



UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

**Índice de estrés hídrico estimado con información de
un VANT y conductancia estomática del cultivo de
arroz en el distrito de Chongoyape, Lambayeque**

Para optar el título profesional de:
INGENIERA AGRICOLA

Autor:

Bach. Rosa Nelida Zamora Acuña

Asesor:

Dr. Segundo Avelino Sánchez Cusma

Co-asesora

Dra. Lía Ramos Fernández

Lambayeque – Perú
2024



UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

**Índice de estrés hídrico estimado con información de
un VANT y conductancia estomática del cultivo de
arroz en el distrito de Chongoyape, Lambayeque**


Para optar el título profesional de:

INGENIERA AGRÍCOLA

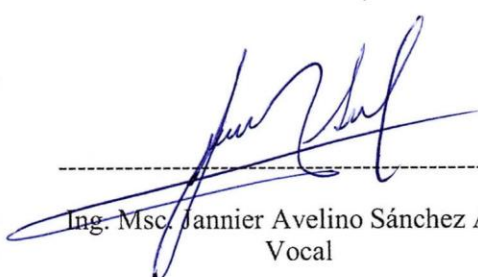
Autor:

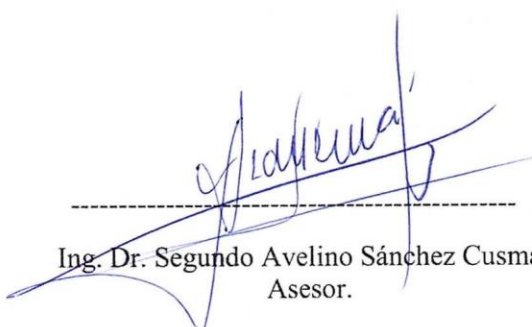
Bach. Rosa Nelida Zamora Acuña

Aprobado por:


Ing. Dr. Wilfredo Díaz Córdova.
Presidente


Ing. Msc. Enoch Montes Bances
Secretario


Ing. Msc. Jannier Avelino Sánchez Ayen
Vocal


Ing. Dr. Segundo Avelino Sánchez Cusma.
Asesor.

DEDICATORIA

A Dios por la vida y la salud prestada, a mis padres Emilio Fernando Zamora Castillo y Cira Acuña Vásquez, de quienes me siento orgullosa y agradecida por el apoyo incondicional brindado siempre; a mis hermanos luz angélica y Daniel Joseth por el cariño brindado en todo momento de mi vida. A Rogger David por ser un eslabón importante en mi vida profesional y personal.

AGRADECIMIENTO

Al Proyecto “Mejora de la gestión del agua en arrozales de productores rurales peruanos empleando drones y satélites en el marco del cambio climático”

A mi asesor Dr. Segundo Avelino Sánchez Cusma, por su orientación y enseñanza, que hicieron posible la culminación de la investigación.

A mi co-asesora Dra. Ramos Fernández Lía, por el asesoramiento en teledetección durante la investigación.

RESUMEN

Buscando incorporar nuevas tecnologías que se adapten a una agricultura moderna y de gran extensión que tiene como desafío producir más, aún en condiciones climáticas adversas se proponen metodologías que nos permitan monitorear el estado hídrico de los cultivos y su relación con variables fisiológicas, se realizó la estimación del índice de estrés hídrico obtenidas a partir de imágenes termográficas capturadas desde un vehículo aéreo no tripulado VANT y su relación con la conductancia estomática en el cultivo de arroz en Chongoyape-Lambayeque.

En el fundo overazal, ubicado en el distrito de Chongoyape, en una extensión de 5.5 ha, se obtuvo las imágenes térmicas capturadas por un VANT y toma de datos empleando el instrumento llamado radiómetro en diferentes coberturas, para su calibración; siendo en total 6 fechas de recolección de datos.

Los datos empleados para la correlación entre el CWSI y la conductancia estomática fueron obtenidos a través de nueve puntos de muestreo ubicados en el centro de las pozas de arroz, empleando el instrumento llamado porómetro para su medición, en las etapas de macollamiento y floración.

Concluyendo que la relación de CWSI y la conductancia estomática en el cultivo de arroz en condiciones de riego inundado presentó una ecuación $y = -1261.2x^2 - 398.4x + 996.01$ con un coeficiente de determinación de 0.368 en el estado de macollamiento y una ecuación $y = -715.39x^2 - 124.45x + 896.61$ con un coeficiente de determinación de 0.301 en el estado de floración.

Palabras Clave: Índice de Estrés Hídrico (CWSI), VANT, Conductancia Estomática, Imágenes Térmicas, Cultivo de arroz

ABSTRACT

Seeking to incorporate new technologies that adapt to a modern and large-scale agriculture that has the challenge of producing more, even under adverse climatic conditions, methodologies are proposed that allow us to monitor the water status of crops and their relationship with physiological variables. The estimation of the water stress index obtained from thermographic images captured from an unmanned aerial vehicle UAV and its relationship with the stomatal conductance in the rice crop in Chongoyape-Lambayeque was carried out.

In the overazal farm, located in the district of Chongoyape, in an area of 5.5 ha, thermal images were captured by an UAV and data was collected using the radiometer instrument in different coverages for calibration; a total of 6 dates of data collection were used.

The data used for the correlation between CWSI and stomatal conductance were obtained through nine sampling points located in the center of the rice ponds, using the instrument called porometer for its measurement, in the tillering and flowering stages.

It was concluded that the relationship between CWSI and stomatal conductance in the rice crop under flooded irrigation conditions presented an equation $y = -1261.2x^2 - 398.4x + 996.01$ with a determination coefficient of 0.368 in the tillering stage and an equation $y = -715.39x^2 - 124.45x + 896.61$ with a determination coefficient of 0.301 in the flowering stage.

Key words: Water Stress Index (CWSI), VANT, Stomatic conductance, Thermal Images, Rice crop.

| | INDICE | GENERAL |
|--|--------|---------|
| INTRODUCCIÓN..... | 13 | |
| CAPITULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACION | 14 | |
| 1.1. Planteamiento del problema | 14 | |
| 1.2. Formulación del problema | 15 | |
| 1.3. Objetivos de la investigación..... | 16 | |
| 1.3.1. Objetivos Generales | 16 | |
| 1.3.2. Objetivos Específicos..... | 16 | |
| 1.4. Justificación de Estudio..... | 16 | |
| 1.5. “Limitaciones de La Investigación” | 16 | |
| CAPITULO II. MARCO TEORICO | 17 | |
| 2.1 Antecedentes del Estudio..... | 17 | |
| 2.2 Bases Teóricas | 17 | |
| 2.2.1. Estrés Abiótico | 17 | |
| 2.2.2. Estrés Hídrico | 18 | |
| 2.2.3. Índice de estrés hídrico..... | 18 | |
| 2.2.4. Conductancia Estomática | 20 | |
| 2.3 Definición de términos..... | 22 | |
| 2.3.1. Cultivo de arroz | 22 | |
| 2.3.2. Sensores Térmicos | 22 | |
| 2.3.3. Imágenes Térmicas | 22 | |
| 2.3.4. Métodos de superposición de imágenes | 23 | |
| 2.3.5. Los drones en la agricultura..... | 24 | |
| 2.3.6. Comportamiento fisiológico del cultivo frente al estrés hídrico | 24 | |
| 2.4 Hipótesis | 25 | |
| 2.4.1. Hipótesis General | 25 | |
| 2.4.2. Hipótesis Específicas..... | 25 | |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.5 | Variables | 25 |
| 2.5.1. | Definición Conceptual de las variables | 25 |
| 2.5.2. | Definición Operacional de las variables | 26 |
| 2.5.3. | Operacionalización de las Variables | 26 |
| CAPITULO III. METODOLOGIA..... | | 27 |
| 3.1. | Tipo y Nivel de la Investigación..... | 27 |
| 3.2. | Descripción del Ámbito de Investigación | 27 |
| 3.3. | Población y Muestra..... | 28 |
| 3.4. | Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos.... | 28 |
| 3.5. | Validez y Confiabilidad del Instrumento | 28 |
| 3.6. | Plan de Recolección y Procesamiento de Datos..... | 30 |
| 3.6.1 | Planificación en la recolección de Imágenes del VANT..... | 30 |
| 3.6.2 | Puntos de muestreo y de control | 31 |
| 3.6.3 | Conductancia estomática y Temperatura Superficial (Radiómetro) 32 | |
| 3.6.4 | Índice de Estrés Hídrico CWSI..... | 35 |
| CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | | 37 |
| 4.1. | Calibración de imágenes térmicas..... | 37 |
| 4.2. | Temperatura foliar obtenida de imágenes térmicas (cámara H20T) 39 | |
| 4.2.1. | Temperaturas Umbrales..... | 41 |
| 4.3. | Índice de estrés hídrico foliar (CWSI) | 43 |
| 4.4. | Relación del CWSI con la Conductancia Estomática..... | 45 |
| CAPITULO V. CONCLUSIONES..... | | 49 |
| CAPITULO VI. RECOMENDACIONES | | 50 |
| CAPITULO VII: REFERENCIAS BIBLOGRAFICA..... | | 51 |
| CAPITULO VIII: ANEXOS..... | | 54 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| Figura 1. Esquema de los pasos realizados para el método de superposición de imágenes con información de Wang et al. (2010) | 23 |
| Figura 2. Mapa de ubicación de las parcelas investigadas” | 27 |
| Figura 3. Planificación de vuelo del VANT Matrice 300 | 31 |
| Figura 4. Distribución de los puntos de control y muestreo en el área de investigación | 32 |
| Figura 5. recolección de conductancia estomática con porómetro. | 33 |
| Figura 6. medición de la temperatura mediante radiómetro | 33 |
| Figura 7. imagen térmica de coberturas tomada con cámara H20T | 34 |
| Figura 8. representación de la variación del CWSI en las plantas..... | 35 |
| <i>Figura 9. Diagrama de la metodología empleada para estimar el índice de estrés hídrico y la conductancia estomática</i> | <i>36</i> |
| “Figura 10. Relación de los valores de temperatura entre las imágenes térmicas de un VANT y el sensor radiométrico, en el estado vegetativo de macollamiento.” | 38 |
| “Figura 11. Relación de los valores de temperatura entre las imágenes térmicas de un VANT y el sensor radiométrico, en el estado vegetativo de floración.” | 39 |
| <i>Figura 12. Variación espacial de las temperaturas en cultivo de arroz en fase de macollamiento (a,b,c) y fase de floración (d,e,f) obtenidas de la cámara térmica H20T.</i> | <i>40</i> |
| Figura 13. Boxplot de las temperaturas en cultivo de arroz en macollamiento (23,25,28 oct) y floración (14,18,20 nov) con cámara térmica H20T. | 41 |
| <i>Figura 14. imágenes de temperatura foliar del cultivo de arroz con cámara FLIR en el lado izquierdo y cámara H20T lado derecho.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Figura 15. Variación espacial del CWSI en arroz con umbrales térmicos a partir de estación meteorológica, en macollamiento (a, b,c) y floración (d,e,f). Imagen térmica obtenida con cámara H20T.....</i> | <i>44</i> |
| <i>Figura 16. boxplot de la variación del CWSI en cultivo de arroz en macollamiento (23,25,28 oct) y floración (14,18,20 nov) con cámara térmica H20T.</i> | <i>45</i> |
| <i>figura 17. Correlación de la conductancia estomática (gs) vs CWSI en el estado de macollamiento del cultivo de arroz.....</i> | <i>46</i> |

| | |
|--|----|
| <i>Figura 18. Correlación de la conductancia estomática (gs) vs CWSI en el estado de floración del cultivo de arroz</i> | 47 |
| Figura 19. variación de la conductancia estomática en macollamiento (a, b) y floración (c, d, e). | 48 |
| Figura 20 Equipos empleados en la investigación: a) Matrice 300, b) Radiómetro, c) RTK, d) porómetro, e) y f) toma de temperaturas en coberturas. | 54 |
| Figura 21. a) Colocación de las boyas, b) lectura de radiómetro en el arroz, c) lecturas de radiómetro en las coberturas, d) lectura de conductancia con porómetro, e) foto grupal de investigadores. | 55 |
| Figura 22.a) Preparación de coberturas; b,c) instalación de las coberturas en campo); d) punto de control e) Grupo de investigadores del proyecto Ricemoon..... | 56 |
| Figura 23.Extracción de la cobertura vegetal de arroz para las diferentes fechas de vuelo. | 57 |
| Figura 24.variación del CWSI con datos de cámara FLIR lado izquierdo y H20T lado derecho | 58 |
| Figura 25. Imágenes recolectadas por el VANT: (a) RGB y (b) Térmica..... | 59 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Operacionalización de las variables | 26 |
| Tabla 2. Equipos, software y materiales | 28 |
| Tabla 3. Plan de vuelo de la Matrice 210 y 300 y sus especificaciones..... | 30 |
| Tabla 4.temperaturas umbrales tomadas de la estación metereológica tinajones para las diferentes fechas de vuelo. | 41 |
| Tabla 5. Ecuaciones de correlación del CWSI con la conductancia estomática para los estados vegetativos de macollamiento y floración | 46 |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|--|--|
| ANEXO 1: Panel Fotográfico. | |
| ANEXO 2: Pixeles de cultivo de arroz por superposición de imágenes. | |
| ANEXO 3: Variación espacial del CWSI según cámara térmica FLIR y H20T | |
| ANEXO 4: Diagrama secuencial de las medidas de conductancia estomática | |
| ANEXO 5: Representación gráfica de la imagen rgb y térmica de la zona de estudio | |
| ANEXO 6: Cuadro de datos para la correlación de las variables | |

ABREVIATURAS

| | |
|-----------|--|
| VANT | vehículo aéreo no tripulado |
| MIDAGRI | Ministerio de Desarrollo, Agricultura y Riego |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| T_a | Temperatura del aire |
| T_s | Temperatura superficial |
| CWSI | Crop wáter stress index (índice de estrés hídrico) |
| RGB | Red, green, blue (rojo, verde, azul) |
| G_s | conductancia estomática |
| t_c | Temperatura del cultivo |
| T_{hum} | Umbral de temperatura húmeda |
| T_{sec} | Umbral de temperatura seca |

INTRODUCCIÓN

El arroz es el cereal de mayor demanda dentro de los productos de la canasta familiar de los peruanos, siendo Lambayeque unas de las regiones con mayor producción nacional. A nivel de producción de arroz en Sudamérica Perú ocupa el segundo lugar, llegando a producir un poco más de 3 millones de toneladas (FAO,2020).

El impacto del cambio climático trae consigo el incremento de la escasez de agua, convirtiendo al arroz en un cultivo poco sostenible en el tiempo debido a su elevada demanda hídrica necesaria para su producción, afectando la seguridad alimentaria de la población. Esta situación genera la necesidad de realizar investigaciones orientadas a optimizar el uso de agua para riego.

El impacto del estrés hídrico en las plantas ha sido motivo de muchas investigaciones determinando que un estrés hídrico moderado mejora la eficiencia del uso del agua y a la vez mejora el rendimiento de los cultivos respecto a un déficit hídrico severo, merma la producción. (Turner. 1986).

“El CWSI permite llevar un control del estado hídrico, predecir rendimientos y estimar la evapotranspiración de los cultivos.” (Sezen et al. ,2014). “La conductancia estomática parece mostrar buenas respuestas a las variaciones de estrés hídrico.” (intigliolo y castel,2006). Por tal motivo surge el interés de correlacionar ambas variables en arrozales, con condiciones específicas del lugar de estudio.

El CWSI se basa en la temperatura del cultivo es por ello que se emplean sensores infrarojos y cámaras termográficas de alta resolución para adquirir dicha información de los arrozales, este avance tecnológico nos permite facilitar el mapeo de temperaturas de las parcelas pudiendo realizarse a varias escalas y abarcar grandes superficies en tiempos cortos.

Según lo antes mencionado, se busca incorporar nuevas tecnologías que permitan el desarrollo de una agricultura moderna, mediante la cual logremos el manejo y monitoreo de áreas de producción más extensas con eficiencia.

CAPITULO I. EL PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del problema

El índice de estrés hídrico (CWSI) es un indicador mediante el cual nos permite conocer el comportamiento además del grado de la transpiración que ocurre dentro de una planta, estando esta última muy relacionada al estado hídrico de los cultivos.

El uso de sensores remotos en la agricultura es un insumo “ahora disponible” para el estudio del requerimiento hídrico óptimo de los cultivos, y permite, entre otros, el mapeo y monitoreo de cultivos por especie y en tiempo casi real. Asimismo, el uso de cámaras térmicas y multiespectrales, sensores edáficos, y sensores vegetativos permiten detectar el vigor del cultivo y así estimar el contenido de agua, nutrientes, estado térmico o sanitario del sistema suelo planta (Berni et al. 2009).

En la región del libertador general bernardo O'Higgins, Chile se realizó: “comparación de dos métodos para la determinación de déficit hídrico a partir de imágenes de satélite y datos meteorológicos.” (Sánchez y Carvacho.,2013) Como también se realizó en España la caracterización del estrés hídrico en campos de olivos, lo cual permita potenciales aplicaciones en la mejora de la gestión de riego. (Berni et al.2009).

Respecto a nuestro país, en el área experimental de la universidad nacional de la Molina se realizó Estimación el índice de estrés hídrico del cultivo de arroz bajo riego por goteo a partir de imágenes térmica y sensores de termopares (Durán et al.,2021)

A nivel regional se publicó la tesis: “estimación del estrés hídrico del cultivo de arroz a partir de imágenes térmicas de un VANT en Ferreñafe, Lambayeque; en la Universidad Pedro Ruíz Gallo” (UNPRG) (Pérez,2020)

Así las nuevas tecnologías se van expandiendo en la búsqueda de soluciones a las problemáticas que hoy en día enfrentamos en la agricultura con la finalidad de tener una seguridad alimentaria con una disponibilidad hídrica que cada día vemos menguada tanto al uso indebido de este recurso como al aumento poblacional lo cual nos obliga a producir con la misma disponibilidad hídrica cantidades mayores de alimentos.

1.2. Formulación del problema

El problema que tenemos hoy en día respecto a la agricultura es la necesidad de realizar monitoreos de áreas de cultivo cada vez más extensas, por ello es importante establecer relaciones entre las variables fisiológicas que nos permitan sintetizar dichas labores.

Frente a esta problemática se busca describir la magnitud de relación que existe entre ambas variables fisiológicas: la conductancia estomática y el indicador CWSI.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivos Generales

Estimar del índice de estrés hídrico obtenidas a partir de imágenes termográficas capturadas desde un vehículo aéreo no tripulado VANT y su relación con la conductancia estomática en el cultivo de arroz en Chongoyape-Lambayeque.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar umbrales de estrés hídrico mediante el sensoramiento térmico del follaje del cultivo de arroz.
- Estimar la variación espacial del índice de estrés hídrico foliar a partir de imágenes térmicas de un VANT.
- Relacionar el índice de estrés hídrico foliar y la conductancia estomática.

1.4. Justificación de Estudio

En la presente investigación se realizará la estimación del índice de estrés hídrico foliar del cultivo de arroz (CWSI) y la conductancia estomática, con la finalidad de establecer la relación existente entre ambas variables.

1.5. Limitaciones de La Investigación

Las limitaciones presentadas durante el desarrollo de la investigación fueron:

- En las capturas de imágenes de la cámara H20T se vio la influencia del cambio de batería.
- La cámara H20T esta calibrada en condiciones de laboratorio, la cual a condiciones de campo abierto se vio influenciada.

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes del Estudio

Se realizaron las primeras investigaciones sobre el índice de estrés hídrico en el cultivo de arroz en el Perú, siendo publicado el artículo denominado: “Imagen térmica y sensores de termopares para estimar el índice de estrés hídrico del cultivo de arroz bajo riego por goteo”. Esta investigación fue realizada en el Área Experimental de Riego en la Universidad Nacional Agraria La Molina en Lima – Perú, que tenía como objetivo: “estimar el índice de estrés hídrico foliar (Crop Water Stress Index - CWSI) a partir del procesamiento de imágenes térmicas obtenidas mediante sensores remotos, como herramienta para llevar de una escala de planta (dosel) a una mayor escala”. En la investigación se evaluó: “la relación entre el CWSI y la humedad del suelo, en la que se observa, la correlación significativa de Pearson de -0.522 y -0.375 entre el CWSI y los valores medidos de humedad del suelo a 0.3 m y 0.15 m de profundidad, según la prueba de Tstudent para un α del 5%”. En dicha investigación se recomienda incorporar el monitoreo de la conductancia estomática y también relacionar su comportamiento con el índice de estrés hídrico CWSI.

En la UNPRG se publicó la tesis “Estimación del estrés hídrico del cultivo de arroz a partir de imágenes térmicas de un VANT en Ferreñafe, Lambayeque, con la finalidad de determinar el índice de estrés hídrico foliar (CWSI) a partir de imágenes térmicas, captadas por una cámara térmica instalada en un vehículo aéreo no tripulado (VANT), para luego correlacionarlo con la humedad volumétrica del suelo, bajo un sistema de riego por goteo en el fundo Zapote Figueroa, en Ferreñafe”.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1. Estrés Abiótico

Levitt citado por Bohnert y Jensen (1996) menciona que: “Las plantas están continuamente expuestas a estímulos ambientales que influyen en el desarrollo y el crecimiento, y determinan la productividad en los umbrales específicos de cada especie. Estos estímulos se convierten en estresores”.

“Entre los estreses abióticos, la inmersión, la sequía, la salinidad y el estrés térmico son los más devastadores” (Nawaz y Farooq, 2017).

2.2.2. Estrés Hídrico

El estrés hídrico por sequía es el de mayor influencia de estrés abiótico que existe en zonas áridas, siendo la principal causa de los bajos rendimientos de producción, seguido por la salinidad de los suelos. Munns y Tester, citado por Luna, et al. (2012) mencionan que: “La poca disponibilidad de agua en el suelo puede ocasionar que la transpiración exceda el agua absorbida por las raíces, lo que se conoce como estrés hídrico”.

2.2.3. Índice de estrés hídrico

Las metodologías de estimación del índice de estrés hídrico son numerosas, encontrándose como una buena alternativa el uso del modelo CWSI “índice de estrés hídrico del cultivo, por sus siglas en inglés, Crop Water Stress Index”, mediante análisis foto térmico y la correlación con la humedad de suelo y la conductancia estomática. El CWSI, basado en las mediciones de temperatura del dosel, ha demostrado ser un buen indicador de los déficits de agua de los cultivos en campo.

López et al. (2009) definen lo siguiente:

El método del índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI), es una medida de la transpiración que ocurre en una planta en el tiempo de medición, mediante el registro de la temperatura de la planta y el déficit de presión de vapor del agua.

El índice de estrés hídrico foliar según Idso y Jackson et al. (Citado por López, et al. 2009), está representado por la siguiente formula:

$$CWSI = \frac{[(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{li}]}{[(T_c - T_a)_{ls} - (T_c - T_a)_{li}]}$$

Dónde:

Tc: Temperatura del Cultivo

Ta: Temperatura del aire

m: “El subíndice que denota la diferencia entre las dos temperaturas.”

- li: El subíndice (Limite inferior) que demuestra la variación entre ambas temperaturas cuando la evapotranspiración no está limitada por disponibilidad del agua, de modo que la temperatura es el valor más bajo para las condiciones del clima.
- ls: El subíndice (limite superior) demuestra la diferencia hipotética entre ambas temperaturas cuando la evapotranspiración es cero, como resultado de falta de disponibilidad de agua en el sistema suelo – planta - atmosfera.

“El rango del valor del CWSI varía entre un valor de 0 (indica que el cultivo no presenta estrés hídrico) y un valor de 1, (indica que el cultivo presenta un estrés hídrico máximo)” (López et al. 2009).

“Como indicador del estatus hídrico derivado de la obtención de imágenes termográficas, se utiliza el índice de estrés hídrico de cultivo o CWSI”. (Jones citado por Quintana. 2014).

Siendo expresado por la fórmula:

$$CWSI = \frac{(T_{cr} - T_{cm})}{(T_{cx} - T_{cm})}$$

Dónde:

T_{cr}: Temperatura del dosel.edida entre las dos temperaturas

T_{cx}: Temperatura máxima del dosel para el cultivo (estresado).

T_{cm}: Temperatura mínima del dosel para el cultivo (no estresado)

Las metodologías de estimación del índice de estrés hídrico son numerosas, encontrándose como una buena alternativa el uso del modelo CWSI “índice de estrés hídrico del cultivo, por sus siglas en inglés, Crop Water Stress Index”, mediante análisis foto térmico y la correlación con la humedad de suelo y la conductancia estomática. El CWSI, basado en las mediciones de temperatura del dosel, ha demostrado ser un buen indicador de los déficits de agua de los cultivos en campo.

También se encuentra representada por la siguiente formula, según Jones (2014):

$$CWSI = \frac{(T_{foliar} - T_{hum})}{(T_{sec} - T_{hum})}$$

Dónde:

T_{foliar}: Temperatura del cultivo (Dosel Vegetal)

T_{seca}: Temperatura seca del cultivo o también temperatura máxima que presenta el cultivo.

T_{hum}: Temperatura del mínimo estrés hídrico o humedad del cultivo

“Donde la Thúmeda es la temperatura de mínimo estrés hídrico (máxima transpiración sin perturbación, estomas totalmente abiertas) y Tseca es la temperatura de máximo estrés hídrico (hoja que no transpira, estomas cerradas).” (Jones, 2014)

El uso de sensores térmicos instalados en drones proporciona información valiosa para correlacionar las condiciones térmicas de los cultivos con las necesidades hídricas mediante la estimación del índice de estrés hídrico foliar (CWSI), que proporciona información precisa sobre las necesidades hídricas de los cultivos. Además, el uso extensivo del sensor infrarrojo térmico proporcionará suficiente información para llevar de una escala de planta a una mayor escala.

2.2.4. Conductancia Estomática

La mayoría de los cultivos reaccionan con alta sensibilidad frente al estrés hídrico en las diferentes etapas de su desarrollo (Nielsen y Nelson, 1998). El recurso hídrico es un factor influyente para el desarrollo de los cultivos, esto significa que programar el riego es crucial para aumentar el rendimiento y la calidad de los cultivos. (Wang et al., 2011). El óptimo desarrollo de los cultivos está controlado, entre otras cosas, por la fotosíntesis como fenómeno clave; Por lo tanto, es muy importante estudiar el estado interno y el flujo del agua dentro de ellos (Ashraf y Harris, 2013).

Los estomas son quienes mediante válvulas variables controlan la transmisión del vapor de agua desde los espacios intercelulares hacia la atmósfera que rodea la hoja. Por esta razón, la estoma inevitablemente también

controla el intercambio de CO₂ (Bjorkman, 1981; Farquhar y Sharkey, 1982). La conductancia estomática se utiliza como el grado de la apertura estomática. Esta es la propiedad de los estomas de las hojas para permitir la transferencia del agua en forma de vapor a la atmósfera circundante.

La temperatura de la planta es un indicador de la conductividad de los estomas que refleja el estrés hídrico del suelo y puede utilizarse para optimizar los programas de riego. (Yu et al., 2015).

Pask (2013) define lo siguiente:

La conductancia estomática estima la tasa de intercambio de gases (es decir, el consumo de dióxido de carbono) y la transpiración (es decir, la pérdida de agua) a través de los estomas de las hojas, que está determinada por el grado de apertura de los estomas (y, por lo tanto, gran parte de la resistencia física al movimiento de los estomas) gases entre el aire y el interior de la hoja).

Prasch citado por Dell et al. (2017) menciona lo siguiente:

Para soportar el estrés por sequía, las plantas cierran sus estomas para asegurar la turgencia y mantener el metabolismo celular. Cuando estos se cierran, la tasa de fotosíntesis disminuye. Las plantas tienen que ajustar constantemente la conductancia de sus estomas para permitir una intyección suficiente de CO₂ y evitar pérdidas innecesarias de agua O₂ bajo estrés. Por lo tanto, las plantas tienen que sentir la falta de agua permanentemente.

Vega y Mejía (2017) proponen una escala de referencia de valores de conductividad estomática para establecer el nivel de transpiración

2.3 Definición de términos

2.3.1. Cultivo de arroz

“El arroz (*Oryza sativa*,L) es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia Poaceae de las gramíneas. Los suelos inundados ofrecen un ambiente único para el crecimiento y nutrición del arroz”. (Franquet y Borrás,2004)

Franquet y Borrás (2004) mencionan lo siguiente:

El cultivo del arroz comenzó hace 10.000 años en muchas regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. La India puede ser el país donde se cultivó por primera vez, ya que allí abundaba el arroz silvestre. Sin embargo, el desarrollo del cultivo tuvo lugar en China.

2.3.2. Sensores Térmicos

Existen diversas maneras y métodos para la medición de las temperaturas, hoy en día que la tecnología está evolucionando a pasos agigantados, nos ofrece los sensores térmicos para el control y monitoreo de los cambios en procesos a estudiar en diferentes campos como es el de la agricultura.

Los sensores infrarrojos tienen diversas maneras de ser usados como, por ejemplo: equipo de visualización y tratamiento de imágenes en tiempo real para la elaboración de mapas de temperatura, nos brindan información confiable y muy útil en las decisiones tomadas por parte de los encargados de gestionar los recursos disponibles. (Sanglier, et al.2001)

2.3.3. Imágenes Térmicas

Las imágenes térmicas muestran la distribución de temperaturas en la superficie de un objeto analizado, en las cuales podemos ver reflejados los resultados del procedimiento llamado termografía, que capta la radiación infrarroja de onda larga, así mismo, lo emplea para el cálculo de la temperatura del objeto medido. La saturación de la imagen está directamente con la temperatura, condiciones ambientales, sensor de la cámara y características de la superficie. (EN, 1999).

2.3.4. Métodos de superposición de imágenes

Para poder evaluar el estrés hídrico de los cultivos a partir de la temperatura del dosel es necesario obtener de manera precisa los datos del cultivo recopilados en la imagen térmica, propuesto por Wang et al (2010) mediante 3 pasos, ver Figura 1:

- 1) En este paso se extrae las plantas de interés empleando la imagen óptica (RGB), a través del color que permite identificarlo.
- 2) Luego empleando los pixeles extraídos de la imagen RGB se extraen los pixeles de temperatura foliar.
- 3) Por último, se promedian los valores de temperatura extraídos.

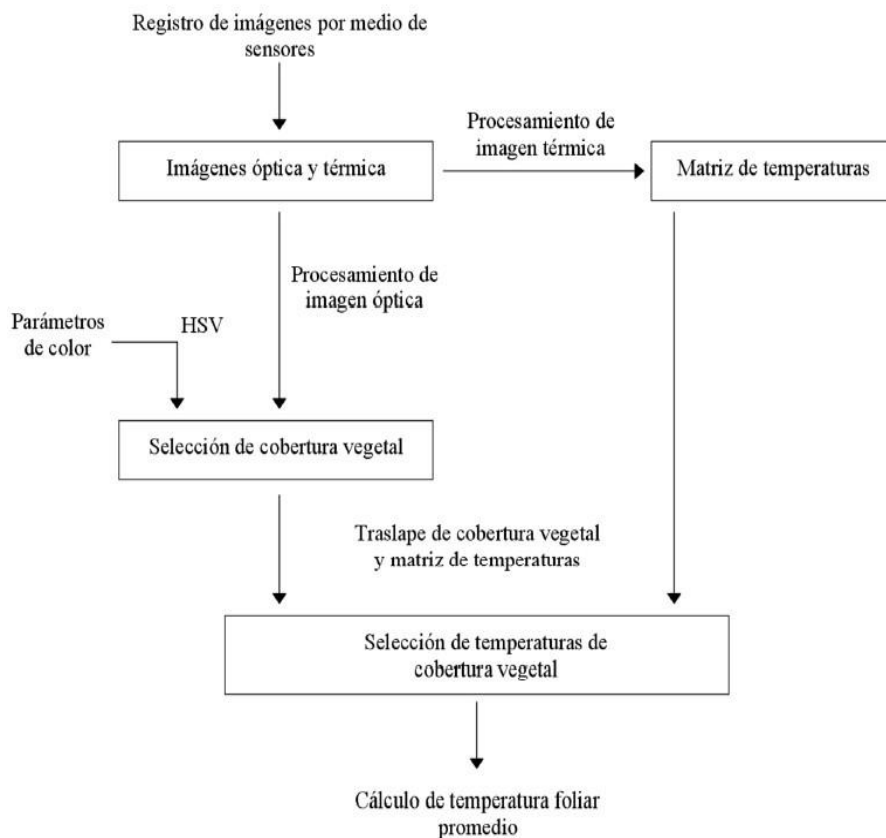


Figura 1. Esquema de los pasos realizados para el método de superposición de imágenes con información de Wang et al. (2010)

2.3.5. Los drones en la agricultura

Al inicio se usaban imágenes que no tenían un costo tan elevado (landsat 7 o landsat 5). la información era muy útil, pero presentaba una desventaja lo cual era que la captura de dichas imágenes se hacía cada 8 días, debido a esto se tiene la necesidad de la obtención de las imágenes en el momento oportuno. Surgieron las plataformas no tripuladas, equipamientos que hoy conocemos como drones (Méndez et al, 2014).

Según el portal web <https://www.areadron.com/estas-son-las-aplicaciones-de-los-drones-en-la-agricultura/>:

Actualmente la recolección de datos y la monitorización de los cultivos se está implementando los vehículos aéreos no tripulados (VANT) ya que, en conjunto con cámaras térmicas, tienen la gran capacidad de obtener dichos datos sobre los cultivos de una manera rápida, información que luego será apta para la evaluación de los campos monitoreados. De esta forma podemos hacer un control de nuestros cultivos de manera más eficiente la cual nos permitirá realizar una toma de decisiones inmediata a ciertos problemas en nuestros campos.

2.3.6. Comportamiento fisiológico del cultivo frente al estrés hídrico

Cuando el cultivo está sometido a estrés hídrico, presenta un cierre estomático, decrecimiento en la transpiración por consiguiente se eleva la temperatura de la hoja.

a) Estomas

Durán (2017) menciona que:

La reacción inmediata de un cultivo ante el déficit de agua en el mismo, es interrumpir la fotosíntesis mediante los pequeños poros en la superficie de las hojas que son los estomas, los cuales son los encargados del intercambio del vapor de agua hacia el exterior y el ingreso de bióxido de carbono, todo este proceso conlleva a que la planta no genere los azúcares necesarios para su crecimiento. (p. 153)

b) Transpiración

A la acción mediante la cual la planta pierde agua a través de las hojas en forma de vapor se le conoce como transpiración. No obstante, la

transpiración es una necesidad mediante la cual se obtiene el CO₂ el cual entra en conflicto directamente con la necesidad de conservar el agua.

Los factores ambientales más importantes que afectan a la transpiración son: radiación, déficit de presión de vapor del aire, temperatura, velocidad del viento y suministro de agua. Entre los factores de la propia planta figuran: el área foliar, la estructura y exposición foliares, la resistencia estomática y la capacidad de absorción del sistema radical. (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 2008)

2.4 Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

El índice de estrés hídrico foliar del cultivo de arroz a partir de imágenes termográficas capturadas desde un vehículo aéreo no tripulado (VANT) (Variable independiente) tienen una relación lineal inversa con la conductancia estomática medida con un porómetro (variable dependiente).

2.4.2. Hipótesis Específicas

El sensoramiento térmico del follaje del cultivo de arroz permite identificar umbrales de estrés hídrico.

Se puede estimar la variación espacial del índice de estrés hídrico foliar a partir de imágenes térmicas de un VANT.

Existe relación entre el índice de estrés hídrico foliar y la conductancia estomática.

2.5 Variables

2.5.1. Definición Conceptual de las variables

- **Conductancia estomática**

Proceso mediante el cual se realiza el intercambio de vapor de agua de la hoja con la atmosfera

- **Índice de estrés hídrico (CWSI).**

Es un indicador en cual nos puede reflejar el estado hídrico del cultivo.

2.5.2. Definición Operacional de las variables

- **Conductancia estomática**
se capta en campo de manera aleatoria con el instrumento llamado porómetro en un radio aproximado de 0.5 m alrededor del punto de muestreo
- **Índice de estrés hídrico (CWSI).**
Con la información captada con el sensor de la cámara térmica H20T se hace el procesamiento obteniéndose así la imagen térmica del área total de estudio que con ayuda del software ArcGIS mediante la fórmula de jone se obtiene finalmente el índice de estrés hídrico.

2.5.3. Operacionalización de las Variables

Tabla 1. Operacionalización de las variables

| Variables | Dimensiones | Indicadores |
|--------------------------|---------------------|--------------------|
| Índice de estrés hídrico | Temperatura cultivo | °C |
| | Temperatura Húmeda | °C |
| | Temperatura Seca | °C |
| Conductancia estomática | Flujo de Vapor | mm m-2.s-1 |

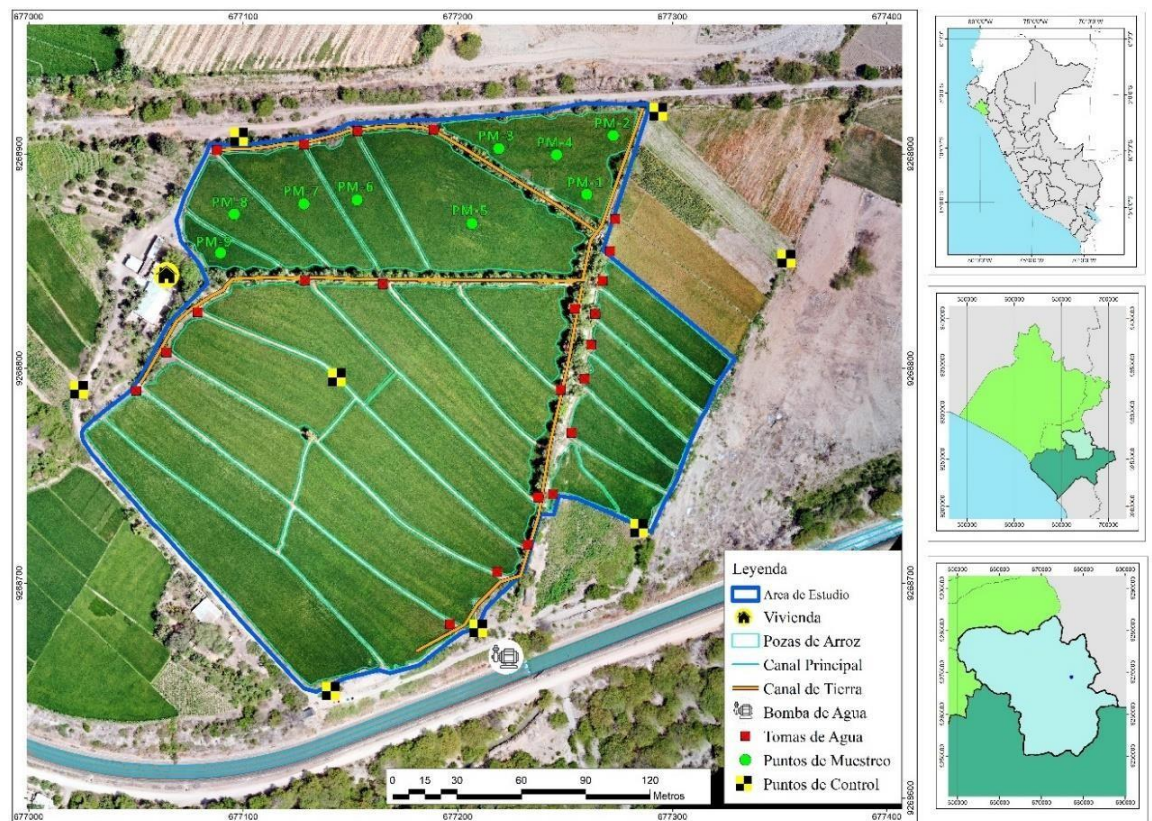
CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1. Tipo y Nivel de la Investigación

La presente investigación es de tipo Cuantitativa y Descriptiva y; según el nivel es descriptiva y correlacional.

3.2. Descripción del Ámbito de Investigación

El área de estudio para la investigación se encuentra ubicado en el fundo Overazal, distrito de Chongoyape, región Lambayeque, con las coordenadas UTM este: 677193.468 y norte: 9268803.542, en donde la temperatura oscila de 18 a 35 °C.



3.3. Población y Muestra

Para la investigación se tomó una población de 5.50 ha ubicadas en el fundo Overazal en Chongoyape. Para la muestra, se colocaron nueve puntos de control en las pozas de arroz, en los cuales se realizó el monitoreo de la conductancia estomática, realizando mediciones con el porómetro.

3.4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos

Se empleó la técnica de teledetección para la captura y procesamiento de las imágenes térmicas y RGB que se obtuvieron con la cámara que es transportada por el VANT, también se hará uso de métodos estadísticos para obtener los resultados de la correlación entre las variables de estudio.

3.5. Validez y Confiabilidad del Instrumento

Tabla 2. Equipos, software y materiales.

| Tipo | Características | Uso-aplicación |
|------------------------------------|---|--|
| Equipos | | |
| Vehículo aéreo no tripulado - VANT | Modelo DJI M 210, Modelo HJI M300RTK | Transportar las cámaras con los sensores mediante las cuales podemos capturar las imágenes con su información. |
| Cámara térmica | Marca H20T, equipo con 4 sensores térmicos de precisión ± 2 °C., con láser de un alcance máximo. de 1200 m. | Permitió obtener imágenes térmicas y RGB de la zona de estudio. |
| Radiómetro infrarrojo de mano | Modelo MI-210, Marca Apogee. | Permitió medir y obtener datos de temperatura empleados en la calibración de las imágenes térmicas. |
| Porómetro | Modelo SC-1, Código: LPS 3879, con un rango de medición de 0 a 1000 mmol m ⁻² s ⁻¹ . | Permitió obtener la conductancia estomática en las hojas, para su posterior correlación con valores de CWSI. |
| Estación Geodésica (RTK) | Marca GNSS de alta precisión, modelo D-RTK 2 DJI | Permitió obtener datos para la correcta geolocalización de puntos de control. |

| Tipo | Características | Uso-aplicación |
|----------------------|---|--|
| Software | | |
| Pix4D v. 4.5.6 | Software de procesamiento de imágenes del VANT. | Permitió procesar las fotos del VANT para su posterior generación de ortomosaicos. |
| ArcGis 10.5 | Software que permite procesar información geográfica. | Se utilizó en el procesamiento de las imágenes térmicas y obtención de datos de temperatura. |
| Matlab 2020 | Software matemático, que permite la programación y cálculo numérico. | Permitió obtener los gráficos de cajas y bigotes de los resultados. |
| Rstudio | IDE (entorno de desarrollo integrado que utiliza el lenguaje de programación R. | Permitió el análisis y filtrado de los valores atípicos de los resultados. |
| Microsoft office | Word, Excel | Permitió realizar la redacción y la obtención de las ecuaciones de correlación. |
| Materiales | | |
| Tubos y codos de PVC | Ø de 1/2 “, de un 1m de longitud. | Se empleó en el perímetro de las coberturas. |
| Coberturas | Tecnopor, hoja verde, hoja seca, papel metálico, franelas (rojo, verde, amarillo, negro y blanco) | Se emplearon para obtener datos de temperatura con el radiómetro. |
| Triplay | Dimensiones de 1m cuadrado. | Se empleó para elaborar los puntos de control. |
| Tecnopor | Forma circular con diámetro de 30 cm. | Se usó para ubicar los puntos de muestreo. |
| Estacas de madera | Longitud de 35 cm | se utilizó para ubicar los tableros de los puntos de control. |
| varillas de acero | Diámetro 1/2", de 1 m de longitud | Permitió ubicar los puntos de muestreo. |

3.6. Plan de Recolección y Procesamiento de Datos

3.6.1 Planificación en la recolección de Imágenes del VANT

Los vuelos fueron planificados mediante la aplicación DJI Gsp Pro, considerando una mayor área respecto al área de estudio, sin perder información en los extremos, de igual manera se tomó en cuenta las condiciones climáticas y su influencia de la temperatura en las cámaras térmicas debido a que no son refrigeradas. Para la Matrice 300 RTK, su planificación de vuelo se observa en la Figura 3, se tomó en cuenta las siguientes condiciones para la operatividad de la cámara termográfica H20T:

- Altura de vuelo de 100 m
- Velocidad de 3.4 m/s
- Traslape del 75%, frontal y lateral
- Tiempo de vuelo de 30 min

Bajo estas condiciones se obtuvo una resolución de 8.9 cm/pixel. Para la cámara zenmuse y flir transportada por la matrix 210 se estableció su tiempo de vuelo de 10 minutos, una altura de 100 m, una velocidad de 7.4m/s traslape lateral 80%, con un traslape frontal de 89%; con una resolución de 13.08 cm/pixel para la flir vue pro y 2.7 cm/pixel para la zenmuse. Como se puede Ver Tabla 3, y Figura 3.

Tabla 3. Especificaciones para la parametrización del plan de vuelo en las cámaras matrice 210 y 300.

| Cámara | Resolución | Traslape frontal | Traslape lateral | Velocidad | Altura | Tiempo de vuelo |
|-----------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|--------|-----------------|
| Matrice 210 | | | | | | |
| Flir vue pro | 13.08 cm/pixel | 89% | 80% | 7.4m/s | 100m | 10min |
| Parrot sequoia | 12.4 cm/pixel | 85% | 80% | 7.4m/s | 100m | 10min |
| Zenmuse x4t | 2.7 cm /pixel | 85% | 80% | 7.4m/s | 100m | 10min |
| Matrice 300 rtk H20T | | | | | | |
| Sensor Zenmuse H20T | 8.9 cm /pixel | 75% | 75% | 3.4 m/s | 100m | 30min |

La hora en la que se recolectó los datos fue entre las 10 am a 11 am debido a mayor estabilidad de las condiciones climáticas. Las imágenes obtenidas por el VANT se importaron al software Pix4D para su procesamiento y obtención de los ortomosaicos de superficie y temperatura, (Ver anexo 5). Para la imagen térmica manualmente se ingresó los puntos de control utilizando como guía la imagen RGB.



Figura 3. Planificación de vuelo del VANT Matrice 300

Los Vuelos fueron realizados el 23, 25 y 28 de octubre para el estado vegetativo de Macollamiento y, el 14, 18 y 20 de noviembre para el estado vegetativo de Floración.

3.6.2 Puntos de muestreo y de control

Los puntos de control fueron ubicados tanto alrededor como en el centro del área de estudio siendo puntos estratégicos para facilitar la georreferenciación durante procesamiento de la información de las imágenes obtenidas del VANT como se puede ver en la Figura 4, fueron en total 8 puntos los que se utilizaron ,los cuales se fabricaron a partir de tableros de triplay de dimensiones de 1m x 1m cubiertos con papel aluminio liso para su pronta ubicación en la imagen térmica y RGB.

Los puntos de muestreo fueron distribuidos en cada centro aproximado de cada poza de arroz, donde se realizaron las lecturas de conductancia

estomática para las diferentes fechas de vuelo en investigación, en cada punto se usó bases circulares de Tecnopor cubiertas con papel aluminio liso.



Figura 4. Distribución de los puntos de control y muestreo en el área de investigación.

3.6.3 Conductancia estomática y Temperatura Superficial (Radiómetro)

- Conductancia estomática.

La información de conductancia estomática fue recolectada en campo haciendo uso del porómetro, este instrumento consta una pinza con un sensor de presión de vapor, el cual entra en contacto con la hoja midiendo así la conductancia estomática del cultivo.

Después de haberse realizado el vuelo del VANT, se hicieron las medidas con el porómetro, aproximadamente a 0.50 m de radio alrededor del punto de muestreo, obteniendo 4 lecturas de conductancia estomática en cada uno de los 9 puntos (P1, P2, P9) por cada fecha de vuelo. Ver Figura 5.

Para mayor detalle de la calibración del equipo porómetro y medidas en campo ver ANEXO 4.



Figura 5. recolección de conductancia estomática con porómetro.

- Temperatura superficial mediante radiómetro.

La toma de datos de temperatura superficial se realizó haciendo uso de un radiómetro el cual tomaba lecturas en las diferentes coberturas usadas en campo las cuales fueron: suelo, hojas secas, hojas verdes, cobertura negra, cobertura roja, cobertura blanca, cobertura amarilla, papel aluminio arrugado, cobertura verde, de las cuales se obtuvo 36 lecturas tomándose 4 lecturas por cada punto como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. medición de la temperatura mediante radiómetro.

Así mismo se registró las temperaturas superficiales de las pozas de arroz en estudio mediante la captura de imagen con la cámara térmica H20T y FLIR para cada fecha de vuelo. Dichas imágenes durante el procesamiento de datos eran calibradas mediante las ecuaciones obtenidas de la correlación entre la temperatura del radiómetro y del VANT.

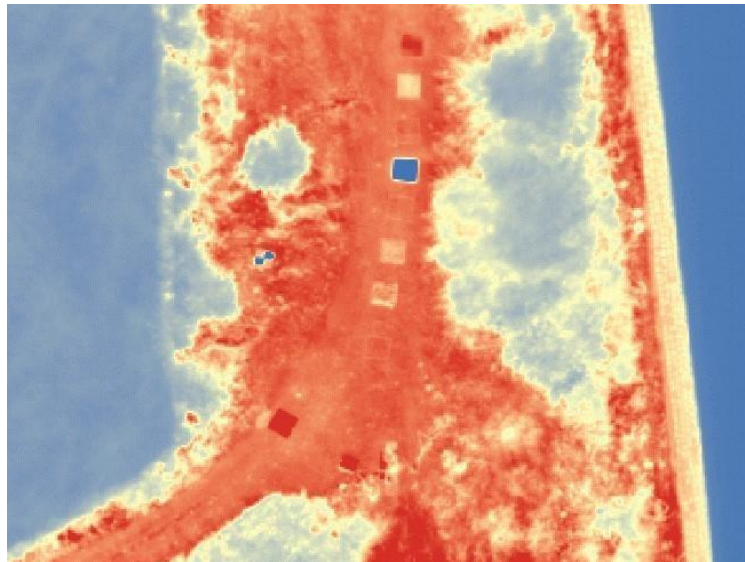


Figura 7. imagen térmica de coberturas tomada con cámara H20T

Posteriormente en gabinete con ayuda del software ArcGIS, se seleccionaron los valores de los pixeles de temperatura en la imagen térmica del VANT, ver Figura 7, siguiendo el orden que se tuvo en campo con el radiómetro, de esta manera para cada cobertura se obtuvo la misma cantidad de datos que permitió realizar una correlación y obtener así las ecuaciones de ajuste. Con ayuda de la herramienta ráster calculator del software ArcGIS, se ingresaron estas ecuaciones para poder obtener la imagen térmica calibrada. Estas imágenes obtenidas representan valores de temperatura corregidas que permitirán realizar el cálculo del CWSI.

3.6.4 Índice de Estrés Hídrico CWSI

Para el cálculo del índice de estrés hídrico se realizó la captura de la imagen térmica y RGB, que mediante la superposición de imágenes se obtiene la temperatura del cultivo.

Se definen los umbrales de temperatura, tanto la seca como la húmeda a las 8:00 am y 13:pm respectivamente, en este caso se ha tomado las temperaturas de la estación tinajones.

Teniendo como insumos tanto la imagen térmica como los umbrales de temperatura definidos, mediante la ecuación 1 en el software ArcGIS haciendo uso de las herramientas arctoolbox se obtiene el mapa de variación del CWSI en el área de estudio.

La caracterización del CWSI se encuentra en el rango de 0 a 1 siendo 0 el indicador de que no existe estrés hídrico y se trata de una planta saludable, en cuanto más se acerque a 1 los valores indicarán el valor de estrés hídrico en el cultivo. Ver Figura 8.

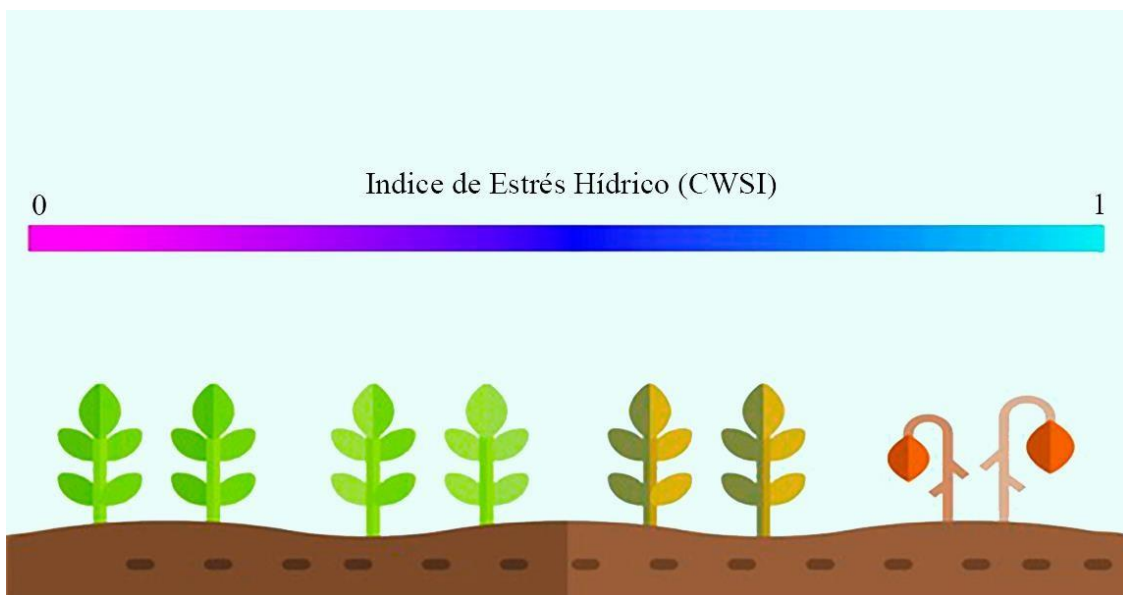


Figura 8. representación de la variación del CWSI en las plantas.

Todo el procedimiento se puede apreciar en la Figura 9 la cual indica la secuencia del procesamiento desde la toma de la imagen térmica hasta el procesamiento de los mapas de variación de conductancia estomática.

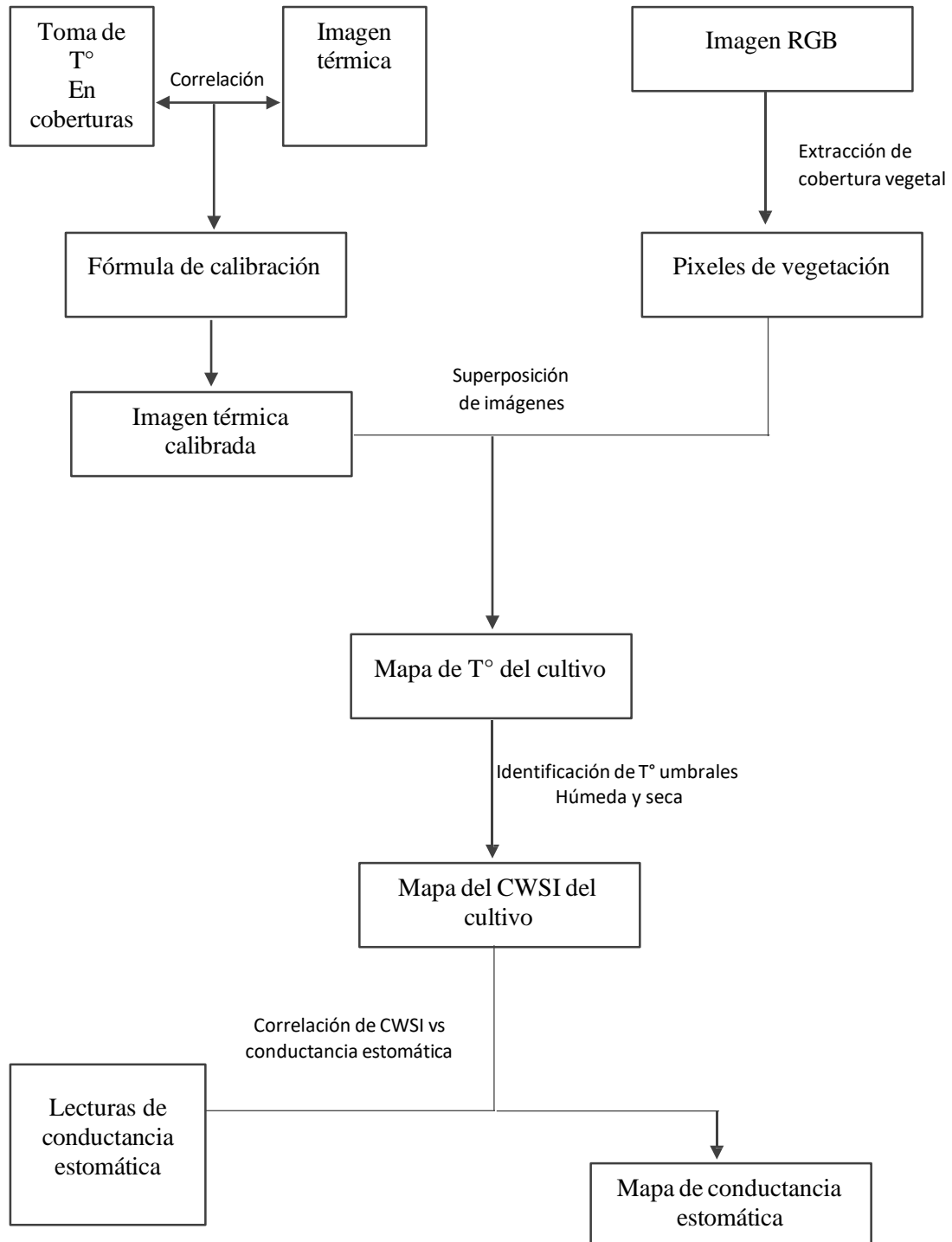


Figura 9. Diagrama de la metodología empleada para estimar el índice de estrés hídrico y la conductancia estomática.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente capítulo se presentará los resultados obtenidos de la investigación en función de cada uno de los objetivos descritos anteriormente en el presente trabajo de investigación.

Presentamos los resultados para las temperaturas foliares a partir del procesamiento de las imágenes térmicas de la cámara H20T, la variación espacial del CWSI y la correlación del índice de estrés hídrico con la conductancia estomática del cultivo obtenida en campo a partir de datos de porómetro y el análisis de la relación entre ambas variables.

4.1. Calibración de imágenes térmicas

En la Figura 11 y Figura 12 se puede apreciar las ecuaciones lineales de calibración, producto de la relación existente entre los valores de temperatura en estado vegetativo de macollamiento y floración de la imagen térmica del VANT y el radiómetro, obteniéndose $R > 0.98$ con $r^2 > 0.9507$ para el estado vegetativo de macollamiento (Figura 11) y $R > 0.99$ con $r^2 > 0.9716$ para el estado vegetativo de floración (Figura 12). Siendo estos valores estadísticamente correctos, permitiendo ingresar las ecuaciones, empleando la herramienta de la calculadora ráster de ArcGIS, para lograr un ajuste en las imágenes térmicas.

El empleo de estas ecuaciones para el ajuste de estas imágenes se ha realizado teniendo en cuenta que la cámara térmica H20T está calibrada a condiciones de laboratorio y siendo esta investigación realizada bajo condiciones de campo abierto se consideró realizar dicha calibración.

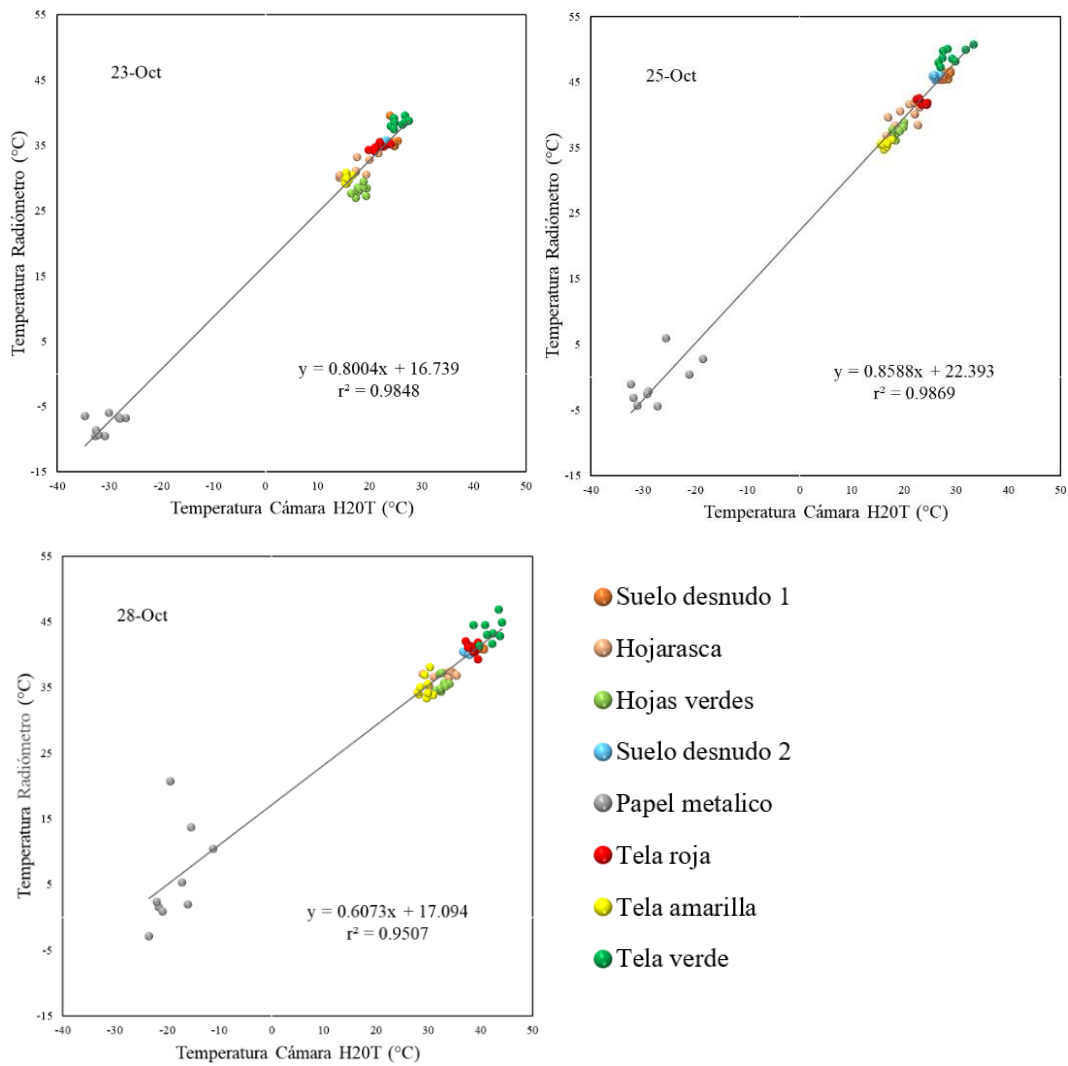


Figura 10. Relación de los valores de temperatura entre las imágenes térmicas de un VANT y el sensor radiométrico, en el estado vegetativo de macollamiento.

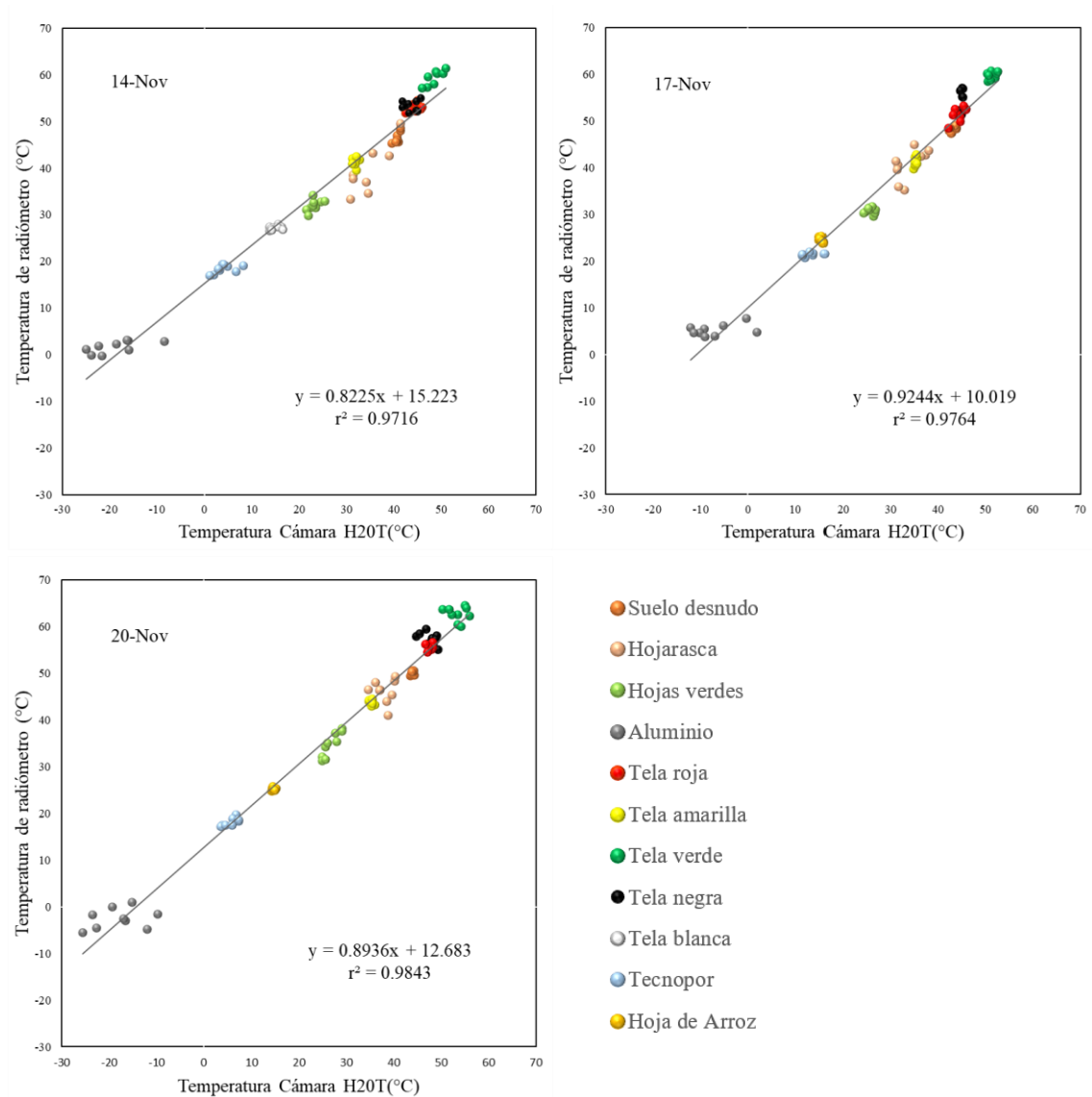


Figura 11. Relación de los valores de temperatura entre las imágenes térmicas de un VANT y el sensor radiométrico, en el estado vegetativo de floración.

4.2. Temperatura foliar obtenida de imágenes térmicas (Cámara H20T)

En la Figura 12 se presenta la variación espacial de la temperatura foliar con valores ($\bar{x} \pm S$) de (22.9 ± 3.7) con valores mínimos y máximos de $(16.2$ a $29.)$ °C, obtenido del procesamiento a partir de las imágenes térmicas tomadas con cámara H20T correspondientes a las fechas de estudio del 23,25,28 de octubre (estado vegetativo de macollamiento) y 14,18,20 de noviembre (estado vegetativo de floración).

Para llegar a decisión de tomar los datos de la cámara H20T se realizó un análisis previo de los resultados de las imágenes térmicas de la cámara FLIR

como la cámara H20T dando mayor precisión y concordancia con la realidad esta última.

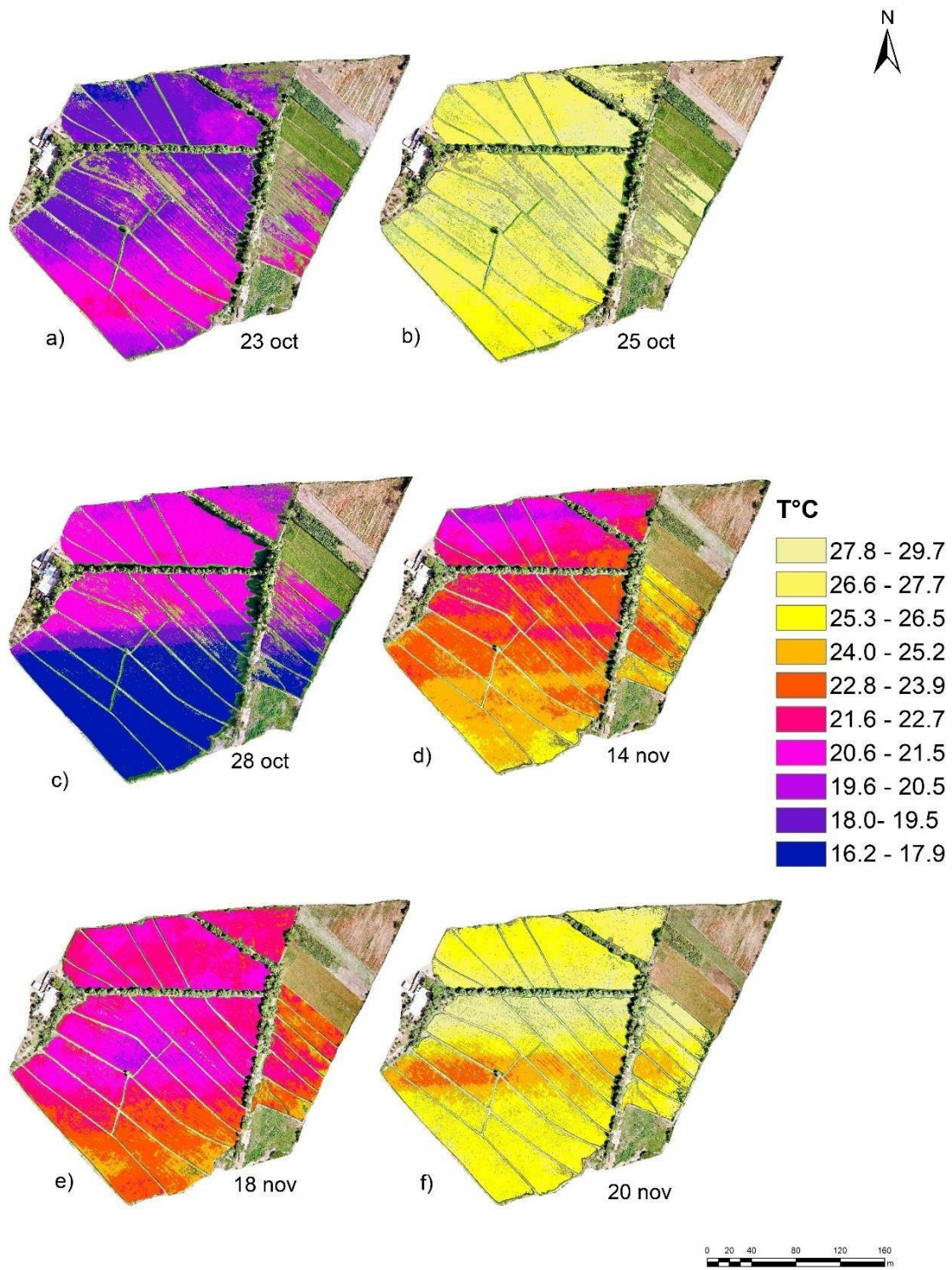


Figura 12. Variación espacial de las temperaturas en cultivo de arroz en fase de macollamiento (a,b,c) y fase de floración (d,e,f) obtenidas de la cámara térmica H20T.

En la Figura 13 se muestra la variación de los valores de temperatura por cada fecha de vuelo realizadas en la investigación, durante las fases de macollamiento y floración. Demostrando que la fecha del 25 de octubre presenta los mayores valores de temperatura.

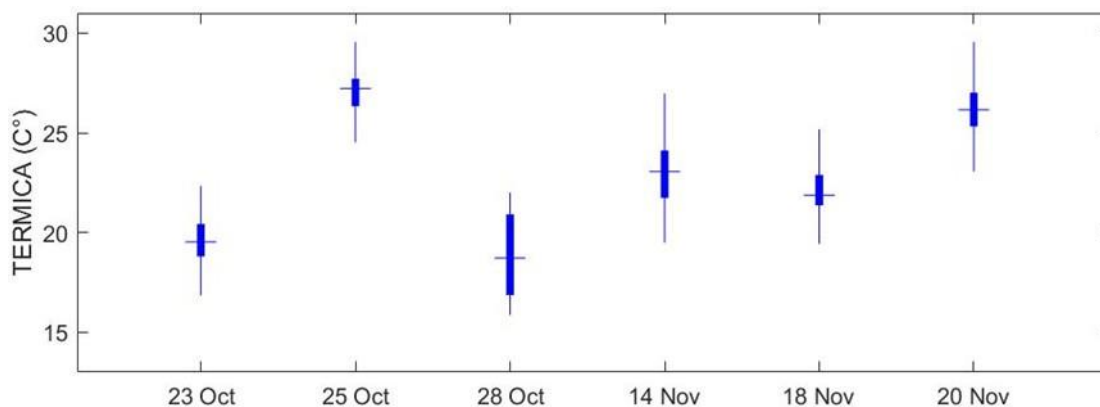


Figura 13.Boxplot de las temperaturas en cultivo de arroz en macollamiento (23,25,28 oct) y floración (14,18,20 nov) con cámara térmica H2OT.

4.2.1. Temperaturas Umbrales

Los valores de temperaturas umbrales fueron tomadas de la estación meteorológica de tinajones entre las 7.00 y 8.00 am para la temperatura húmeda y 1.00 pm para la temperatura seca según Durán et al (2021). En la Tabla 4 se observa las temperaturas umbrales para todas las fechas de vuelo, siendo el 20 de noviembre quien registra el mayor valor de T° seca con una temperatura de 28.8 °c.

Tabla 4.temperaturas umbrales tomadas de la estación meteorológica tinajones para las diferentes fechas de vuelo.

| Día | Fase fenológica | Estado vegetativo | T° húmeda (°c) | T° seca (°c) |
|--------|---------------------------|---------------------------|----------------|--------------|
| 23 oct | vegetativa | macollamiento | 17.8 | 27.3 |
| 25 oct | vegetativa | macollamiento | 18.3 | 27.2 |
| 28 oct | vegetativa | macollamiento | 17.5 | 28.5 |
| 14 nov | Reproductiva y maduración | Floración y grano lechoso | 18.6 | 27.5 |
| 18 nov | Reproductiva y maduración | Floración y grano lechoso | 18.7 | 28.1 |
| 20 nov | Reproductiva y maduración | Floración y grano lechoso | 17.5 | 28.8 |

Según las horas definidas anteriormente, se seleccionó en la data meteorológica las temperaturas correspondientes a los horarios mencionados para los diferentes estados vegetativos de estudio, tomándose como umbrales térmicos ($T^{\circ}\text{seca}$ y $T^{\circ}\text{húmeda}$) para el posterior cálculo del CWSI.

Se realizó una comparación entre la información obtenida con las cámaras térmicas FLIR Y H20T, destacando la H20T que mostraba datos que más se acercaban a la realidad comparando con los datos de campo ver Figura 14 por lo cual se realizó el proceso del CWSI con las imágenes térmicas de dicha cámara.

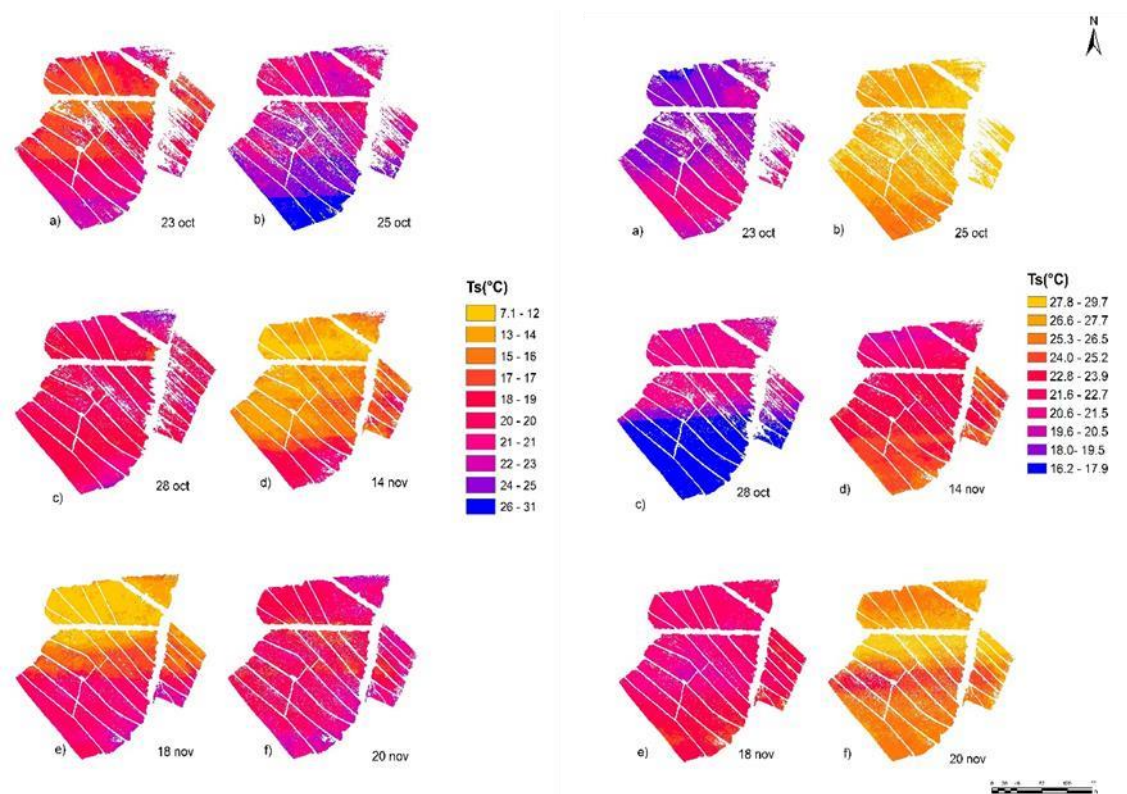


Figura 14. imágenes de temperatura foliar del cultivo de arroz con cámara FLIR en el lado izquierdo y cámara H20T lado derecho.

4.3. Índice de estrés hídrico foliar (CWSI)

En Figura 15 se presenta la variación espacial del índice de estrés hídrico (CWSI) estimado a partir de la temperatura foliar de imágenes térmicas de la cámara H20T y umbrales de temperatura que se tomaron de la estación meteorológica tinajones correspondientes a las 8:00 am para la temperatura húmeda, y a la 1.00 pm para temperatura seca.

Los pixeles de la imagen térmica usadas para el CWSI contienen información de temperatura de la totalidad del área que abarca la imagen incluyendo bordos de las pozas de arroz, sombras de los árboles frutales en dichos bordos y suelo perteneciente a los espacios entre plantas por lo cual para obtener la temperatura perteneciente solo al cultivo de arroz se realizó la metodología de superposición de imágenes propuesta por Wang et al (2010), en el software ArcGIS, Ver Figura 23 (anexo 2)

En cuanto a las temperaturas empleadas para el cálculo del CWSI, estas previamente fueron filtradas en el programa R studio para limpiar los datos outlier, debido a que se realizó un previo análisis comparando las temperaturas de la imagen térmica con la temperatura seca seleccionada de la estación meteorológica, observando que varios valores de la imagen térmica eran mayores, posiblemente porque en los pixeles de cobertura vegetal se han visto inmersos algunos valores de suelo.

Los resultados de CWSI fueron obtenidos a partir de datos recolectados durante 6 fechas de vuelo, los días 23, 25 y 28 de octubre en el estado vegetativo de macollamiento como los días 14, 18 y 20 de noviembre en el estado vegetativo de floración.

Los mapas obtenidos de CWSI nos permiten entender la variación espacial del cultivo de arroz, siendo la fecha del 25 de octubre, en donde se aprecian valores muy altos de estrés, estos valores son en consecuencia que para esta fecha se presentó una interrupción en el riego debido a fallas técnicas en el equipo de bombeo. En la fecha de 20 de noviembre, se logra apreciar zonas con un ligero estrés hídrico debido a que siendo las últimas fechas el cultivo se tornaba algo amarillento porque estaba entrando al estado de madurez.

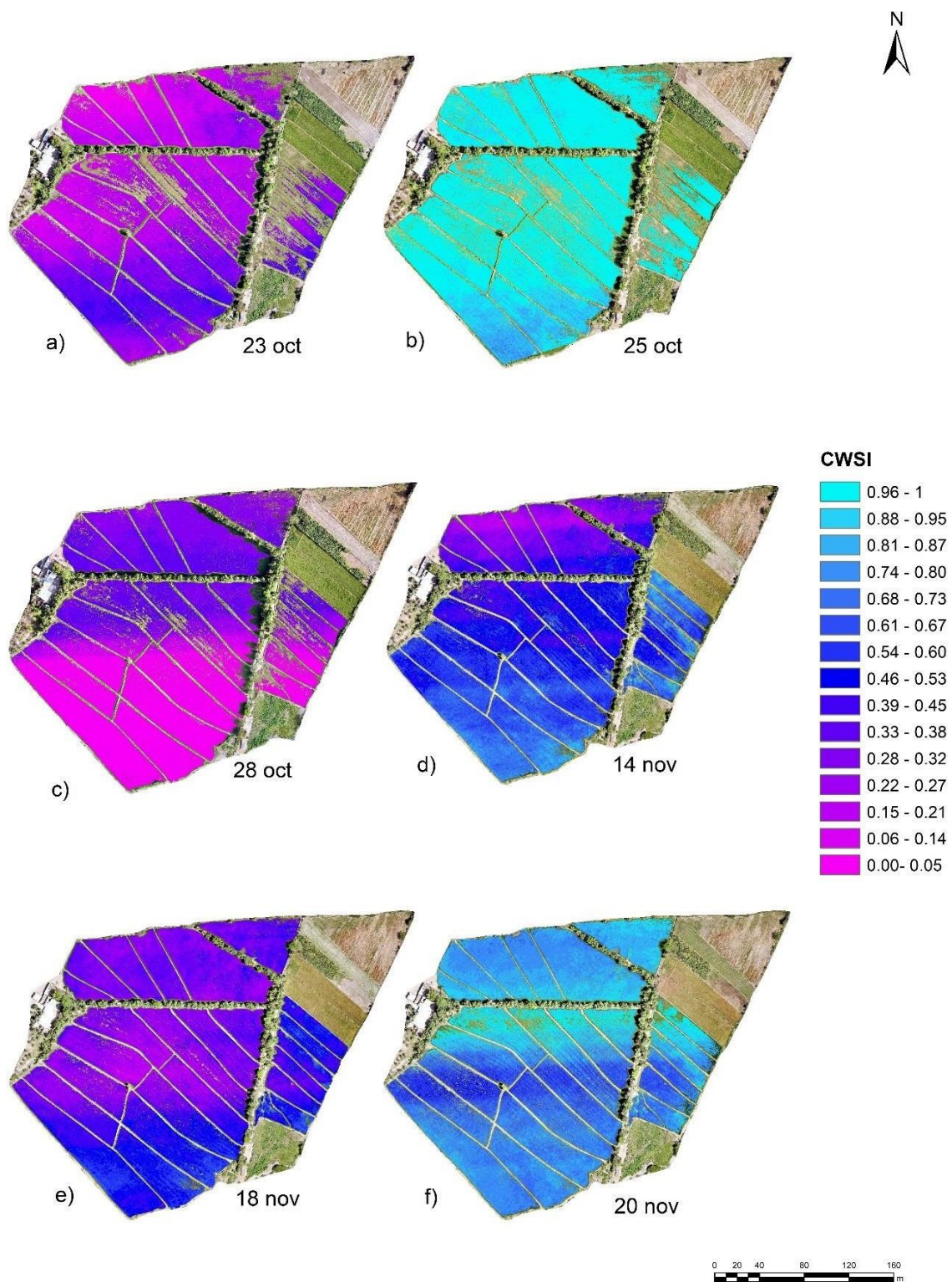


Figura 15. Variación espacial del CWSI en arroz con umbrales térmicos a partir de estación meteorológica, en macollamiento (a, b, c) y floración (d, e, f). Imagen térmica obtenida con cámara H2OT.

En la Figura 16 se presenta el diagrama de los valores de CWSI calculados mostrando la mediana y los valores atípicos para todas las fechas de estudio realizadas en campo.

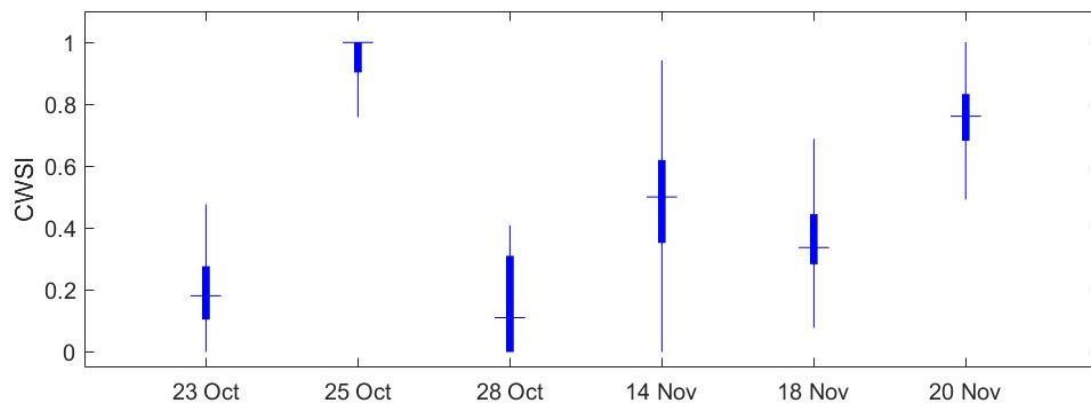


Figura 16. boxplot de la variación del CWSI en cultivo de arroz en macollamiento (23,25,28 oct) y floración (14, 18,20 nov) con cámara térmica H2OT.

Los valores del CWSI van dentro de un rango de 0 a 1 indicando mayor valor de estrés hídrico mientras se aproxima más al 1 que se muestra de color celeste Ver Figura 15.

4.4. Relación del CWSI con la Conductancia Estomática

En la relación de las variables obtenemos valores del coeficiente de determinación $R^2 = 0.3685$ para las fechas 23,25 y 28 de octubre en el estado vegetativo de macollamiento (ver figura 17) y $R^2 = 0.3006$ para el 14,18 y 20 de noviembre en el estado de floración (ver Figura 18).

Estos valores de correlación han sido obtenidos tomando en cuenta que el riego empleado ha sido por inundación, a diferencia de Xu et al., (2016), que realizó el estudio dónde calculó el CWSI del arroz en condiciones de déficit hídrico encontrando un $R^2 = 0.82$, 0.60 y 0.61 para los estados vegetativos de macollamiento, primordio floral y llenado de grano respectivamente.

Con las ecuaciones de correlación se elaboró los mapas de la variación espacial de conductancia estomática (ver Figura 19), los cuales presentan valores ($\bar{x} \pm S$) de $(685.99 \pm 213.50 \text{ mmol/m}^2\text{s})$, así como valores mínimos y máximos de (56 y 996 mmol/m²s) siendo el de menor valor correspondiente a la fecha del 20 de Noviembre, debido a que presentaba mayores valores de CWSI,

de acuerdo a lo observado en la Figura 18, donde se aprecia una correlación negativa en ambas variables.

En la Tabla 5 se presentan las ecuaciones resultantes de la correlación entre el CWSI y la variable fisiológica de conductancia estomática para todas las fechas de estudio.

Tabla 5. Ecuaciones de correlación del CWSI con la conductancia estomática para los estados vegetativos de macollamiento y floración.

| Estado Vegetativo | Fechas | Ecuación | R² |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------|
| Macollamiento | 23, 25 y 28 de Octubre | $y = -1261.2x^2 - 398.4x + 996.01$ | 0.368 |
| Floración | 14, 18 y 20 de Noviembre | $y = -715.39x^2 - 124.45x + 896.61$ | 0.301 |

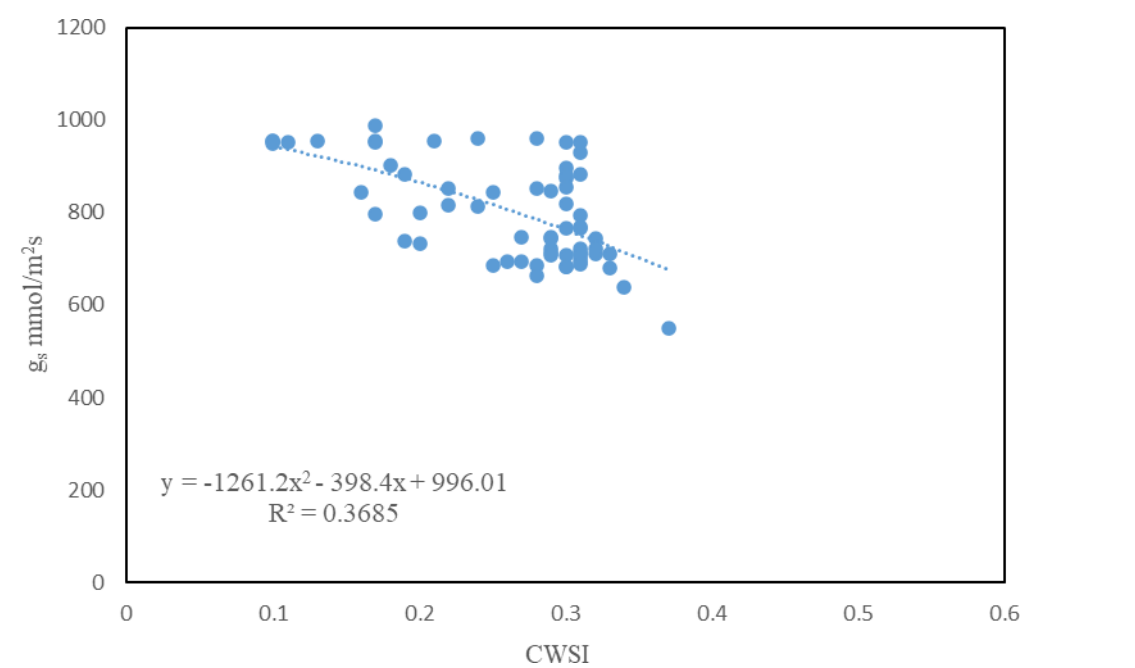


figura 17. Correlación de la conductancia estomática (gs) vs CWSI en el estado de macollamiento del cultivo de arroz

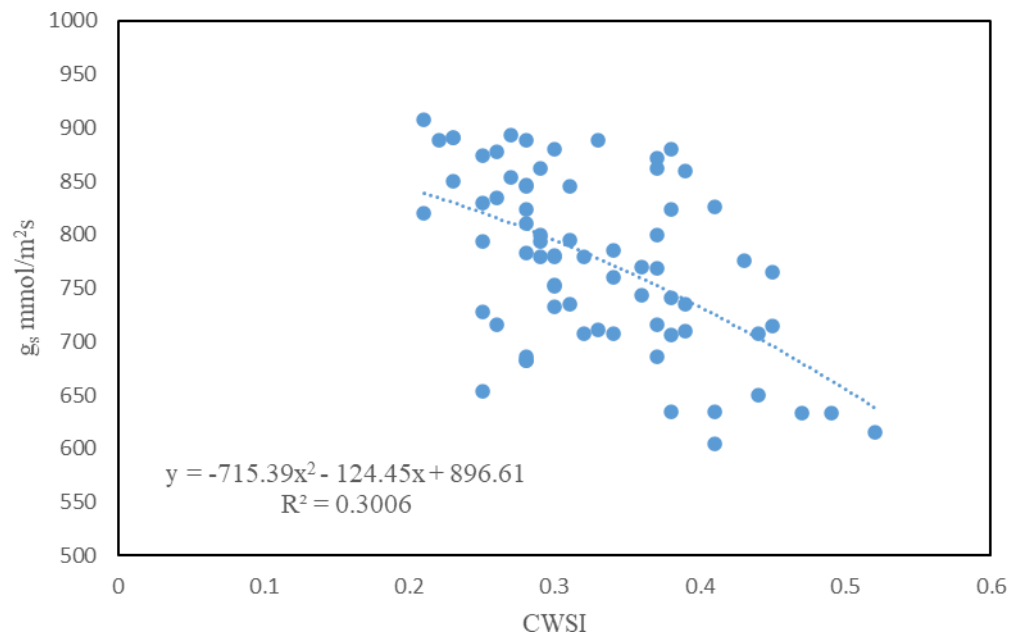


Figura 18. Correlación de la conductancia estomática (g_s) vs CWSI en el estado de floración del cultivo de arroz.

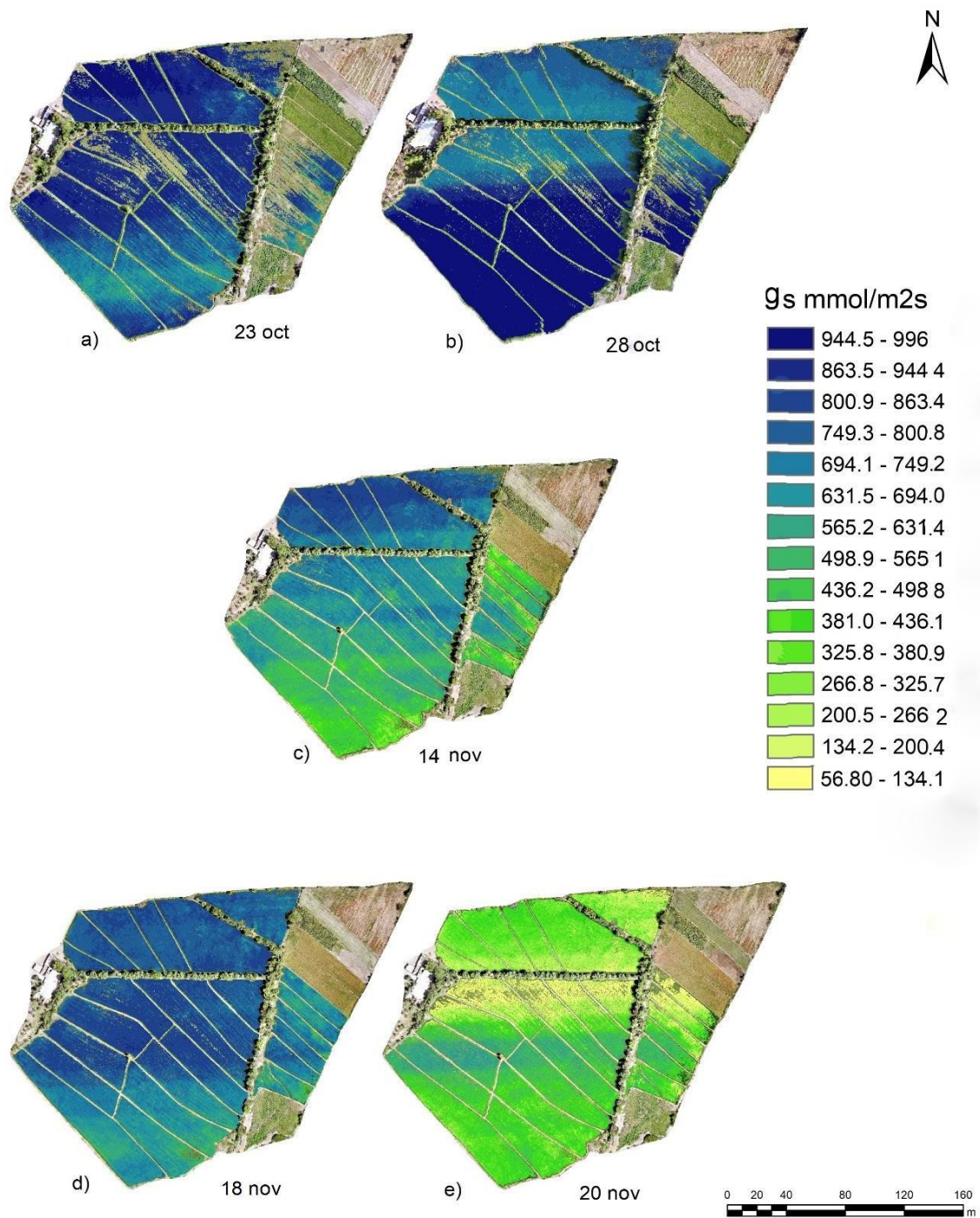


Figura 19. variación de la conductancia estomática en macollamiento (a, b) y floración (c, d, e).

CAPITULO V. CONCLUSIONES

1. La relación del CWSI y la conductancia estomática en el cultivo de arroz presentó una ecuación $y = -1261.2x^2 - 398.4x + 996.01$ con un coeficiente de determinación de 0.368 en estado vegetativo de macollamiento y una ecuación $y = -715.39x^2 - 124.45x + 896.01$ con un coeficiente de determinación de 0.301 en el estado vegetativo de floración.
2. Se obtuvo los valores de temperaturas umbrales, la temperatura húmeda variando entre 17.5 °C y 18.7 °C, la temperatura seca con variación de 27.3 °C a 28.8 °C.
3. Se estimó la variación del índice de estrés hídrico en el cultivo de arroz para 6 fechas de vuelo: 23, 25 y 28 de octubre en el estado vegetativo de macollamiento y 14, 18 y 20 de noviembre en el estado vegetativo de floración, teniendo una variación de CWSI de 0 a 1 de los cuales los valores más altos se presentan en la fecha 25 de octubre.

CAPITULO VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar los cambios de batería de manera paulatina y sin apagado de VANT.
2. Tomar en cuenta las temperaturas medidas con el porómetro para la determinación de los umbrales térmicos.
3. Aplicar un algoritmo para el filtrado de la información afectada por las sombras de los árboles.
4. Realizar los estudios durante las fases vegetativas donde la cobertura vegetal logre cubrir la mayor parte de la superficie.
5. Tener en cuenta que el número de muestras sea proporcional al área de estudio para mayor representatividad de los resultados.

CAPITULO VII: REFERENCIAS BIBLOGRAFICA

- Acevedo, M. A., Castrillo, W. A., & Belmonte, U. C. (2006). Origen, evolución y diversidad del arroz. *Agronomía Tropical*, 56(2), 151-170.
- Berni, J. A. J., Zarco-Tejada, P. J., Sepulcre-Cantó, G., Fereres, E., & Villalobos, F. (2009). Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, 113(11), 2380-2388. doi: 10.1016/j.rse.2009.06.018
- Bohnert, H. y Jensen, R. (1996). Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. *Trends in Biotechnology*, 14(3), 89-97.
- Durán, F. (2017). *Sistemas de riego*. Grupo Latino Editores S.A.S.
- Durán, M. R., Ramos, L., Altamirano, L., & Arapa, J. (2021). Imagen térmica y sensores de termopares para estimar el índice de estrés hídrico del cultivo de arroz bajo riego por goteo. *Idesia (Arica)*, 39(1), 109-118. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292021000100109>
- Duran, M.R., Ramos, L., Altamirano, L. y Arapa, J. (2018). Imagen térmica y sensores de termopares para estimar el índice de estrés hídrico del cultivo de arroz bajo riego por goteo.
- EN B. (1999). 13187: 1999. Thermal Performance of Buildings-Qualitative Detection of Thermal Irregularities in Building Envelopes-Infrared Method, BSI.
- Forsythe, W. (1975). *Manual de Laboratorio de Física de Suelos*. IICA serie Libros y Materiales Educativos N°25. <http://repositorio.iica.int/handle/11324/7841>
- Franquet, J.M., y Borrás, C. (2004). *Variedades y mejora del arroz (oryza sativa.)*. universidad de Cataluña y asociación de ingenieros agrónomos de Cataluña.
- García, A., Dorado, M., Pérez, I. y Montilla, E. (2010). Efecto del déficit hídrico sobre la distribución de fotoasimilados en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.). *Interciencia*, 35(1), 47-54.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2020). *Guía Técnica: Manejo del cultivo de arroz bajo el sistema de riego con secas intermitentes en las regiones de Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad*.

- Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. (2006). Vine and soil-based measures of water status in a Tempranillo vineyard. *Vitis: Journal of Grapevine Research*, 45(4), 157-163.
- Jones, H.G. (2014). *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. 3 Ed. Cambridge University Press., UK. 428 p.
- López, R., Arteaga, R., Vázquez, M., López, I. y Sánchez, I. (2009). Índice de estrés hídrico como un indicador del momento de riego en cultivos agrícolas. *Agricultura técnica en México*, 35(1), 97-111.
- Luna, W., Estrada, H., Jiménez, J., y Pinzón, L. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 343-353.
- Méndez, A., Vélez, J. Scaramuzza, F. y Villarroel, D. (2014). Los drones como herramienta para el monitoreo de cultivos. *Revista de la bolsa de comercio de rosario*, (pp. 58-73).
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2020). Plan Nacional de Cultivos, Campaña Agrícola 2019-2020.
- Moreira, D. (2015). Sistematización de buenas prácticas de adaptación del sector agropecuario ante el cambio climático. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). <http://repositorio.iica.int/handle/11324/3046>
- Nawaz, A. y Farooq, M. (2017). Rice Physiology. *Rice Production Worldwide*, 455-485. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5_17
- Pask, A.J.D., Pietragalla, J., Mullan, D.M., Chávez P.N. y Reynolds, M.P. (Eds.) (2013). *Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo*. México, D.F.: CIMMYT.
- Perez, H.S. (2020). Estimación del estrés hídrico del cultivo de arroz a partir de imágenes térmicas de un VANT en Ferreñafe, Lambayeque. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Quintana, R. (2014). Técnicas avanzadas de análisis para los cultivos a tiempo real. En E. Chartuni Mantovani y C. Magdalena (Eds.), *Manual*

- de Agricultura de Precisión (pp. 58-73). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Ruiz, M., Muños, Y., Dell'Ámico, J., Cabrera, J., Aroca, R., y Ruiz, J. (2017). Respuesta de la planta de arroz (*Oryza sativa* L.) a la suspensión de la lámina de agua en tres momentos de su desarrollo. Parte I. Cultivos Tropicales, 38(2), 61-69.
- Sánchez, M, y Carvacho, L. (2013). Aproximación a la determinación del déficit hídrico en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile, a partir de imágenes MODIS y datos meteorológicos. Revista de geografía Norte Grande, (55), 109-124.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022013000200008>
- Sánchez-Díaz, M. y Aguirreolea, J. (2008). Capítulo 3: Transpiración y control estomático. En: J. Azcon-Bieto, y M. Talón (ed.). Fundamentos de fisiología vegetal. (pp. 41-56). McGraw Hill/ Interamericana de España, Barcelona.
- Sanglier, G., Gómez, J.,Gutiérrez,O.,Jiménez M.(2001).Aplicación de sensores y de cámaras térmicas.Teledetección,Medio Ambiente y Cambio global,pag 581-pag 584.
- Sezen, S.M., A. Yazar, H.Y. Dasgan, S. Yucel, A. Akyldiz, S. Tekin, et al. 2014. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regime. Agric. Water Manage. 143:59-70.
- Vega, E.C., & Mejía, J. A. (2017). Desempeño del *Phaseolus vulgaris* bajo riego parcial cultivado en un sistema de respuesta hidrogravitrópica. Scientia Agropecuaria, 8(2), 137-147.
<https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.06>
- Wang, X; Yang, W; Wheaton, A; Cooley, N; Moran, B. 2010. Automated canopy temperature estimation via infrared thermography: A first step towards automated plant water stress monitoring. Computers and Electronics in Agriculture. 73(1). 74-83.
- Xu, J., Lv, Y., Liu, X., Dalson, T., Yang, S. & Wu, J. (2016). Diagnosing Crop Water Stress of Rice using Infra-red Thermal Imager under Water Deficit Condition. 15-294/2016/18-3-565-572.

CAPITULO VIII: ANEXOS

ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO

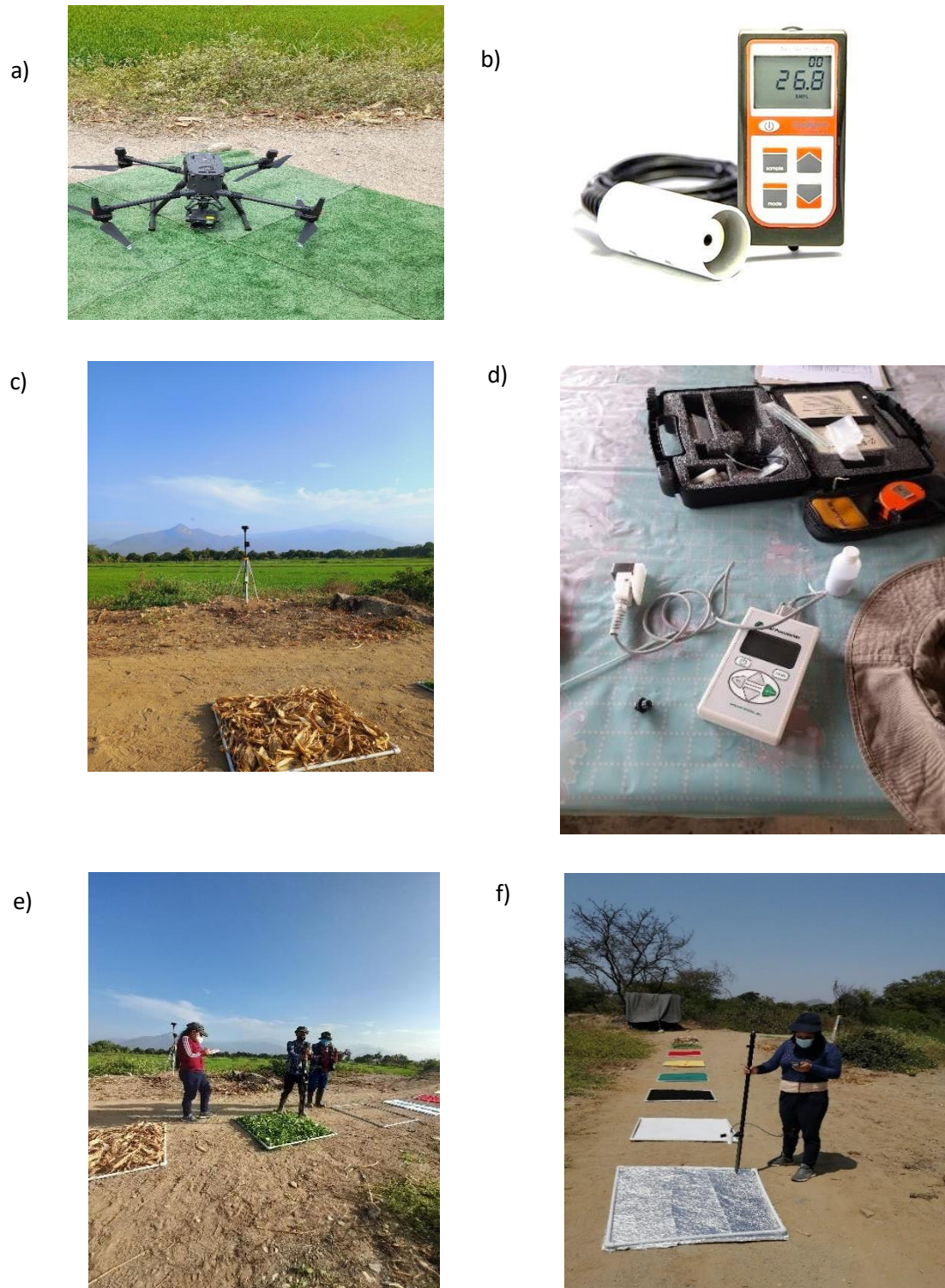


Figura 20 Equipos empleados en la investigación: a) Matrice 300, b) Radiómetro, c) RTK, d) porómetro, e) y f) toma de temperaturas en coberturas.

a)



b)



c)



d)



e)

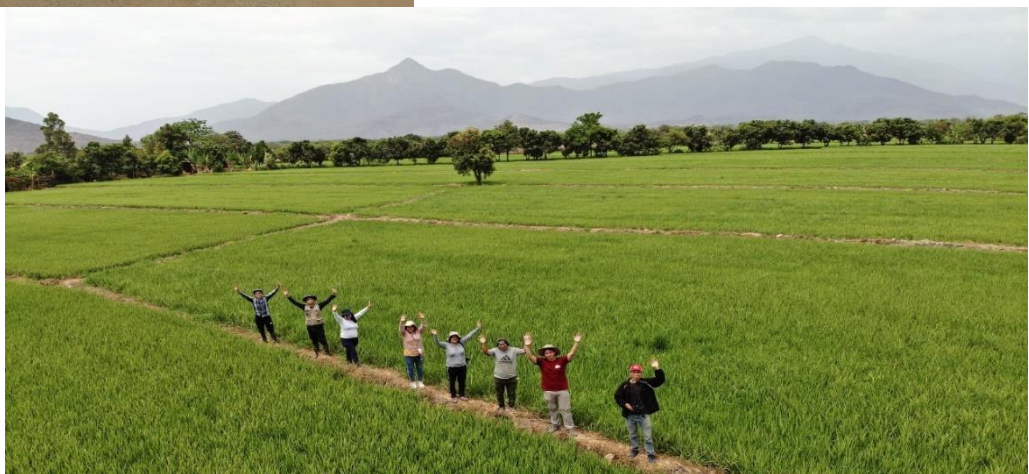


Figura 21. a) Colocación de las boyas, b) lectura de radiómetro en el arroz, c) lecturas de radiómetro en las coberturas, d) lectura de conductancia con porómetro, e) foto grupal de investigadores.

a)



b)



c)



d)



e)



Figura 22.a) Preparación de coberturas; b,c) instalación de las coberturas en campo); d) punto de control
e) Grupo de investigadores del proyecto Ricemoon.

ANEXO 2: PÍXELES DE CULTIVO DE ARROZ POR SUPERPOSICIÓN DE IMÁGENES

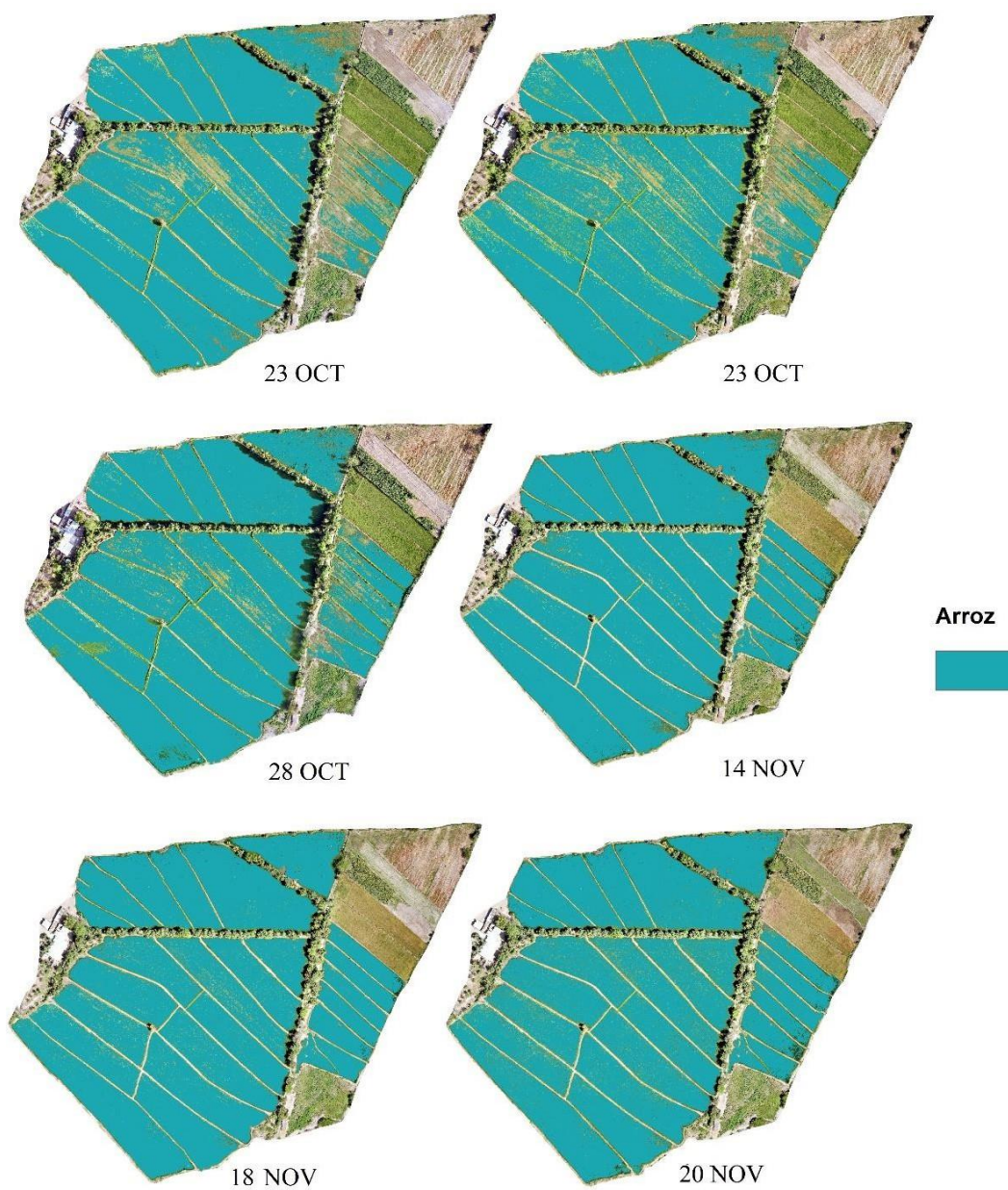


Figura 23. Extracción de la cobertura vegetal de arroz para las diferentes fechas de vuelo.

ANEXO 3: VARIACION ESPACIAL DEL CWSI SEGÚN CÁMARA TÉRMICA FLIR Y H20T

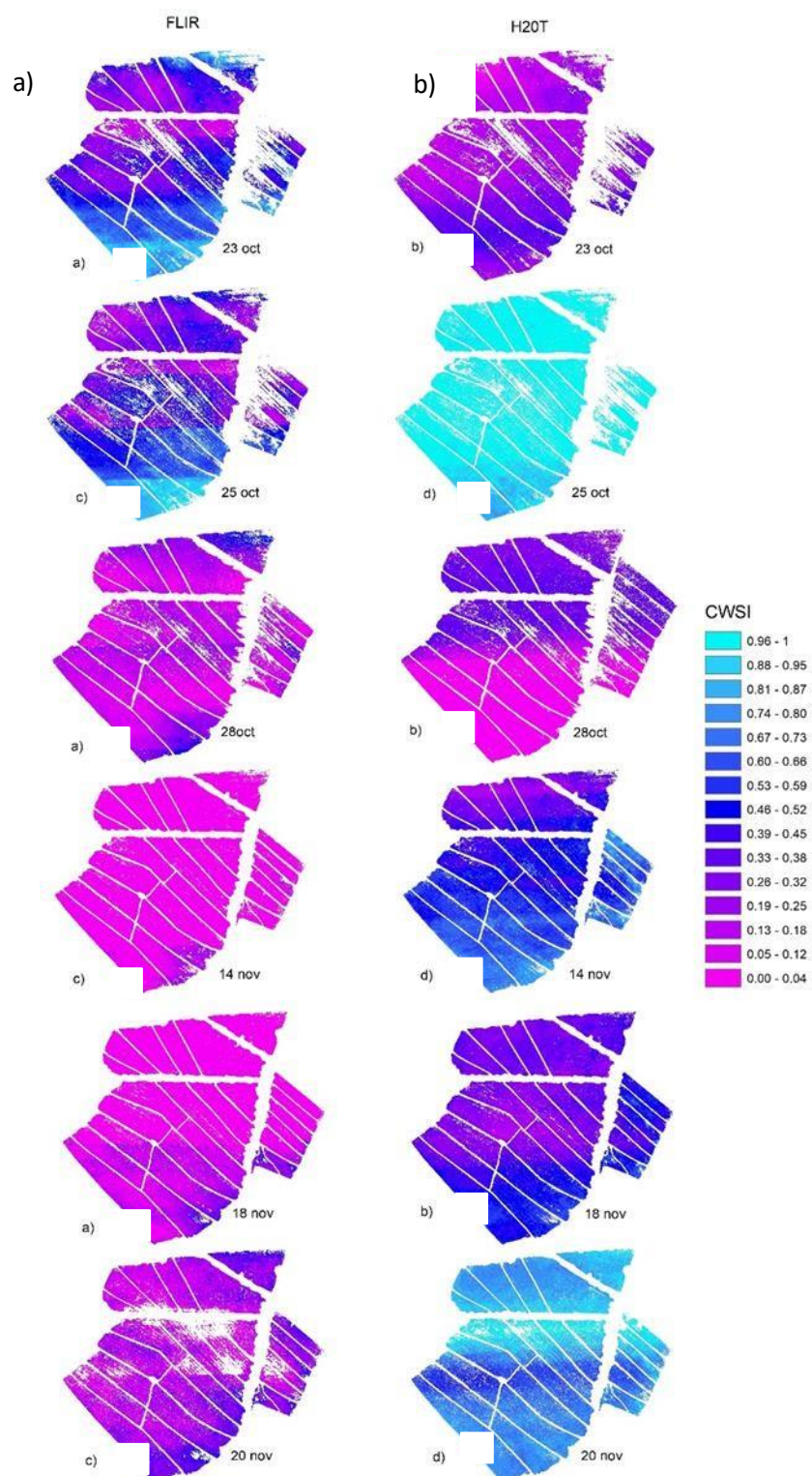
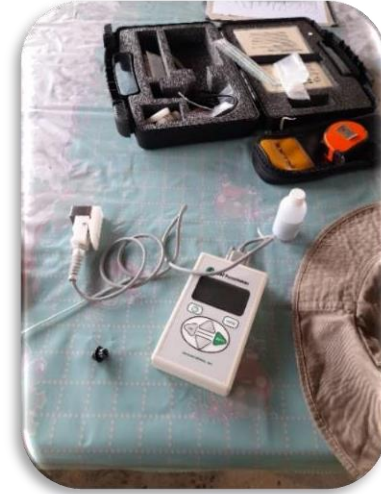


Figura 24. variación del CWSI con datos de cámara FLIR lado izquierdo y H20T lado derecho.

ANEXO 4: DIAGRAMA SECUENCIAL DE LAS MEDIDAS DE CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA



Revisión del equipo: porómetro y sus materiales de calibración



Calibración del equipo: porómetro insitu



Lecturas en los nueve puntos de muestreo



Ubicación de las 4 lecturas de conductancia estomática

ANEXO 5: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA IMAGEN RGB Y TÉRMICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

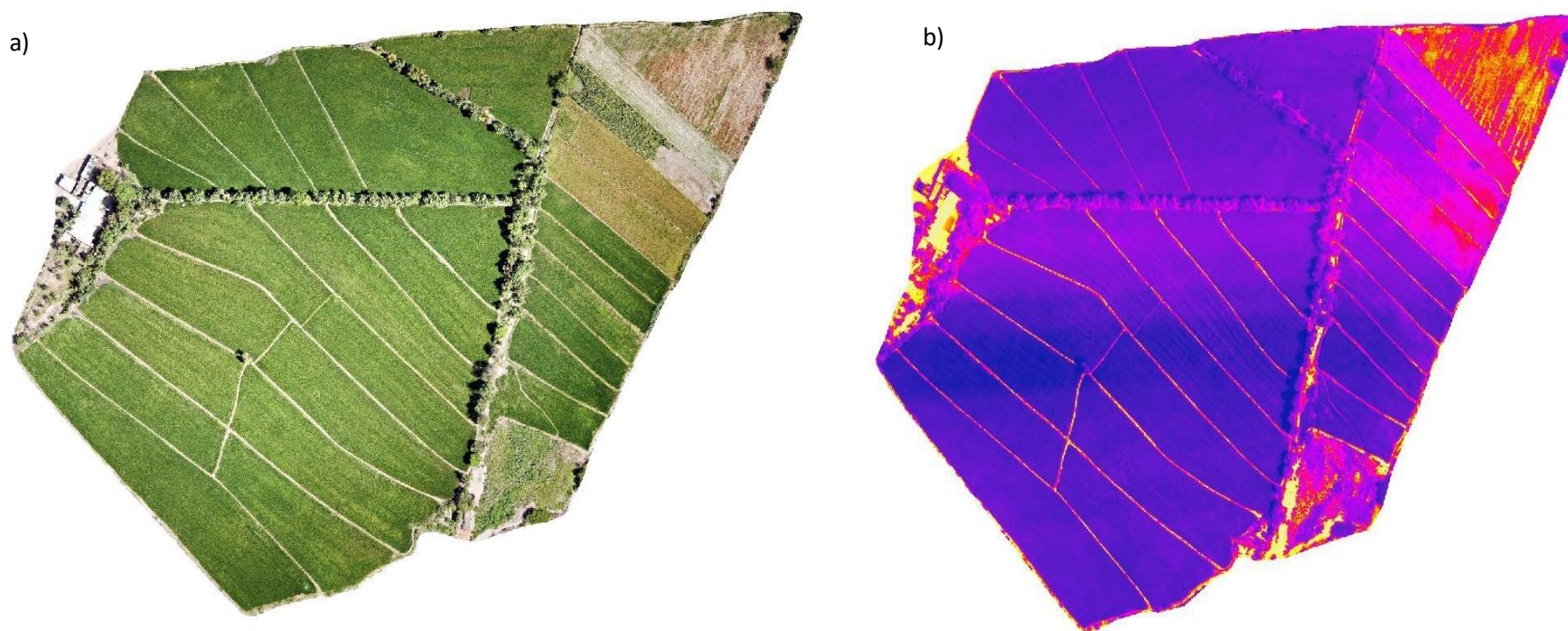


Figura 25. Imágenes recolectadas por el VANT: (a) RGB y (b) Térmica

ANEXO 6: CUADRO DE DATOS PARA LA CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES

| Octubre | | Noviembre | |
|---------|--------|-----------|--------|
| cwsi | gs | cwsi | gs |
| 0.25 | 843.00 | 0.44 | 707.91 |
| 0.21 | 954.70 | 0.41 | 825.97 |
| 0.28 | 960.00 | 0.49 | 633.60 |
| 0.24 | 960.00 | 0.45 | 765.07 |
| 0.22 | 814.98 | 0.25 | 654.30 |
| 0.19 | 739.03 | 0.37 | 716.00 |
| 0.29 | 744.83 | 0.41 | 605.00 |
| 0.18 | 902.00 | 0.28 | 686.50 |
| 0.17 | 954.70 | 0.26 | 716.10 |
| 0.20 | 800.24 | 0.23 | 891.00 |
| 0.24 | 814.69 | 0.30 | 752.70 |
| 0.17 | 951.00 | 0.26 | 877.80 |
| 0.30 | 681.69 | 0.23 | 891.00 |
| 0.32 | 744.85 | 0.25 | 728.32 |
| 0.37 | 550.00 | 0.29 | 779.35 |
| 0.29 | 707.95 | 0.28 | 682.20 |
| 0.29 | 722.52 | 0.33 | 888.60 |
| 0.19 | 882.00 | 0.34 | 707.90 |
| 0.20 | 733.86 | 0.37 | 862.00 |
| 0.22 | 852.00 | 0.38 | 880.10 |
| 0.10 | 954.70 | 0.28 | 888.60 |
| 0.10 | 953.80 | 0.32 | 707.90 |
| 0.11 | 952.50 | 0.29 | 862.00 |
| 0.10 | 950.00 | 0.30 | 880.10 |
| 0.17 | 989.00 | 0.21 | 820.00 |
| 0.16 | 843.30 | 0.21 | 907.50 |
| 0.13 | 954.60 | 0.27 | 892.70 |
| 0.17 | 797.60 | 0.25 | 793.50 |
| 0.31 | 766.90 | 0.26 | 834.30 |
| 0.31 | 795.30 | 0.25 | 874.10 |
| 0.33 | 681.00 | 0.22 | 888.00 |
| 0.32 | 710.20 | 0.28 | 810.10 |
| 0.27 | 693.56 | 0.39 | 859.70 |
| 0.25 | 685.24 | 0.43 | 776.00 |
| 0.26 | 693.59 | 0.38 | 824.40 |
| 0.28 | 686.38 | 0.37 | 768.40 |

| Octubre | | Noviembre | |
|---------|--------|-----------|--------|
| cwsi | gs | cwsi | gs |
| 0.29 | 847.60 | 0.47 | 633.00 |
| 0.28 | 852.10 | 0.52 | 615.00 |
| 0.30 | 819.70 | 0.44 | 650.00 |
| 0.29 | 747.80 | 0.45 | 715.20 |
| 0.28 | 662.36 | 0.38 | 634.40 |
| 0.30 | 766.84 | 0.39 | 710.30 |
| 0.27 | 748.20 | 0.38 | 741.10 |
| 0.29 | 713.43 | 0.39 | 735.30 |
| 0.33 | 711.65 | 0.27 | 854.00 |
| 0.34 | 640.00 | 0.41 | 635.00 |
| 0.31 | 721.09 | 0.30 | 779.00 |
| 0.32 | 723.24 | 0.28 | 682.20 |
| 0.31 | 710.00 | 0.31 | 845.53 |
| - | - | 0.38 | 707.00 |
| - | - | 0.33 | 711.13 |
| - | - | 0.32 | 780.00 |
| - | - | 0.23 | 850.00 |
| - | - | 0.34 | 760.00 |
| - | - | 0.30 | 752.30 |
| - | - | 0.31 | 795.00 |
| - | - | 0.37 | 800.00 |
| - | - | 0.34 | 785.20 |
| - | - | 0.37 | 872.10 |
| - | - | 0.36 | 770.50 |
| - | - | 0.29 | 794.00 |
| - | - | 0.28 | 783.38 |
| - | - | 0.37 | 686.53 |
| - | - | 0.36 | 742.99 |
| - | - | 0.28 | 845.00 |
| - | - | 0.30 | 780.30 |
| - | - | 0.31 | 735.40 |
| - | - | 0.28 | 824.00 |
| - | - | 0.28 | 846.20 |
| - | - | 0.25 | 830.00 |
| - | - | 0.30 | 733.00 |
| - | - | 0.29 | 799.30 |



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
UNIDAD DE INVESTIGACION



ACTA DE SUSTENTACIÓN PRESENCIAL N°011-2024-UINV-FIA

Siendo las 11:00 am. del día martes 18 de Junio de 2024, en el auditorio de la facultad de ingeniería agrícola, se reunieron los Miembros del Jurado designado mediante Resolución N°119-2022-FIA-VIRTUAL, conformado por:

ING. DR. WILFREDO DIAZ CORDOVA
ING. DR. ENOCH ABRAHAM MONTES BANCES
ING. M.SC. JANNIER AVELINO SANCHEZ AYEN

Presidente
Secretario
Vocal



Para llevar a cabo la sustentación de tesis citados mediante Resolución N°271-2024-FIA; y aprobación del proyecto de tesis mediante resolución N°226-2022-FIA-VIRTUAL, de fecha 20 de Julio del 2022 cuyo título se denomina **"ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO ESTIMADO CON INFORMACIÓN DE UN VANT Y CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA DEL CULTIVO DE ARROZ EN EL DISTRITO DE CHONGOYAPE, LAMBAYEQUE"** presentado por el bachiller **ROSA NELIDA ZAMORA ACUÑA** y patrocinado por **ING. DR. SEGUNDO AVELINO SANCHEZ CUSMA**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola.

Luego de culminada la sustentación, el Jurado procedió a realizar las preguntas a la sustentante las cuales fueron absueltas, también se hicieron algunas sugerencias a la sustentante para que sean tomadas en consideración.

El jurado luego de evaluar las rubricas decidió **APROBAR** la tesis con el calificativo de **MUY BUENO** correspondiente a la nota de **18 (DIECIOCHO)**.

En consecuencia, la referido Bachiller queda apto para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, de acuerdo a la Ley universitaria 30220, el Estatuto y Reglamento de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 12:10 pm. horas del mismo día, se dio por finalizado el acto de sustentación y se procedió a firmar la presente acta los que en ella han intervenido.

ING.DR. WILFREDO DIAZ CORDOVA
Presidente de Jurado

ING. DR. ENOCH ABRAHAM MONTES BANCES
Secretario de Jurado

ING. M.SC. JANNIER AVELINO SANCHEZ AYEN
Vocal del jurado

ING. DR. SEGUNDO AVELINO SANCHEZ CUSMA
Patrocinador



ANEXO 01

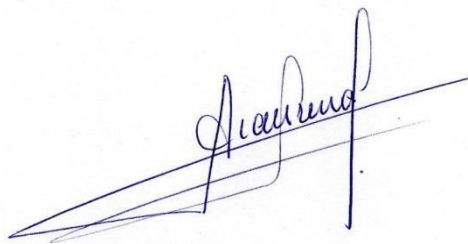
CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Segundo Avelino Sánchez Cusma, Asesor de tesis, de la estudiante, **Bachiller ROSA NELIDA ZAMORA ACUÑA,**

Titulada: “**ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO ESTIMADO CON INFORMACIÓN DE UN VANT Y CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA DEL CULTIVO DE ARROZ EN EL DISTRITO DE CHONGOYAPE, LAMBAYEQUE**”; luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un **índice de similitud de 18 %** verificable en el reporte de similitud del programa Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Lambayeque, 28 de Agosto de 2023



Ing. Dr. SEGUNDO A. SANCHEZ CUSMA
ASESOR

Se adjunta:
Resumen del Reporte (Con porcentaje y parámetros de configuración)
Recibo digital

Índice de estrés hídrico estimado con información de un VANT y conductancia estomática del cultivo de arroz en el distrito de Chongoyape, Lambayeque

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

8%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

4%

3

doczz.es

Fuente de Internet

1%

4

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

1%

5

Submitted to Universidad de Costa Rica

Trabajo del estudiante

1%

6

livrosdeamor.com.br

Fuente de Internet

<1%

7

repositorio.uap.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

8

repositorio.chapingo.edu.mx

Fuente de Internet

<1%



| | | |
|----|--|-------|
| 9 | www.revistas.unitru.edu.pe Fuente de Internet | < 1 % |
| 10 | repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet | < 1 % |
| 11 | aphorticultura.pt Fuente de Internet | < 1 % |
| 12 | www.scielo.cl Fuente de Internet | < 1 % |
| 13 | www.coursehero.com Fuente de Internet | < 1 % |
| 14 | repositorio.umsa.bo Fuente de Internet | < 1 % |
| 15 | docplayer.es Fuente de Internet | < 1 % |
| 16 | repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet | < 1 % |
| 17 | repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet | < 1 % |
| 18 | Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante | < 1 % |
| 19 | orcid.org Fuente de Internet | < 1 % |
| 20 | dina.concytec.gob.pe Fuente de Internet | < 1 % |

Activo

Handwritten signature




Recibo digital


Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Rosa Nelida Zamora Acuña
Título del ejercicio: TESIS
Título de la entrega: Índice de estrés hídrico estimado con información de un V...
Nombre del archivo: UNIVERSIDAD_NACIONAL_PEDRO_RUIZ_GALLO_ULTIMO.docx
Tamaño del archivo: 17.74M
Total páginas: 62
Total de palabras: 9,740
Total de caracteres: 51,996
Fecha de entrega: 28-ago.-2023 04:18p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 2153009208



UNIVERSIDAD NACIONAL
"PEDRO RUIZ GALLO"
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

"Índice de estrés hídrico estimado con información de un VANT y conductancia estomática del cultivo de arroz en el distrito de Chongoyape, Lambayeque"

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGRÍCOLA

Autor:
Bach. Rosa Nelida Zamora Acuña

Asesor:
Dr. Segundo Avelino Sánchez Cusma

Co-asesora
Dra. Lía Ramos Fernández

Lambayeque – Perú
2022