron los valores más bajo de Kc, 0,66 para la variable observada y 0,71 para la variable estimada. Estos valores se pueden relacionar al comportamiento de la curva de coeficiente de cultivo (Kc) determinado por Allen et. al. (1998) publicados en la Fao 56) (Figura 16) en el cual se visualiza los valores más bajos de Kc al inicio de la curva de crecimiento. Es más, en la primera temporada el Kr calculado manualmente se comporta muy similar a la curva del Kc en todo el periodo(figura 15), registrándose los valores más bajos de Kr al inicio de la etapa fenológica (0,81 para el primer periodo 2019-200 y 0.7 para 2020-2021) correspondiente a floración y fructificación (octubre-noviembre) y al final de la curva (Kr de 0,6 para la temporada 2019-2020 y 0,86 para la temporada del 2020-2021, correspondiente a la caída de los frutos y cosecha (febrero-marzo) (Mella 2013). Mientras que los máximos se alcanzaron en enero para ambas temporadas. Kr de 0,92 (2019-2020) y 0.94 (2019-2020). La diferencia entre los máximos y mínimos fue de 0,15 al inicio y 0,32 para el final de la temporada 2019-2020-. Mientras que en la segunda temporada (2020-2021) hubo una diferencia de 0,34 al inicio y 0,08 al final. Estas diferencias se traducen en que los valores máximos y mínimos traen como consecuencia el mayor ahorro de agua que presentan los árboles frutales al inicio y al final del ciclo de crecimiento en comparación a la etapa media.

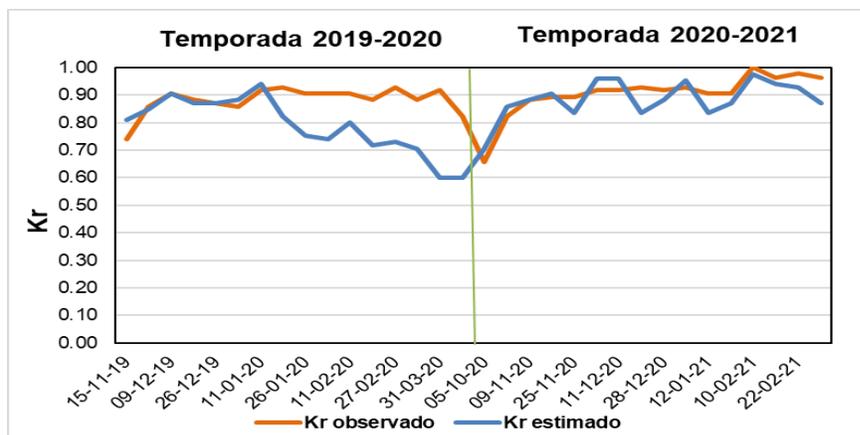


Figura 15. Coeficiente de corrección de riego (Kr) observado, calculado la fracción de cobertura a través del conteo manual y Kr estimado por la fracción de cobertura calculada por el UAV para 2 temporadas de estudio de una planta de avellano europeo var. Tonda di Giffoni (Huerto la cachimba, Cumpeo, Rio Claro, Región del Maule)

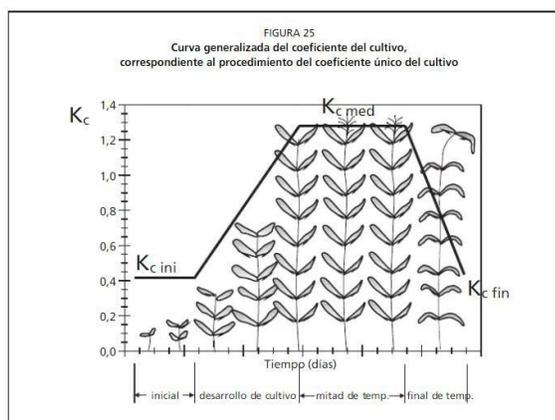


Figura 16: Curva generalizada del coeficiente del cultivo, correspondiente al procedimiento del coeficiente único del cultivo. (Fuente: FAO 56, 1998)

Cuadro n°2. Kr observado, estimado y las diferencias entre ellos para dos temporadas de estudio en una planta de avellano europeo var. Tonda di Giffoni.

Temporada	Fecha	Kr observado	Kr estimado	Diferencia
2019-2020	15-11-19	0.74	0.81	0.07
2019-2020	29-11-19	0.86	0.85	-0.01
2019-2020	09-12-19	0.91	0.91	0.00
2019-2020	17-12-19	0.88	0.87	-0.01
2019-2020	26-12-19	0.87	0.87	0.00
2019-2020	02-01-20	0.86	0.88	0.02
2019-2020	11-01-20	0.92	0.94	0.02
2019-2020	18-01-20	0.93	0.82	-0.11
2019-2020	26-01-20	0.91	0.75	-0.15
2019-2020	03-02-20	0.91	0.74	-0.16
2019-2020	11-02-20	0.91	0.80	-0.11
2019-2020	19-02-20	0.88	0.72	-0.16
2019-2020	27-02-20	0.93	0.73	-0.20
2019-2020	06-03-20	0.88	0.71	-0.18
2019-2020	31-03-20	0.92	0.60	-0.32
2019-2020	15-04-20	0.82	0.60	-0.22
2020-2021	05-10-20	0.66	0.71	0.05
2020-2021	29-10-20	0.82	0.86	0.04
2020-2021	09-11-20	0.88	0.88	0.00
2020-2021	17-11-20	0.89	0.91	0.01
2020-2021	25-11-20	0.89	0.84	-0.06
2020-2021	03-12-20	0.92	0.96	0.04
2020-2021	11-12-20	0.92	0.96	0.04
2020-2021	21-12-20	0.93	0.84	-0.09
2020-2021	28-12-20	0.92	0.88	-0.04
2020-2021	04-01-21	0.93	0.95	0.02
2020-2021	12-01-21	0.91	0.84	-0.07
2020-2021	20-01-21	0.91	0.87	-0.04
2020-2021	10-02-21	1.00	0.98	-0.02
2020-2021	17-02-21	0.96	0.94	-0.02
2020-2021	22-02-21	0.98	0.93	-0.05
2020-2021	01-03-21	0.96	0.87	-0.09

4.7 Corrección del coeficiente de cultivo (Kc)

Por medio del valor de Kr estimado por las imágenes RGB se pudo corregir el Kc. Los valores obtenidos de Kc corregidos fueron más bajos a lo largo de la temporada 1 y 2 comparados a los descritos en literatura (cita Fao) (Figura 17). Dicha baja, se debe principalmente a que la sombra de del avellano proyectada a la superficie, creará un ambiente constantemente húmedo bajo el área de este. Estudios similares realizados por Fereres et al., 1981 en melocotón coinciden al deberse de árboles que proyectan sombra, el área bajo la copa pierde agua con menor intensidad, (et al., 1981) que a su vez como se trata de un árbol regado por microaspersión, el área de mojamiento para alcanzar sus raíces es mayor en comparación a sistemas de riego localizados como el sistema por goteo utilizado en cultivos como hortalizas. Por lo tanto, la sombra proyectada más el riego otorgado hará que la planta transpire más que el suelo expuesto a la luz causando valores de kc corregidos más bajos que los Kc estándar para frutales.

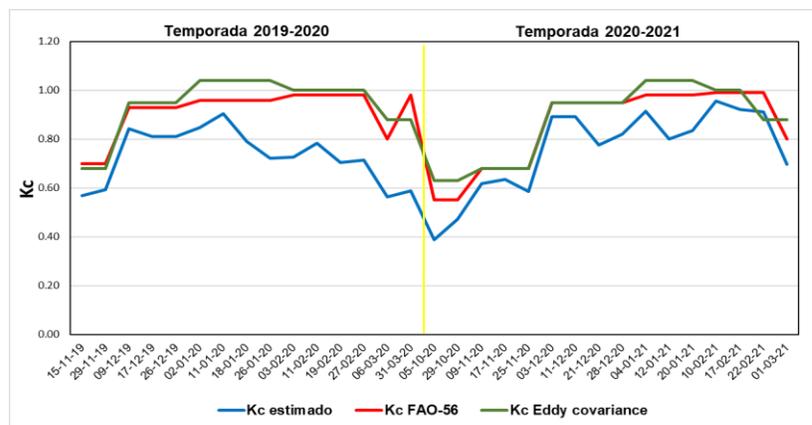


Figura 17: Comparación entre coeficiente de cultivo adaptado por Fao-56, Kc obtenido por Torre Eddy covariance ubicado en zona de estudio en el fundo de avellanos europeo var. Tonda di Giffoni y Kc estimado y corregido por Kr obtenido por imágenes RGB del Dron Dji air mavic.

Además, los resultados comparativos entre los valores Kc estándar y Kc obtenidos desde una torre Eddy referencial al lugar se comportaron de forma similar, a excepción del mes de enero, en donde producto de una lluvia el valor Kc fue de 1.04 (Figura 17) viéndose reflejado en el campo por el crecimiento del pasto entre hilera. Por lo tanto, a pesar de contar con una estación Eddy covariance representativa de la zona en estudio, el Kc se sobreestima ya que toma como referencia el campo completo sin diferenciar el efecto húmedo que provoca la sombra. Es por esto que utilizar el porcentaje de sombreado otorga un Kc más preciso en frutales como el avellano europeo.

V. CONCLUSIONES

Los resultados de fracción de cobertura lograron mostrar una buena correlación entre el método manual y las imágenes RGB al inicio y al final de cada temporada, por lo que se sugiere hacer un monitoreo en los primeros meses y últimos meses por temporada del avellano europeo.

Hubo problemas para identificar la FC con el UAV en la etapa de lignificación del fruto, contemplados entre los meses de enero-febrero-marzo, que se asocia al aplastamiento de ramas y solape de ellas con el sombreado de los árboles vecinos por efecto de la carga frutal, lo que generó mayor intercepción de la luz en la canopia y por ende mayor dificultad para evaluar en el programa QGIS los píxeles asociados a suelo y planta.

Se presentaron diferencias en los porcentajes de cobertura en ambos métodos, debido principalmente a que en la primera temporada el huerto fue podado previo al estudio mientras que en la segunda temporada no se pudo, por lo tanto, también es relevante evaluar el manejo agronómico que se aplica en el huerto.

La FC del dron no tuvo una buena correlación con la FC manual en la primera temporada, debido a factores ambientales, como un incendio forestal que afectó la luminosidad de las imágenes. Sin embargo, en la segunda temporada esta correlación fue moderadamente significativa, por lo que se puede comprobar que un Dron de bajo costo sí puede estimar la FC siempre y cuando se tenga conocimiento de los factores que puedan interferir en el análisis e interpretación de estos. Además, al comparar ambos métodos, se logra una optimización de 18 horas de trabajo entre el conteo manual y el Dron, a esto se le suma el mayor tiempo que demora la toma de los datos in situ por el método manual. Además, es importante considerar que esta optimización de tiempo además de disminuir la fatiga que genera el conteo Manual, es un ahorro económico por la disminución del tiempo de trabajo.

A través de la estimación la FC se pudo calcular el factor de corrección K_r , para un clima mediterráneo de gran interés productivo como la región del Maule y por consiguiente lograr un relacionarlo a un K_c referencial. Sin embargo hubo diferencias de k_r entre en conteo manual el Dron por lo que se sugiere tomar en consideración los factores agronómicos y medioambientales.

A través del K_r se puede obtener un K_c de una zona en específico y por consiguiente lograr ajustar los requerimientos hídricos del avellano europeo y crear programas de riego que optimicen el uso eficiente agua.

VI. BIBLIOGRAFÍA CITADA

Adam J.E, Arkin G F., Ritchie J.T., 1976. Influencia del espaciado de filas y el mantillo de paja en el secado de la primera etapa. *Revista de la sociedad de ciencias del suelo de América.*,40, (436-442)

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56, Roma, Italia.

Al-Arab, M., Torres-Rua, A., Ticlavilca, A., Jensen, A., & McKee, M. 2013. Use of high-resolution multispectral imagery from an unmanned aerial vehicle in precision agriculture. En: International Geoscience and Remote Sensing Symposium – IGARSS. IEEE. Melbourne, Australia: Pp. 2852-2855.

Balboltin, C, Odi, M., Poblete, R., Garrido, J., Campos, I. Y Calera, A. (2016) *Uso de herramientas de teledetección y SIG para el manejo del riego en los cultivos*. La Serena: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 335. [En línea]. Recuperado en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6542>. Consultado: el 10 abril 2021).

Berrios v. velasquez d. mosquera j. (2016). Sistema de optimización de las técnicas de planificación en agricultura de precisión por medio de drones. vol 7,2.

Bravo, Jaime, (2013). *Avellano Europeo, despegue con turbulencias*. ODEPA (oficina de estudios y políticas agrarias). [En línea] Recuperado en: https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/04/9992_ArtAvellano042013.pdf>. Consultado el 01 de junio del 2021.

Cabello Alburquerque, J. F. (2015) Determinación del coeficiente de cultivo kc para frejol *phaseolus vulgaris* bajo invernadero en la granja Santa Inés. (Trabajo de titulación). UTMACH, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Machala, Ecuador.

Campillo, C., García, M. I., Daza, C., & Prieto, M. H. (2010). Estudio de un método no destructivo para estimar el índice de área de las hojas en cultivos vegetales utilizando imágenes digitales. *HortScience: una publicación de la Sociedad Americana de Ciencias Hortivinícolas*, 45(10), 1459-1463.

Chao, H., & Chen, Y. (2012). Remote sensing and actuation using unmanned vehicles (198 pp.). Hoboken, New Jersey: Wiley-IEEE Press.

Colomina I. and P. Molina (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 92:79-97.

De la Casa, Antonio, Ovando, Gustavo, Bressanini, Luciano, Rodríguez, Ángel, & Martínez, Jorge. (2007). Use of Leaf Area Index and Ground Cover to Estimate Intercepted Radiation in Potato. *Agricultura Técnica*, 67(1), 78-85. <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072007000100010> (IAF).

Domingo R. (2003) Tema 6: Necesidades hídricas de los cultivos bajo riego por goteo. En *Apuntes de zootecnia*, Cartagena, p. 1-15.

Doorenbos, J., Pruitt, W.O. 1977. Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, 194 pp. Roma.

Echeverría, C. (2016). Selección de zonas de dosel y enfoques de umbral para evaluar el estado del agua de la vid mediante el uso de imágenes térmicas aéreas y terrestres. *Teledetección*, 8(10), 822.

EFE. (2021). El programa de imágenes de la Tierra Landsat se moderniza con nuevo satélite. 21-04-2022, de Ángeles Times Recuperado el 20 de abril del 2022 del sitio web: <https://www.latimes.com/espanol/eeuu/articulo/2021-09-26/el-programa-de-imagenes-de-la-tierra-landsat-se-moderniza-con-nuevo-satelite?msclkid=0f8bede8c17211ec8ddb86417ba391>.

Ellena D, Miguel (2010) *Polinización y manejo del avellano europeo* [en línea]. Temuco: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 202. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7334> (Consultado: 20 abril 2021)

Ellena D., Miguel (ed.) (2018) *El avellano europeo en Chile. Una década de recopilación e investigación* [en línea]. Temuco: Colección Libros INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 36. (Consultado: 09 de junio 2021).

Eisenbeiss, H. (2009). UAV Photogrammetry (pp. 235). Ph.D. Thesis. Zurich: Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich.

Fereres, E.; Pruitt, W.O.; Beutel, J. A.; Hemderson, D. W.; Holzapfel, E.; Schulbach, H.; Uriu, K. 1981. Evapotranspiration and drip irrigation scheduling. In: Fereres, E. (tech. ed.) Drip Irrigation Management. Division of Agricultural Sciences, University of California: 8-13.

Fereres, E.; Martinich, A.D.; Aldrich, T. M.; Castel, J.R.; Holzapfel, E.; Schulbach, H. 1982. Drip irrigation save many in young almond orchards. Calif. Agric. 36(9-10):12-13.

Fernandez, J. Romero, R. , Perez Al., Cuevas V. (2015) Estrategias y programación del riego . Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (En línea). Recuperado en: digital.csic.es/bitstream/10261/130206/1/Manual%20de%20riego_Jefer2015.pdf
sic.es).Girona, J.; Marsal, J.; Mata, M.; del Campo, J. 2004. Pear crop coefficients obtained in a large weighing lysimeter. Acta Hort. 664: 277-281.

Gispert, J.R., Tous, J., Romero, A., Plana, J., Gil, J., and A. Company. 2005. The influence of different irrigation strategies and the percentage of wetsoil volume on the productive and vegetative behaviour of the hazelnut tree (*Corylus avellana* L.). Acta Hort. 686: 333-341.

Gitelson, A. A., Kaufman, Y. L., Stark, R. , and Rundquist, D. (2002), Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. Remote Sens. Environ. 80, 76—87, doi:10.1016/S0034-457(01)00289-9.

Grau, P. 2003. Avellano Europeo, Manual de Plantación y Manejo. Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro de Investigación Regional Quilamapu. Boletín 108.74 p.

Grau, Pablo (2009) *Manual del avellano europeo* [en línea]. Chillan: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 195. [En línea] Recuperado en: <<https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7435>>. Consultado el 15 abril del 2021.

Guevara, J. (2006) la fórmula de Penman-Monteith FAO 1998 para la determinación de la evapotranspiración de referencia ETo. Terra nueva etapa. Consultado el 8 de junio del 2021 disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72103103>.

International Nut & Dried Fruits. 2019. Statistical yearbook Reus, España. 76 p. Recuperado en: <https://www.nutfruit.org/files/tech/1553521370_INC_Statistical_Yearbook_2018.pdf > Consultado el: 02 de febrero del 2022.

Koval, G. K. 1972. Development of the reproductive organs in hazelnuts in relation to the winter hardiness. *Sel'skokhozyajst vennaja Biologiya* 7:295-297.

Koksäl, A. 2002. Turkish Hazelnut cultivars (edición Grafic Servis) p. 136.

Medina, C., Souza, R., Machadi, E., Rivero, R., & Silva, J. 2002. Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets *Scientia Horticulturae* 96:115-125.

MicaSense. (2022, 15 abril). *RedEdge-P*. Recuperado 20 de abril de 2022, de <https://micasense.com/es/rededge-p/?msckid=5101bbc1c18111ecbdb4610c1111103d>.

Monteith, J., and M. Unsworth. 2007. *Principles of Environmental Physics*. Academic Press. Burlington, USA. 435 p.

Loaiza Espinoza, M. (2018, 20 enero). *Teledetección en el riego usando drones -La teledetección contra la sequía*. RIEGO Y SIG (Sistemas de riego de precisión). Recuperado 22 de marzo de 2022, de <https://riegoysig.wordpress.com/2018/01/20/teledeteccion-teledeteccion-en-el-riego-usando-drones-la-teledeteccion-contra-la-sequia>.

León, J. (2016, 21 diciembre). *Sony RX1R II, análisis: una compacta sofisticada, extraordinaria y muy cara*. Xataka Foto. Recuperado: el 20 de abril del 2022 de: <https://www.xatakafoto.com/analisis-y-pruebas/sony-rx1r-ii-analisis?msclkid=d0707b95c17e11ec8ffe0987ed6b90ef>

Louhaichi, Me, Barman, M, M., and Johnson, D, E. (2001). Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat. *Geocarto Int*, 16, 65-70. doi: 10.1080/10106040108542184.

Lozano Mayorga L, Torres,S.(2019) Implementación De Técnicas De Agricultura De Precisión En El Cultivo De Café Castillo “Coffea Arabica L.” Presente En La Finca La Portada, Vereda San Miguel, Pandi- Cundinamarca. Trabajos De Grado Tecnología en Cartografía (pag. 7).

Parker, T. A., Palkovic, A., & Gepts, P. (2020). Determinación del control genético de la tasa de crecimiento temprano del frijol común utilizando vehículos aéreos no tripulados. *Teledetección*, 12(11), 1748. <https://doi.org/10.3390/rs12111748>.

Pino V., Edwin. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia (Arica)*, 37(1), 75-84.

Rodríguez A., A. C. de la Casa, L. Bressanini, R. Accietto y G. Ovando (2000). Determinación del área foliar en papa (*Solanum tuberosum* L., var. Spunta) por medio de fotografías digitales conociendo la relación entre el número de píxeles y la altura de adquisición. *Revista Brasileira de Agrometeorología* 8:215-221.

Sepúlveda-Reyes, D., Ingram, B., Bardeen, M., Zúñiga, M., Ortega-Farías, S., & Poblete-Echeverría, C. (2016). Selección de zonas de dosel y enfoques de umbral para evaluar el estado del agua de la vid mediante el uso de imágenes térmicas aéreas y terrestres. *Teledetección*, 8(10), 822.

Schirrmann, M., Giebel, A., Gleiniger, F., Pflanz, M., Lentschke, J., & Dammer, K.-H. (2016). Monitoring Agronomic Parameters of Winter Wheat Crops with Low-Cost UAV Imagery. *Remote Sensing*, 8,693, 706.

Sholander, P., Hammel, H., Bradstreet, E., & Hemmingsen, E.1965. Sap pressure in vascular plants *Science*. 148: 339-346.

Soontranon, N., Srestasathierm P., & Rakwatin, P, (2014, May), Rice growing stage monitoring in small-scale region using ExG vegetation index. In 2014 11th International Conference on Electrical

Torres-Sánchez, J., Peña, J. M., De Castro, A. I., & LópezGranados, F. (2017). Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 104-113.

Uribe C., Hamil y Ruiz M., Ruben (2019) *Riego y evapotranspiracion* [en línea]. Santiago: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 415. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/6843> (Consultado: 11 junio 2021).

Valenzuela, J., Lemus, G., Lobato, A. 2001. Avellano Europeo. P.68-86. En:Lemus S, Gamalier (Ed) Curso frutales de nuez no tradicionales: Macadamia,pistacho, pecano, avellano europeo. Santiago, INIA La Platina, 28 Mar 2001.Disponible en: <http://www2.inia.cl/medios/bibliotecas/serieactas/NR26376.pdf>.

Woebbecke, D. M., Meyer; G, E., VonBarger., K. Mortensen, D. A. (1995). Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Trans. ASAE* 38, 259-269, doi: 10.13031/2013.27838.