

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN Y COEFICIENTE  
DEL CULTIVO PARA ARROZ MEDIANTE TELEDETECCIÓN EN LA  
ESTACIÓN EXPERIMENTAL VISTA FLORIDA, CHICLAYO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**JUAN ALFREDO LEZMA JARA**

**LIMA – PERÚ**

**2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE VEGETACIÓN Y  
COEFICIENTE DEL CULTIVO PARA ARROZ MEDIANTE  
TELEDETECCIÓN EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL VISTA  
FLORIDA, CHICLAYO”**

Presentado por:

**JUAN ALFREDO LEZMA JARA**

Tesis para Optar el Título Profesional de:

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

---

Mg. Sc. Cayo Leonidas Ramos Taipe  
PRESIDENTE

---

Dr. C. Percy Ernesto Zorogastua Cruz  
MIEMBRO

---

Ing. Antonio Celestino Enciso Gutiérrez  
MIEMBRO

---

Dra. Lía Ramos Fernández  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

*A Dios, a mis padres (Juan y María) y hermanos por el amor y apoyo incondicional y forjarme con valores y respeto, y a mi compañera de vida (Milagros) que me dio el aliento y soporte para seguir adelante.*

*A los profesores que me inculcaron lo mas esencial en esta hermosa carrera y a mi asesor de tesis, por tener la paciencia y sabiduría para guiarme durante este proceso.*

*Gracias.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al proyecto “Uso de sensores remotos para determinar índice de estrés hídrico en el mejoramiento del manejo de riego de arroz (*Oryza sativa*) en zonas áridas, para enfrentar al cambio climático”. Convenio N° 008-2016-INIA-PNIA/UPMSI/IE.

A mi asesora Dra. Lía Ramos Fernandez, por el apoyo permanente en la realización de la presente investigación, y al grupo de investigación DANI “Teledetección y cambio climático aplicado a los recursos hídricos y la agricultura” por el continuo aprendizaje y desarrollo en el uso de nuevas tecnologías.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS.....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1. PERCEPCIÓN REMOTA.....	4
2.1.1. Teledetección en la agricultura.....	4
2.1.2. El espectro electromagnético.....	6
2.1.3. Imágenes satelitales para estimación de la ET .....	8
2.1.4. Aplicación de VANT en la agricultura.....	8
2.2. INDICES DE VEGETACIÓN .....	10
2.2.1. Índice de vegetación .....	10
2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	12
2.3.1. Evapotranspiración obtenida mediante datos registrados en superficie .....	12
2.3.2. Evapotranspiración obtenida mediante percepción remota .....	12
2.3.3. Métodos para la determinación de la ET <sub>o</sub> .....	13
2.4. COEFICIENTE DEL CULTIVO (K <sub>c</sub> ).....	33
2.4.1. Factores que determinan el coeficiente del cultivo .....	33
2.4.2. Importancia del coeficiente del cultivo.....	33
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>35</b>
3.1. ÁREA DE ESTUDIO .....	35
3.1.1. Datos meteorológicos del presente trabajo de investigación:.....	36
3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS DE CÓMPUTO.....	37
3.2.1. Información espacial.....	37
3.3. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS Y DE SUELO .....	39
3.4. MANEJO AGRONÓMICO .....	40
3.5. PROCEDIMIENTO .....	41
3.5.1. Estimación de NDVI e IAF .....	41
3.5.2. Balance de energía mediante SEBAL .....	47
3.5.3. Estimación de la evapotranspiración y coeficiente del cultivo.....	55
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>57</b>
4.1. INDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....	57

4.1.1. Monitoreo en campo de NDVI e IAF .....	57
4.1.2. Resultados de la validación del NDVI y IAF .....	58
4.1.3. Índices de vegetación NDVI, SAVI y IAF ajustados .....	65
4.2. ESTIMACIÓN DEL BALANCE DE ENERGÍA MEDIANTE SEBAL .....	67
4.2.1. Albedo Superficial .....	67
4.2.2. Emisividad .....	68
4.2.3. Temperatura superficial .....	69
4.2.4. Radiación neta (Rn) .....	70
4.2.5. Obtención del flujo de calor del suelo (G) .....	71
4.2.6. Determinación del flujo de calor sensible del aire (H) .....	73
4.2.7. Flujo de calor latente - $\lambda ET$ .....	74
4.3. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET <sub>c</sub> ) Y COEFICIENTE DE CULTIVO (K <sub>c</sub> ) .....	75
4.3.1. Evapotranspiración real del cultivo mediante imágenes satelitales .....	75
4.3.2. Evapotranspiración de referencia .....	76
4.3.3. Coeficiente del cultivo .....	77
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	<b>78</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>79</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>80</b>
<b>VIII. ANEXOS</b> .....	<b>85</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características del LANDSAT 8.....	8
Tabla 2: Valores de irradiación exo-atmosférica ( $ESUN_{\lambda}$ ) para cada banda del Landsat 8 .....	19
Tabla 3: Valores de albedo según el tipo de cobertura.....	20
Tabla 4: Valores de emisividad para diferentes coberturas.....	21
Tabla 5: Datos de humedad relativa y precipitación acumulada de la EEVF – Campaña 2018.....	37
Tabla 6: Datos de temperatura y radiación de la EEVF – Campaña 2018 .....	37
Tabla 7: Imágenes Satelitales utilizados en la investigación.....	38
Tabla 8: Resumen de equipos y herramientas computacionales .....	39
Tabla 9: Eficiencia de ajuste del índice de Nash – Stueliffe .....	47
Tabla 10: Parámetros instantáneos iniciales en el píxel frío y caliente.....	51
Tabla 11: Valores de las iteraciones de $dT_{cal}$ ( $^{\circ}K$ ) y $Rah_{cal}$ , del píxel caliente.....	53
Tabla 12: Valores NDVI - diagrama de cajas y bigotes con datos greenseeker.....	59
Tabla 13: Valores NDVI - diagrama de cajas y bigotes con datos VANT.....	59
Tabla 14: Valores de IAF - diagrama de cajas y bigotes con datos ceptómetro.....	60
Tabla 15: Valores IAF - diagrama de cajas y bigotes con datos VANT .....	61
Tabla 16: Valores del diagrama de cajas para NDVI y IAF de datos Satelitales y VANT.....	62
Tabla 17: Valores estadísticos del NDVI ajustado.....	65
Tabla 18: Valores estadísticos de SAVI ajustado.....	66
Tabla 19: Valores estadísticos de IAF ajustado.....	67
Tabla 20: Valores estadísticos del albedo superficial.....	68
Tabla 21: Valores estadísticos de emisividad superficial.....	69
Tabla 22: Valores estadísticos de la Temperatura superficial – $T_s$ ( $^{\circ}K$ ).....	70
Tabla 23: Valores estadísticos de la radiación neta ( $W m^{-2}$ ).....	71
Tabla 24: Valores estadísticos del flujo de calor del suelo – $G$ ( $W m^{-2}$ ).....	72
Tabla 25: Valores estadísticos del flujo de calor sensible del aire - $H_s$ ( $W m^{-2}$ ).....	73
Tabla 26: Valores del flujo de calor latente – $\lambda ET$ ( $W m^{-2}$ ).....	74
Tabla 27: Valores de la evapotranspiración del cultivo – Etc .....	76
Tabla 28: Valores de coeficiente del cultivo - $K_c$ .....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Secuencia de procedimientos para interpretar las mediciones espectrales de satélite .....	5
Figura 2: Espectro electromagnético .....	6
Figura 3: Comportamiento de firmas espectrales .....	7
Figura 4: Balance de energía para estimar evapotranspiración .....	15
Figura 5: Descripción general del funcionamiento del algoritmo SEBAL .....	16
Figura 6: Balance de radiación en la superficie.....	23
Figura 7: Bosquejo de la transferencia de calor aerodinámico.....	25
Figura 8: Diferencia de temperatura entre la superficie y el aire (dT) .....	25
Figura 9: Ubicación general del proyecto.....	35
Figura 10: Estación experimental Vista Florida – INIA, distrito de Picsi, Chiclayo .....	36
Figura 11: Esquema de distribución de parcelas y sentido para recolección de datos NDVI y LAI.....	43
Figura 12: Etapas del cultivo de arroz, de la estación Vista Florida .....	42
Figura 13: Flujograma general para la obtención de la evapotranspiración.....	48
Figura 14. <i>Flujograma de estimación de radiación neta</i> .....	49
Figura 15. <i>Flujograma de estimación de calor del suelo</i> .....	50
Figura 16. <i>Esquema de selección del píxel frío y caliente en la imagen NDVI</i> .....	50
Figura 17: Flujograma de estimación del calor sensible del aire (H).....	52
Figura 18: Convergencia de $dT_{cal}$ , $Rah_{cal}$ , $Vf_{cal}$ y $Hs_{cal}$ en el píxel caliente, para el 24 de abril de 2018.....	54
Figura 19: Flujograma para estimar el flujo de calor latente ( $\lambda ET$ ).....	55
Figura 20: Mapas de NDVI e IAF del VANT, correspondiente a la fecha 27 de abril de 2018.....	58
Figura 21: Comparación de datos NDVI con greenseeker y VANT .....	59
Figura 22: Comparación de datos LAI con ceptómetro y VANT .....	60
Figura 23: Diagrama de cajas de valores NDVI e IAF, de la imagen satelital y VANT, del mes de abril .....	61
Figura 24: Dispersión del NDVI estimado a partir de VANT y greenseeker, del mes de abril .....	63
Figura 25: Dispersión del IAF estimado a partir de VANT y ceptómetro, del mes de abril.....	63



Figura 26: Dispersión del NDVI estimado a partir de imágenes satelitales y NDVI medido con VANT, del mes de abril .....	64
Figura 27: Dispersión del IAF estimado a partir de imágenes satelitales y IAF medido con VANT, del mes de abril .....	64
Figura 28: Variación de valores de NDVI.....	65
Figura 29: Variación de valores SAVI .....	66
Figura 30: Variación de valores IAF .....	67
Figura 31: Valores de albedo superficial ( $\alpha$ ) .....	68
Figura 32: Valores de emisividad superficial ( $\epsilon_0$ ) .....	69
Figura 33: Valores de temperatura superficial – $T_s$ ( $^{\circ}\text{K}$ ) .....	70
Figura 34: Valores de radiación neta – $R_n$ ( $\text{W m}^{-2}$ ) .....	71
Figura 35: Valores del flujo de calor del suelo – $G$ ( $\text{W m}^{-2}$ ).....	72
Figura 36: Valores del flujo de calor sensible del aire – $H_s$ ( $\text{W m}^{-2}$ ).....	74
Figura 37: Valores del flujo de calor latente de evaporación – $\lambda\text{ET}$ ( $\text{W m}^{-2}$ ) .....	75
Figura 38: Mapas de evapotranspiración real del cultivo – $\text{ETc}$ ( $\text{mm d}^{-1}$ ).....	76
Figura 39: Variación del coeficiente del cultivo, durante los meses de febrero a junio.....	77

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO .....	85
ANEXO 2: REPORTE DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....	90
ANEXO 3: DATOS NDVI DE CAMPO CON EQUIPO GREENSEEKER.....	101
ANEXO 4: DATOS IAF DE CAMPO CON CEPTÓMETRO.....	120
ANEXO 5: DATOS NDVI CON DRONE .....	121
ANEXO 6: DATOS LAI CON DRONE.....	140

## LISTA DE ABREVIATURAS

VANT	Vehículo aéreo no tripulado
SEBAL	Surface Energy Balance
NDVI	Índice de vegetación de diferencia normalizada
IAF	Índice de área foliar
SAVI	Índice de vegetación ajustado al suelo
MDS	Modelo digital de superficie
ET <sub>c</sub>	Evapotranspiración del cultivo
ET <sub>o</sub>	Evapotranspiración de referencia
ET <sub>24</sub>	Evapotranspiración diaria
$\lambda$ ET	Flujo de calor latente
G	Flujo de calor del suelo
H	Flujo de calor sensible del aire
R <sub>n</sub>	Flujo de radiación neta
R <sub>s↓</sub>	Radiación de onda corta incidente
R <sub>L↓</sub>	Radiación de onda larga incidente
R <sub>L↑</sub>	Radiación de onda larga emitida
$\alpha$	Albedo superficial
T <sub>s</sub>	Temperatura superficial
r <sub>ah</sub>	Resistencia aerodinámica
cos $\theta$	Coseno del ángulo de incidencia solar
$\delta$	Declinación solar
$\tau_{sw}$	Transmisividad atmosférica
$\epsilon_0$	Emisividad térmica de la superficie
Z <sub>om</sub>	Coficiente de seguridad
$\Lambda$	Fracción de evapotranspiración
C <sub>p</sub>	Calor específico del aire
G <sub>sc</sub>	Constante solar atmosférica

## RESUMEN

La agricultura bajo riego requiere de mejores estimaciones de la demanda hídrica por tipos de cultivos, es por eso que, el objetivo del presente estudio fue estimar los índices de vegetación in situ y con sensores remotos así como el coeficiente del cultivo de arroz utilizando la teledetección, en los campos de arroz de la estación experimental Vista Florida, mediante la implementación de técnicas de medición remotas, uso de sensores de campo, y la metodología SEBAL, que estima la evapotranspiración real del cultivo. La ejecución del modelo involucró un ajuste interno de las variables NDVI e IAF, mediante sensores de mano. El trabajo de campo se llevó a cabo en 2018, en los campos de cultivo de la estación experimental Vista Florida, en parcelas demostrativas de 5 m x 5 m, y en el semillero con una extensión de 80 000 m<sup>2</sup>. Se determinó los índices biofísicos (NDVI, IAF) y el coeficiente del cultivo (Kc), durante el desarrollo del cultivo. Se estimaron los índices NDVI con valores promedios de 0.35, 0.52, 0.47, 0.63, 0.57 y 0.50, los índice SAVI con valores promedios de 0.17, 0.28, 0.21, 0.39, 0.35 y 0.32, índice de área foliar – IAF, con valores promedios de 0.15, 0.43, 0.25, 0.75, 0.62 y 0.51, para las fechas 11/02, 28/02, 07/03, 24/04, 10/05 y 03/06, respectivamente. Los resultados de NDVI e IAF de campo comparados con el VANT obtuvieron una misma tendencia y un coeficiente de correlación de 0.95 y 0.90, respectivamente, además se obtuvieron valores de eficiencia de ajuste del índice Nash-Stuclife de 0.90 y 0.80, representando un ajuste de excelente para NDVI y muy bueno para IAF. Del mismo modo, al comparar los valores del VANT con datos de las imágenes satelitales se obtuvo una misma tendencia y un coeficiente de correlación de 0.92 y 0.90, respectivamente, asimismo, se obtuvieron valores de eficiencia de ajuste del índice de Nash-Stucliffe de 0.60 y 0.88 para NDVI y IAF, representando un ajuste bueno y muy bueno, respectivamente. Con los ajustes ya realizados se procedió a la estimación del coeficiente del cultivo, resultando valores promedios de 0.64, 0.85, 0.79, 0.98, 0.91 y 0.82 para las fechas 11/02, 28/02, 07/03, 24/04 y 03/06, respectivamente, los que se ajustan al estado fenológico del cultivo de arroz.

**Palabras clave:** Multiespectral, sensores, dron, landsat, sebal, evapotranspiración.

## ABSTRACT

Irrigated agriculture requires better estimates of water demand by type of crop, which is why the objective of the present study was to estimate vegetation indices in situ and with remote sensors, as well as the coefficient of rice cultivation using remote sensing., in the rice fields of the Vista Florida experimental station, through the implementation of remote measurement techniques, use of field sensors, and the SEBAL methodology, which estimates the actual evapotranspiration of the crop. The execution of the model involved an internal adjustment of the NDVI and IAF variables, using hand-held sensors. The fieldwork was carried out in 2018, in the cultivation fields of the Vista Florida experimental station, in demonstration plots of 5m x 5m and in its 80 000 m<sup>2</sup> seedbed. Biophysical indices (NDVI, IAF) and crop coefficient (Kc) were determined during crop development. The NDVI were estimated with average values of 0.35, 0.52, 0.47, 0.63, 0.57 and 0.50; the SAVI with average values of 0.17, 0.28, 0.21, 0.39, 0.35 and 0.32, leaf area index - IAF, with average values of 0.15, 0.43, 0.25, 0.75, 0.62 and 0.51, for dates 11/02, 28/02, 07/03, 24/04, 10/05 y 03/06, respectively. The results of NDVI and IAF in the field compared with the UAV obtained the same trend and a correlation coefficient of 0.95 and 0.90, respectively, in addition, adjustment efficiency values of the Nash-Stuclife index of 0.90 and 0.80 were obtained, representing an adjustment of excellent for NDVI and very good for IAF. In the same way, when comparing the UAV values with data from satellite images, the same trend was obtained and a correlation coefficient of 0.92 and 0.90, respectively, also, adjustment efficiency values of the Nash Stucliffe index of 0.60 and 0.88 for NDVI and IAF, representing a good and very good fit, respectively. With the adjustments already made, the crop coefficient was estimated, resulting in average values of 0.64, 0.85, 0.79, 0.98, 0.91 and 0.82 for the dates 02/11, 02/28, 03/07, 04/24 and 03 / 06, respectively, those that adjust to the phenological state of the rice crop.

**Keywords:** Multispectral, sensors, drone, landsat, sebal, evapotranspiration.

## I. INTRODUCCIÓN

Weiss M. *et al.* (2020) afirman que, la agricultura proporciona a la humanidad alimentos, fibras, combustible y materias primas que son fundamentales para el sustento humano. Hoy en día, este papel debe cumplirse en un contexto de sostenibilidad ambiental y cambio climático, combinado con un tamaño de población humana sin precedentes y aún en expansión, mientras se mantiene la viabilidad de las actividades agrícolas para garantizar tanto la subsistencia como los medios de vida. Cui *et al.* (2018) precisan que, el arroz es el segundo cereal más cultivado en el mundo. Asimismo, Zhao *et al.* (2013) mencionan que, el manejo del cultivo de precisión es el requisito previo para asegurar la producción de alto rendimiento en arroz.

Según datos registrados por el Ministerio de Agricultura y Riego - MINAGRI en el 2018, las siembras de arroz a nivel nacional de la campaña agrícola 2017-2018 fue 447,8 miles de ha. El rendimiento entre enero – julio del 2018 alcanzó 8.62 toneladas por hectárea, mayor en 14.1% respecto a similar período del año anterior. En julio del 2018 se alcanzó a nivel nacional 8,09 t. ha<sup>-1</sup>, mostrando un incremento de 11% respecto al mes de julio del 2017.

En este contexto, Weiss M. *et al.* (2020) describen que, la teledetección tiene la capacidad de ayudar a la evolución adaptativa de las prácticas agrícolas para hacer frente a este gran desafío, proporcionando información repetitiva sobre el estado de los cultivos durante la temporada a diferentes escalas y para diferentes actores. La estimación precisa y no destructiva de la biomasa de cultivos es una de las tareas esenciales en la agricultura de precisión y un sistema basado en vehículos aéreos no tripulados – MS UAV, podría tener un gran potencial para lograr este objetivo a nivel de campo.

Pavón *et al.* (2017) definen a la agricultura de precisión como el manejo diferenciado de los cultivos a partir del conocimiento de la variabilidad espacial y temporal en una explotación agrícola, para mejorar el retorno económico y minimizar el impacto ambiental. Frankelius,

*et al.* (2017) y Khan, *et al.* (2018), también abordan este tema, precisando que, para describir la variación se usan paquetes de tecnología como los Sistemas de Posicionamiento Global, así como sensores de medición de planta-clima-suelo e imágenes multiespectrales adquiridas de satélites o VANT, siendo estos los más utilizados en la agricultura de precisión.

De esta manera, se ha desarrollado distintos modelos con diferentes rangos de complejidad y aplicación que estiman la evapotranspiración. Sin embargo, aún resulta complicado su determinación pues, que depende de diversos factores. Para obtener la ET existen dos grandes grupos de métodos; aquellos obtenidos con información recopilada en campo y los métodos que usan información adquirida de la percepción remota. De este último, existen dos clases de algoritmos que estiman la ET, uno es conocido como el método residual, en el cual se incluye la metodología desarrollada por Bastiaanssen *et al.* (2000), el algoritmo SEBAL – Surface Energy Balance Algorithm For Land, fundamentado en mediciones de ET como residual del balance de energía. El segundo método representado en modelos establecidos en las relaciones entre ET y algunas características de la vegetación como los índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación).

Es por ello que los valores del NDVI son un indicador del estado de la vegetativo obtenido a partir de medidas espectrales. El índice NDVI permite revelar en qué lugares la cobertura vegetal se encuentra con estrés hídrico (sequía) o cuando una plantación está a punto para la cosecha. Estas propiedades hacen que el NDVI se haya constituido en una valiosa herramienta para la evaluación de cubiertas vegetales, así como para estudiar la clasificación y dinámica vegetal y sus aspectos fenológicos.

La teledetección, como lo describen Allen *et al.* (2006), puede hacer frente a la variación espacial del tipo de superficie, lo cual, es ideal para derivar campos espacialmente continuos de datos instantáneos de ET utilizando componentes de balance de energía a escala regional. Luego, los datos se utilizan a menudo en la predicción de ET diaria, programación de riego, planificación de recursos hídricos, regulación del agua y son componentes esenciales de los modelos hidrológicos generales y de humedad del suelo.

Para el presente proyecto se ajustó el NDVI e IAF obtenido a partir de imágenes multiespectrales y fueron validados con los índices vegetativos obtenidos en campo.

Asimismo, con los resultados de NDVI de las imágenes de satélite verificados se estimó los coeficientes del cultivo ( $K_c$ ), para del cultivo de arroz. Este trabajo se llevó a cabo en los campos de arroz de la Estación Experimental Vista Florida, Chiclayo.

## **1.1. OBJETIVOS**

El objetivo principal de la presente tesis es estimar el índice de vegetación y el coeficiente del cultivo de arroz utilizando la teledetección, en los campos de arroz de la Estación Experimental Vista Florida de Chiclayo.

Para tal fin, los objetivos específicos fueron:

- i. Obtener el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) y el índice de área foliar (IAF) a partir de imágenes de satélite.
- ii. Obtener los componentes del balance de energía en el cultivo de arroz.
- iii. Estimar la evapotranspiración del cultivo de arroz.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. PERCEPCIÓN REMOTA

Berrío *et al.* (2015), mencionan que los sensores de monitoreo permiten realizar controles en grandes extensiones en las etapas de los cultivos desarrollando eficientemente las prácticas agrícolas, contribuyendo a optimizar la dispersión de compuestos fitosanitarios (herbicidas, fertilizantes y pesticidas) en áreas de interés de acuerdo a la climatología de la zona, disminuyendo el alto consumo de agua. Adicionalmente, Bright *et al.* (2016), comentan que se puede descubrir variables como las enfermedades, plagas, arvenses y futuros efectos por las variaciones climáticas, como las heladas o sequías, entre otros.

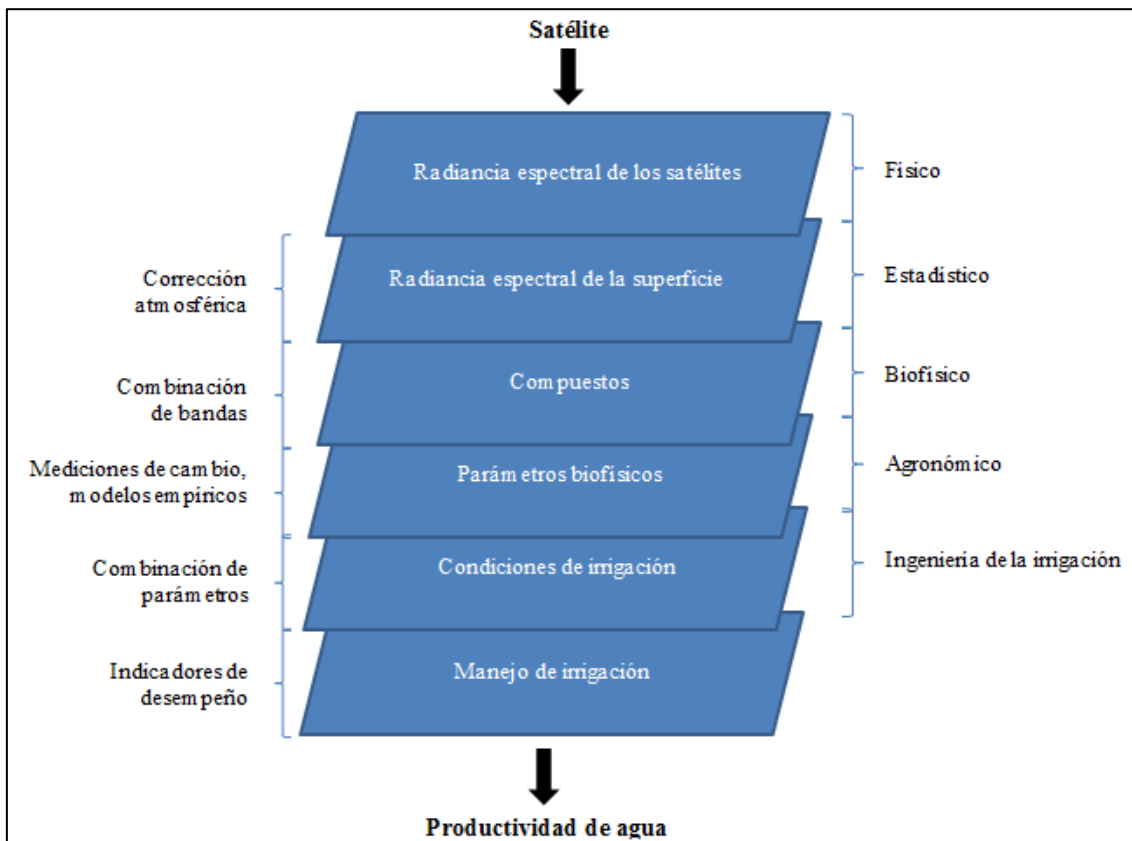
#### 2.1.1. Teledetección en la agricultura

Pavón *et al.* (2017), definen a la agricultura de precisión como el manejo diferenciado de los cultivos a partir del conocimiento de la variabilidad espacial y temporal en una explotación agrícola, para mejorar el retorno económico y minimizar el impacto ambiental. Frankelius *et al.* (2017) y Khan *et al.* (2018) precisan que para describir esta variación se usan los Sistemas de Posicionamiento Global, sensores de medición de planta-clima-suelo e imágenes multiespectrales adquiridas de satélites y/o VANT, siendo estos los más utilizados en la agricultura de precisión.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por Weiss *et al.* (2020), proponen que la teledetección es la obtención de datos sobre un objeto o fenómeno a distancia. Se trata de un instrumento o sensor montado en una plataforma, como un satélite, una aeronave, un vehículo aéreo no tripulado (VANT) o una sonda. El sensor normalmente mide la radiación electromagnética que refleja o emite el objetivo. El tipo de información accesible desde la teledetección depende de las propiedades específicas del instrumento y su plataforma. Estas propiedades incluyen: El plan de movimiento VANT, posición y orientación del sensor de campo, detección activa o pasiva, matriz de detectores y características de lentes ópticas, así como capacidades de almacenamiento. En la Figura 1, se muestran los procedimientos para

reproducir las mediciones espectrales de satélite para su utilidad en la gestión del recurso hídrico.

Bastiaanssen *et al.* (2000), mencionan que la detección remota tiene diferentes utilidades respecto a las mediciones en superficie. En primer lugar, una de las ventajas es que, las mediciones de la detección remota son objetivas. La segunda ventaja es que, los datos son obtenidos de manera sistemática obteniendo series de tiempo y su comparación entre los regímenes. En tercer lugar, el sensoramiento remoto se desarrolla ocupando áreas grandes como las cuencas fluviales enteras. Por otro lado, los estudios de suelos se limitan a pequeñas áreas piloto. En cuarto lugar, los datos pueden ser añadidos obteniendo una mayor representación, o dividirlos a pequeñas escalas obteniendo datos más detallados relacionada con la uniformidad espacial. En quinto lugar, la información puede estar representada de manera espacial través de sistemas de información geográfica, dando a conocer información que no es tan evidente cuando ésta se presenta como tabla.



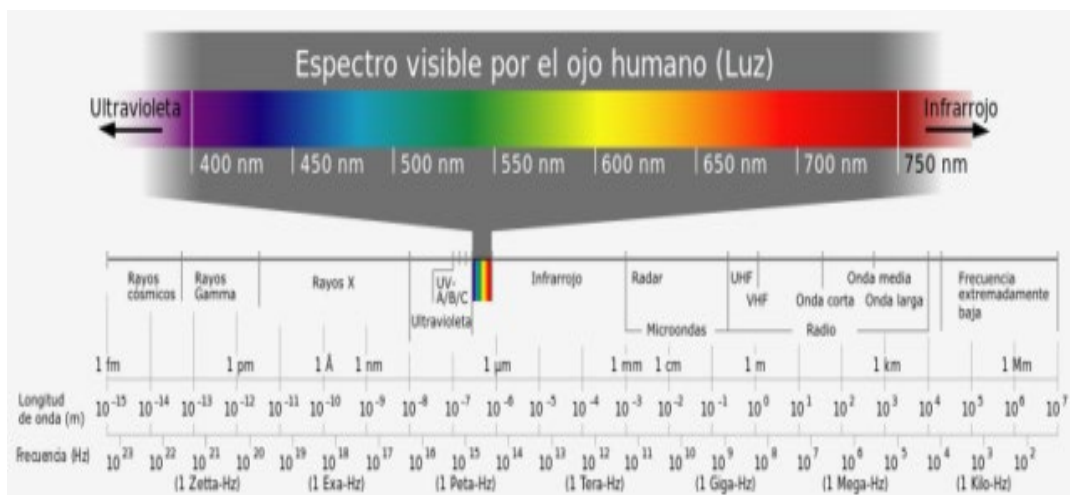
**Figura 1: Secuencia de procedimientos para interpretar las mediciones espectrales de satélite**

FUENTE: Modificado de Bastiaanssen *et al.* (2000).

### 2.1.2. El espectro electromagnético

Teniendo en cuenta lo mencionado por Chuvieco (2010), la expresión más frecuente de las bandas del espectro que se visualiza en la figura 2, es la siguiente:

- Espectro visible (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ). Es la radiación electromagnética que es visible para el ojo humano, éstas coinciden con las longitudes de onda cuando la radiación solar es máxima; aquí se diferencian tres bandas sobre la base de los colores primarios que perciben nuestros ojos: de 0,4 a 0,5  $\mu\text{m}$  la banda azul; la banda verde de 0,5 a 0,6  $\mu\text{m}$ , y la roja de 0,6 a 0,7  $\mu\text{m}$ .
- Infrarrojo cercano: Se denomina también como infrarrojo, fotográfico o reflejado, este es importante en la distinción de masas vegetativas y concentraciones de humedad, debido a que se encuentra aprox. entre 0.7 a 1.2  $\mu\text{m}$ .
- Infrarrojo medio: En el infrarrojo medio se presentan dos procesos, el primero de reflexión de la luz solar SWIR, que se encuentra en un rango de 1,2 a 2,5  $\mu\text{m}$ , la cual es adecuado para identificar suelo y contenido de humedad en la vegetación; la segunda banda se identifica como infrarrojo medio que va en un rango de 2,5 a 8  $\mu\text{m}$ , la cual detecta altas temperaturas y estima gases atmosféricos.
- Infrarrojo lejano o térmico: Detecta el calor proveniente de la mayor parte de las cubiertas terrestres y va en un rango de longitud de banda de 8 a 14  $\mu\text{m}$ .
- Microondas (por encima de 1mm). Energía bastante transparente a la cubierta nubosa.



**Figura 2: Espectro electromagnético**

FUENTE: Villa *et al.* (2013).

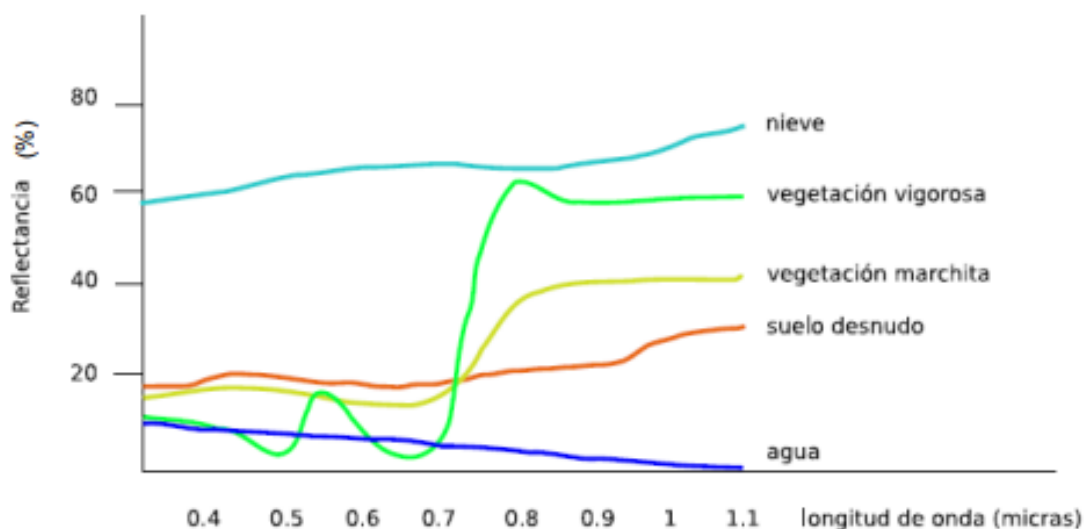
- **Resolución**

Se puede precisar que existen sensores activos, que tienen fuentes internas que emiten energía, la cual puede ser recogido luego de la reflectividad de la superficie; y los sensores pasivos que, a través de las fuentes naturales como la luz solar, registran la radiancia emitida de la superficie terrestre.

La resolución espacial, hace alusión a la parte más pequeña distinguible de una imagen: la resolución espectral indica la capacidad de distinguir entre longitudes de onda dentro del espectro electromagnético; la resolución radiométrica hace referencia al número de niveles digitales utilizados para expresar datos recogidos del sensor; la resolución temporal es periodicidad con la que el sensor es capaz de obtener imágenes de un área determinada.

- **Firmas espectrales**

Según Olaya (2014), la luz es reflejada de forma distinta por las distintas coberturas de la superficie, por este motivo, se tienen diferentes valores de Niveles Digitales (ND) de las bandas, los que corresponden a valores de radiación reflejada y absorbida de las distintas coberturas. Esto es conocido como firma espectral, lo cual se traduce como, el conjunto de reflectancias en diferentes longitudes de onda que presenta un objeto, es como la huella dactilar de las coberturas. En la Figura 3 se aprecia que la longitud de onda es traducida a una distinta firma espectral y es dependiente del tipo de cobertura.



**Figura 3: Comportamiento de firmas espectrales**

FUENTE: Olaya, (2014).

### 2.1.3. Imágenes satelitales para estimación de la ET

- **Satélite Landsat 8**

Las imágenes satélites LANDSAT 8 tienen incluidos dos instrumentos de barrido: Operational Land Imager (OLI) y un sensor térmico infrarrojo llamado Thermal Infrared Sensor (TIRS).

La calidad de los datos de los sensores OLI y TIRS en referencia a la resolución radiométrica (12 bits) es mejor que las anteriores versiones Landsat (8 bits para TM y ETM+), ofreciendo mejoras para la detección de cambios en la superficie terrestre.

Las imágenes adquiridas por los sensores OLI y TIRS permiten 9 bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y 9. La banda 1 es usada para estimar valores de aerosoles y en zonas costeras, la banda 9 se utiliza para determinar cirrus, la banda 8 es una banda pancromática de 15 metros y las bandas 10 y 11 reflejan las bandas térmicas y tienen una resolución de 100 metros. La dimensión aproximada de la imagen es de 170 km de norte – sur por 183 km de este a oeste (106 km por 114 km). En la Tabla 1 se describen las características del LANDSAT 8.

**Tabla 1: Características del LANDSAT 8**

Modo Espectral	Espacial (metros)	Zona espectral (Micras)	Radiométrica	Temporal	
Multiespectral	30	B1, Aerosol costero	0.43-0.45	12 BITS	16 días
		B2, Azul	0.45-0.51		
		B3, Verde	0.53-0.59		
		B4, Roja	0.64-0.67		
		B5, Infrarrojo cercano (NIR)	0.85-0.88		
		B6, SWIR 1	1.57-1.65		
		B7, SWIR 2	2.11-2.29		
Pancromática Multiespectral	15	B8, Pancromático	0.50-0.68		
	30	B9, cirrus	1.36-1.38		
Termal	100	B10, Infrarrojo térmico (TIRS) 1	10.60-11.19		
		B11, Infrarrojo térmico (TIRS) 2	11.50-12.51		

FUENTE: USGS (2014)

### 2.1.4. Aplicación de VANT en la agricultura

Según lo precisan Chao y Chen (2012), un vehículo aéreo no tripulado (VANT) es un aparato que obtiene información remota desde el aire, realizando tomas fotográficas y de video en alta resolución. Según el uso de los VANT, se les puede añadir distintos tipos de cámaras o

equipos para la gestión del recojo de información. Además, estos equipos utilizan diferentes sistemas de comunicación para el envío y recepción de datos capturados.

Los VANT son controlados desde tierra o de forma autónoma, y pueden realizar una misión sin tripulación a bordo.

Los VANT más usados son del tipo multicóptero, utilizados para obtener información previa y planeación, puesto que, los VANT pueden volar a bajas velocidades, permitiendo obtener imágenes. Los VANT destacan para usos de protección civil, de ecología y de monitoreo de obra pública.

- **Teledetección y drones**

Chao y Chen (2012), mencionan que, la teledetección de la cobertura vegetal está basada en las propiedades de las hojas de interactuar con la radiación solar y que el objeto de los sensores remotos es obtener datos de la superficie terrestre de manera indirecta, a través de la radiación electromagnética emitida.

León (2016), indica que, según los avances de la teledetección de imágenes satelitales, VANT, entre otros, se pueden estimar las propiedades del cultivo, tales como densidad, altura y reflectancia del cultivo, así como grado de estrés, humedad del suelo y otras propiedades importantes para el manejo de plagas, enfermedades, riego y fertilización de un cultivo.

El porcentaje de radiación reflejada por las plantas tiene una relación inversa con la radiación absorbida por los pigmentos de la planta y varía con la longitud de onda de la radiación incidente. La clorofila absorbe radiación en el espectro solar visible (0.4 - 0.7  $\mu\text{m}$ ). Por el contrario, la radiación infrarroja que va en un rango de 0.7 - 1.3  $\mu\text{m}$  es fuertemente reflejado por las plantas en proporción a su densidad y estructura foliar.

Este efecto contrastante en el comportamiento de la radiación reflejada por los cultivos en la región roja e infrarroja cercana del espectro electromagnético ha inducido a generar una serie de índices espectrales basados en tasas de reflectancia en las regiones visible e infrarroja cercana. En consecuencia, como ha sido documentado por Mulla (2013), una gran cantidad de estudios se han enfocado a generar diversas variantes de índices espectrales para estimar propiedades o estado de los cultivos como contenido de nitrógeno o clorofila, biomasa o índice de área foliar (LAI).

Las distintas coberturas vegetales tienen su propia firma espectral, consecuentemente, los suelos tienen diferentes rangos de reflectividad dependiendo de sus propiedades. Éstas diferentes coberturas, tales como suelo desnudo y cultivos son captados por los sensores remotos los cuales utilizan métodos y equipos para poder diferenciar la información obtenida mediante la radiación.

- **Aplicaciones en áreas de riego**

Los VANT son utilizados en ingeniería de riego, monitoreando el desarrollo de los cultivos, en la que es posible de obtener características de cobertura de un cultivo para sus diferentes etapas fenológicas y así determinar otras variables asociadas. El coeficiente del cultivo de la lechuga fue estimado por Fernández-Pacheco *et al.* (2014), a partir del porcentaje de cobertura adquirido de las fotografías digitales. Chao y Chen (2012), mencionan que, este método tiene un gran potencial de ser aplicado usando un VANT con el uso de imágenes digitales.

## **2.2. INDICES DE VEGETACIÓN**

González *et al.* (2016), reportan que, en lo que respecta a los índices de vegetación, la adquisición de datos es obtenida de cámaras con alta definición con información georreferenciada. Mahlein, (2016) y Khan *et al.* (2018), detallan sobre la diversidad de cámaras o sensores como RGB estándar, multiespectral, hiperespectral, infrarroja o térmica, ópticos, 3D y fluorescencia, que sirven para obtener los índices de vegetación, utilizando las operaciones algebraicas entre bandas de la imagen referidas a parámetros de pendiente y distancia, descrito por González *et al.* (2016).

### **2.2.1. Índice de vegetación**

Según Cecenque (2013), el índice de vegetación es utilizado para calcular la calidad, cantidad y desarrollo de la vegetación y, se fundamenta en la teledetección para medir la intensidad de la radiación de diversas bandas del espectro electromagnético que es emitida o reflejada por la vegetación.

- **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**

García y Martínez (2010), indican que la vigorosidad de la vegetación del arroz mediante

índice de diferencia normalizado de vegetación (NDVI), en un clúster de clasificación - 1 a 1, donde 1 se refiere a zonas más densas o con mayor clorofila, y -1 indica una zona sin vegetación.

Según Santos *et al.* (2017), las lecturas de NDVI muestran una correlación directa con la acumulación de nutrientes en las plantas, especialmente en relación con N. Su fórmula es la siguiente:

$$NDVI = \frac{IR_{\text{cercano}} - R}{IR_{\text{cercano}} + R} \dots \dots \dots (1)$$

Dónde, IR cercano corresponde a la reflectividad del infrarrojo cercano y R corresponde a la reflectividad de la banda Roja.

- **Índice de vegetación – Suelo Ajustado (SAVI)**

El índice SAVI es semejante al NDVI, con la única diferencia de que elimina los píxeles del suelo. Para poder lograr esta eliminación de píxeles del suelo, se le añade un factor de ajuste L, el cual depende de saber previamente la densidad de cobertura vegetal en el área. Allen *et al.* (2002), sugieren un valor idóneo de L = 0,5 para el primer orden de alteración de fondo del suelo. El SAVI es usado para áreas con coberturas de vegetación escasa, donde se aprecia mayormente el suelo a través del dosel. Se calcula de la siguiente manera:

$$SAVI = \frac{(1+L)*(IRC-R)}{(IRC+R+L)} \dots \dots \dots (2)$$

Dónde, L es factor de ajuste SAVI, si L es 0 el índice SAVI se convierte en NDVI Allen *et al.* (2002) indica que un valor frecuente de L es 0.5. IRC, pertenece a la radiación reflectada en el infrarrojo cercano y R corresponde a la reflectividad en el rojo.

Para poder realizar el cálculo de estos índices necesariamente se debe realizar una calibración y conversión de información de niveles digitales a valores de reflectancia.

- **Índice de área foliar (IAF)**

Allen *et al.* (2002), definen al índice de área foliar (IAF), como la relación entre el área total de todas las hojas de una planta y el área del suelo representada por la planta. Además, es un indicador de la biomasa y la resistencia del dosel, y se calcula como:

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0.69 - SAVI}{0.59}\right)}{0.91} \dots \dots \dots (3)$$



### **2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN**

Marini *et al.* (2017), describen que uno de los procesos más importantes del ciclo hidrológico es la tasa de evapotranspiración (ET). La ET es la cantidad de agua que va del suelo y vegetación hacia la atmósfera. Es por eso que, estimar la ET es fundamental para estudiar los procesos hidrológicos.

Además de utilizarse en el balance de energía, es práctico para determinar el estrés hídrico de los cultivos y predecir su rendimiento.

#### **2.3.1. Evapotranspiración obtenida mediante datos registrados en superficie**

De acuerdo a los trabajos realizados por Marini *et al.* (2017), la evapotranspiración registrados en superficie pueden ser divididos en directos y empíricos.

Los métodos directos calculan ET a través de lisímetros, evapotranspirómetro de Thornthwaite, e incluso empleando instrumentación de alta complejidad como el sistema de covariancia de Eddy. Estos métodos obtienen resultados más realistas, en las estimaciones de ET, a diferencia de los métodos indirecto. Sin embargo, su costo de aplicación y tiempo para obtener resultados confiables es mayor. Asimismo, la toma de datos requiere de precisión, lo cual es engorroso y poco prácticos.

Por otro lado, los métodos indirectos utilizan diversas ecuaciones empíricas o semi-empíricas para calcular la evaporación con el uso de información meteorológica.

#### **2.3.2. Evapotranspiración obtenida mediante percepción remota**

Marini *et al.* (2017), detallan que hay dos clases de algoritmos que estiman ET. El primero es el método residual, que, al desarrollar la ecuación de conservación de energía, se obtiene la ET como residuo de la superficie evapotranspirante. De la misma manera, el algoritmo SEBAL –Surface Energy Balance Algorithm For Land que fue elaborado por Bastiaansen en 1998, se fundamenta en estimaciones de ET como un residual del balance de energía. El segundo de los métodos está basado en la relación entre la ET y ciertas características de la vegetación, tales como NDVI, donde se obtuvo estimaciones óptimas de ET, proporcionando resultados más próximos a la realidad.

Por tal motivo, la teledetección se puede utilizar en distintas coberturas de superficie, lo que es ideal para derivar campos espacialmente continuos de datos instantáneos de ET utilizando componentes de balance de energía a escala regional.

Luego, los datos se utilizan a menudo en la predicción de ET diaria, programación de riego, planificación de recursos hídricos, regulación del agua y son componentes esenciales de los modelos hidrológicos generales y de humedad del suelo. En la práctica, cualquier intento de mejorar la gestión del agua agrícola y examinar la transmisión del balance de agua y energía debe basarse en estimaciones confiables de ET diaria, como lo mencionan Liu *et al.* (2017). Es decir, los ET instantáneos son relativamente poco importantes a menos que puedan usarse para predecir ET diarios. Por lo tanto, Liu, X. *et al.* (2017), precisan que se necesitan métodos para la extrapolación diaria de ET a partir de observaciones instantáneas utilizando la teledetección, que puede ser un enfoque efectivo para resolver los problemas que la teledetección solo proporciona estimaciones esencialmente instantáneas de ET, y la relación de aumento de escala debe investigarse y demostrarse mediante estudios que utilicen observaciones principalmente locales (*in situ*).

Allen *et al.* (2006), indican que la ET es afectada por diversos factores atmosféricos tales como la temperatura del aire, radiación solar, velocidad del viento y humedad relativa. Además, la ET varía regional y estacionalmente con las condiciones de cobertura terrestre, clima, y vegetación. La cantidad de evaporación generada en la atmósfera puede ser atribuido a la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>), lo cual se representa como la pérdida de agua de una superficie cultivada. Los distintos niveles de ET son dados por las características de cada cultivo, tales como reflejo, altura, rugosidad, cobertura, tipo de cultivo, y que tienen diferentes resistencias a la transpiración, aunque se encuentren bajo condiciones ambientales idénticas.

### **2.3.3. Métodos para la determinación de la ET<sub>o</sub>**

La metodología básica indicada por Allen *et al.* (2006), tienen como fin establecer la cantidad de agua usada en los cultivos utilizando el método de evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>). El valor del coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) depende del tipo y estado del cultivo, tipo de suelo y de las condiciones ambientales.

Básicamente se mide en  $\text{mm.d}^{-1}$  o  $\text{mm.mes}^{-1}$ , y depende de la interrelación entre variables como el clima, tipo de vegetación, tipo de suelo y el manejo del cultivo. La evapotranspiración sigue una relación directa respecto a su desarrollo fenológico, esto quiere decir que, en las primeras etapas la ET es baja y alcanza su máximo cuando el cultivo está en su máximo desarrollo, luego la ET disminuye paulatinamente a medida que el cultivo va entrando a la etapa de cosecha.

De esta manera, se puede resumir que, la evapotranspiración del cultivo (ETc) varía básicamente según su estado fenológico y el factor climático.

**a. Método indirecto para la estimación de la evapotranspiración de referencia**

• **FAO Penman – Monteith**

El método de FAO Penman – Monteith está reconocida como un método estandarizado para la estimación de la evapotranspiración de referencia. Esta metodología tiene en cuenta ciertas características del cultivo como, una altura de referencia de 0.12 m, resistencia superficial de  $70 \text{ sm}^{-1}$  y un albedo de 0.23, para un cultivo uniforme con cobertura verde, bien regado, el que se calcula con la ecuación (4):

$$ET_o = \frac{0.408(RN-G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34U_2)} \left( \frac{mm}{dia} \right) \dots \dots \dots (4)$$

**b. Método del balance de energía**

Allen, *et al.* (2006), precisan que, para evaporar el agua se necesita altas cantidades de energía, en forma de calor sensible o energía radiante. Por ello, el cambio de energía en la cobertura vegetal controla el proceso de evapotranspiración y limitada por su cantidad disponible. De acuerdo a este control, se puede predecir la ET con aplicación de la conservación de la energía, la que se puede calcular según la ecuación (5).

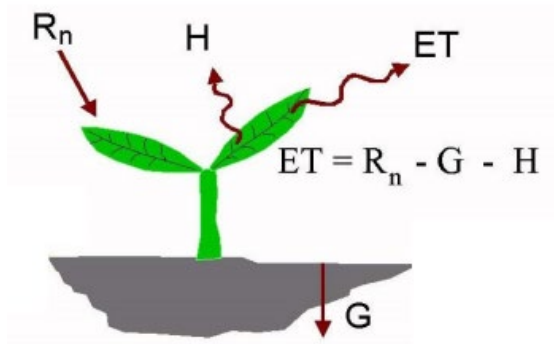
$$Rn = G + \lambda ET + H \dots \dots \dots (5)$$

Dónde Rn es la radiación neta, H es el calor sensible, G es el flujo de calor del suelo, y  $\lambda ET$  es el flujo de calor latente. Los distintos términos pueden ser positivos o negativos. Cuando Rn es positivo, proporciona energía a la superficie y cuando G,  $\lambda ET$  y H son positivos retiran energía de la superficie.

El flujo de calor latente ( $\lambda ET$ ) equivale a una fracción de la evapotranspiración que resulta de la ecuación del balance de energía. La  $R_n$  y  $G$  se miden bajo parámetros climáticos. Por el contrario, la medición de  $H$  es difícil de obtener, ésta incluye mediciones precisas y calibraciones de temperatura superficial.

### c. Método del balance de energía SEBAL

En el balance de energía en la cobertura superficial (Figura 4) se muestra el balance termodinámico entre los procesos de transporte de turbulencia en la atmósfera y los procesos laminares en la sub superficie.

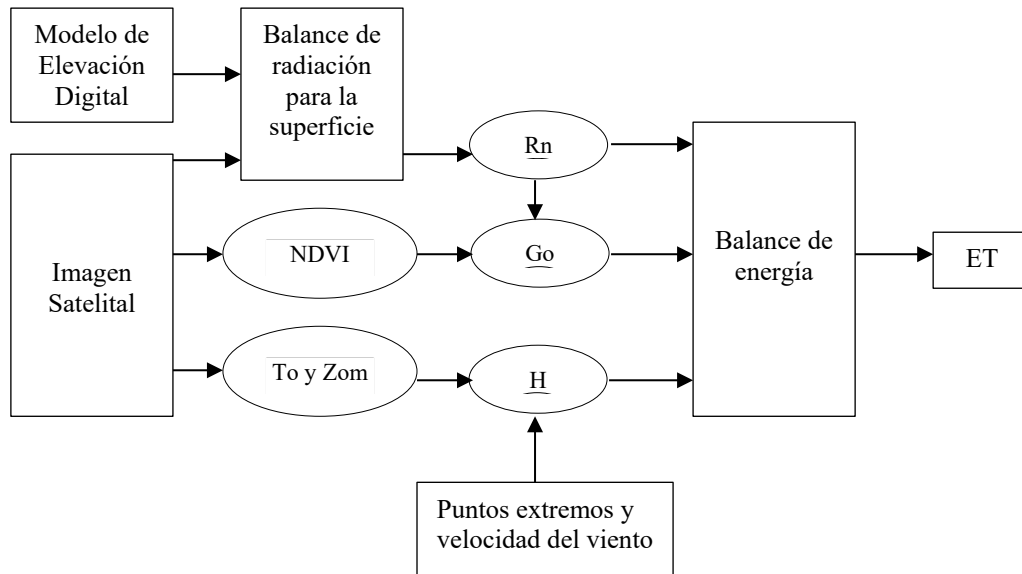


**Figura 4: Balance de energía para estimar evapotranspiración**

FUENTE: Allen *et al.* (2006).

En la Figura 5, se muestra la descripción general de funcionamiento del algoritmo SEBAL, el cual usa como entrada modelos de elevación digital (DEM), e imágenes satelitales. Según menciona Núñez (2009), con los datos adquiridos del DEM e imágenes satelitales, se determina la radiancia y reflectancia de cada píxel, para luego obtener la radiación neta ( $R_n$ ), la cual ingresa a la ecuación del balance de energía.

Con la imagen satelital procesada, se determina el NDVI, la temperatura superficial ( $T_o$ ), y la altura de rugosidad superficial ( $z_{om}$ ). Con los valores obtenidos de  $R_n$  y NDVI, se calcula el flujo de calor del suelo. Además, usando la  $T_o$  y  $z_{om}$ , añadido con velocidad del viento de la zona de estudio ( $u_x$ ), se obtiene el flujo de calor sensible del aire. Las tres variables obtenidas ( $R_n$ ,  $G$  y  $H$ ), ingresan a la ecuación del balance de energía, obteniéndose la evapotranspiración en cada píxel de la imagen.



**Figura 5: Descripción general del funcionamiento del algoritmo SEBAL**

FUENTE: Modificado de Núñez (2009).

**a. Generación de parámetros iniciales para el modelo de SEBAL**

- **Transformación de los valores de niveles digitales (ND) a radiancia de imágenes satelitales**

La radiancia espectral de cada banda es la radiación saliente en el tope de la atmósfera mediante un satélite.

Para la conversión de información de los niveles digitales de las imágenes satelitales, se utilizó el método denominado “Método de escalamiento de Radiancia espectral”, en el que se usan los coeficientes radiométricos que se encuentran en el metadato de la imagen, el cual se expresa con la ecuación (6).

Las imágenes Landsat 8, no necesitan calcular la radiancia espectral, puesto que, la reflectividad se puede calcular directamente.

$$\lambda L = ML \times Qcal + AL \dots \dots \dots (6)$$

Dónde:  $L\lambda$  es el valor de radiancia espectral medida en valores de (Watts.m<sup>-2</sup> \* srad \* μm)), ML es el factor multiplicativo, AL es el factor aditivo, Qcal producto estándar cuantificado y calibrado por valores de pixel (ND), obtenidos del metadato.

- **Conversión a reflectancia**

La reflectividad de una superficie es definida como la división del flujo de radiación reflejada y el flujo de radiación entrante, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi * L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} * \cos \theta * d_r} \dots \dots \dots (7)$$

Dónde:  $\rho_{\lambda}$  es la radiancia espectral de cada banda,  $ESUN_{\lambda}$  es la irradiación media para cada banda ( $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ ),  $\cos \theta$  es el coseno del ángulo de incidencia solar, y  $d_r$  es la inversa de la distancia tierra – sol al cuadrado.

El coseno  $\theta$  es calculado usando los archivos metadato sobre el ángulo de elevación solar ( $\beta$ ), donde  $\theta = (90 - \beta)$ . El término  $d_r$  es definido como  $1.(dt-s)^{-2}$  donde  $dt-s$  es la distancia relativa entre la tierra y el sol en unidades astronómicas (AU) es igual a  $1.496 * 10^8$  km.

- **Distancia relativa entre la tierra y el sol**

Distancia relativa ( $d_r$ ) definido como  $1.(dt-s)^{-2}$  donde  $dt-s$  es la distancia relativa entre la tierra y el sol en unidades astronómicas (AU) es igual a  $1.496 * 10^8$  km y está en el metadato de la imagen. El  $d_r$  también puede ser calculado mediante la ecuación propuesto por (Duffie y Beckman, 1980), descrito en la guía de la FAO 56 Evapotranspiración del cultivo.

$$d_r = 1 + 0.033 \cos \left( DOY \frac{2\pi}{365} \right) \dots \dots \dots (8)$$

Dónde: DOY es el día juliano y el ángulo  $\left( DOY \times \frac{2\pi}{365} \right)$  expresado en radianes, los valores  $d_r$  son adimensionales y están en el rango de 0.97 a 1.03.

Para ajustar la reflectancia con el ángulo solar y de la distancia astronómica tierra-sol, se usa la ecuación siguiente:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho'_{\lambda}}{\cos \theta * d_r} \dots \dots \dots (9)$$

Para la conversión a los valores de reflectancia (TOA) en la parte superior de la atmosfera, se utilizan los coeficientes de reflectancia re- escalonado, suministrado en el

archivo del metadato de cada imagen. La siguiente ecuación es usada para convertir los niveles digitales a valores de reflectancia.

Para el LANDSAT 8, la reflectividad o reflectancia planetaria en el tope de la atmósfera ( $\rho\lambda'$ ) es calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$\rho'_{\lambda} = M\rho * Qcal + A\rho \dots \dots \dots (10)$$

Dónde:  $\rho'_{\lambda}$  es el valor de la reflectancia planetaria (sin ajuste del ángulo solar),  $M\rho$  corresponde al elemento multiplicativo de re-escalamiento y  $A\rho$  es el elemento aditivo de re-escalamiento, ambos se encuentran en los metadatos de la imagen),  $Qcal$  es el producto estándar cuantificado y calibrado para niveles digitales de la imagen.

El cálculo de la reflectancia real de una cubierta captada por un sensor espacial está condicionado por el comportamiento de la atmósfera, así como del ángulo de observación. De esta manera, la reflectancia en el techo de la atmosfera TOA con una corrección para el ángulo solar se estima mediante la siguiente ecuación:

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos \vartheta_{SZ}} = \frac{\rho\lambda'}{\sin \vartheta_{SE}} \dots \dots \dots (11)$$

Dónde:  $\rho\lambda$  es el valor de la reflectancia planetaria TOA, con ajustes por ángulo de elevación solar ( $\vartheta_{SE}$ ). Este ángulo es el centro de la escena y se encuentra en el metadato de la imagen con nombre sun elevation.  $\vartheta_{SZ}$  es el ángulo zenital solar local y es el complemento del ángulo de observación, puede obtenerse de la siguiente manera:

$$\vartheta_{SZ} = 90^{\circ} - \vartheta_{SE} \dots \dots \dots (12)$$

- **Albedo**

Para estimar el albedo en la superficie, en primer lugar, se calculó el albedo TOA ( $atoa$ ) aplicando la ecuación (13), donde se combina de manera lineal las reflectancias de las bandas 2 a 7, pero su aplicación para el modelo de energía superficial, se debe pasar los valores de albedo a cobertura superficial, como lo precisa Núñez (2009), por tal motivo se debe rectificar con valores de transmisividad atmosférica ( $\tau_{sw}$ ).

- **Albedo en el tope de la atmósfera ( $\alpha_{toa}$ )**

Para obtener el albedo superficial, en primer lugar, se determina el albedo TOA ( $\alpha_{toa}$ ) expresado en la siguiente ecuación:

$$\alpha_{toa} = \sum \omega\lambda \times \rho\lambda \dots \dots \dots (13)$$

Dónde:  $\rho\lambda$  es la reflectancia calculada anteriormente,  $\omega\lambda$  es el cociente de ponderación y se obtiene con la siguiente ecuación y su estimación es para cada banda:

$$\omega\lambda = \frac{ESUN\lambda}{\sum ESUN\lambda} \dots \dots \dots (14)$$

Dónde:  $\omega\lambda$  es el coeficiente de ponderación.  $ESUN\lambda$  es la irradiación exo-atmosférica solar media para cada banda ( $W.m^{-2}/\mu m$ ) y se encuentra en la Tabla 2.

Los valores de coeficientes de ponderación ( $\omega\lambda$ ) para cada banda son; 0.3013, 0.2759, 0.2337, 0.1418, 0.0357 y 0.0116, que corresponden a las bandas 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

**Tabla 2: Valores de irradiación exo-atmosférica ( $ESUN\lambda$ ) para cada banda del Landsat 8**

Banda	Bajo	Alto	Centro	Lineal	$ESUN\lambda$
2 (Azul)	0.45	0.51	0.480	1991**	2067
3 (Verde)	0.53	0.59	0.560	1812	1893
4 (Rojo)	0.64	0.67	0.655	1549	1603
5 (NIR)	0.85	0.88	0.865	962.6	972.6
6 (SW IR)	1.57	1.65	1.610	251.7	245
7 (SW IR)	2.11	2.29	2.200	86.30	79.72

FUENTE: USGS (2013)

- **Albedo superficial ( $\alpha$ )**

Se obtiene mediante la combinación lineal de las reflectancias, referidos a la superficie de la tierra, para ser utilizado en el balance de energía superficial, por lo que debe ajustarse con la ecuación 15 planteada por Allen *et al.* (2002) para estimar el albedo superficial.

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path\ radiance}}{\tau_{sw}^2} \dots \dots \dots (15)$$



Dónde:  $\alpha_{\text{pathradiance}}$  es la radiación solar reflejada por la atmósfera y toma valores entre 0.025 y 0.04. SEBAL sugiere usar el valor de 0.03. Según Bastiaanssen, (2000),  $\tau_{\text{sw}}$  representa la transmisividad atmosférica, determinada según Allen *et al.*, (2006), de la siguiente manera:

$$\tau_{\text{sw}} = 0.75 + 2 \times 10^{-5} \times Z \dots \dots \dots (16)$$

Dónde: Z representa el modelo de elevación digital (DEM), dicho valor nos dará una mejor representación del área en estudio. En la Tabla 3 se presenta valores estándar de albedo de acuerdo a la cobertura.

**Tabla 3: Valores de albedo según el tipo de cobertura**

Superficie	Albedo
Nieve	0.80 – 0.85
Suelo negro	0.08 – 0.14
Pasto	0.15 – 0.25
Campos de maíz	0.14 – 0.22
Campos de arroz	0.17 – 0.22
Bosques	0.10 – 0.15
Agua	0.025 – 0.348

FUENTE: Allen *et al.* (2002)

Con la obtención de  $\tau_{\text{sw}}$  y  $\alpha_{\text{toa}}$  se calcula el albedo superficial con la ecuación (15).

- **Emisividad superficial ( $\epsilon_0$ )**

Para calcular la emisividad superficial ( $\epsilon_0$ ), se utilizó la ecuación planteada por Allen *et al.* (2002), que determinó los valores de emisividad superficial en base del índice IAF, usando la siguiente ecuación:

$$\epsilon_0 = 0.95 + 0.01 \times IAF \dots \dots \dots (17)$$

Dónde:  $\epsilon_0$  es la emisividad superficial y IAF es el índice de área foliar calculado con la ecuación (3). En la Tabla 4, se indican los valores de emisividad para las diferentes coberturas.

**Tabla 4: Valores de emisividad para diferentes coberturas**

Tipo de cobertura	Emisividad
Océanos	0.99
Tierras emergidas	0.8 - 0.99
Tierra-cemento	0.9 - 0.98
Desierto	0.84 - 0.91
Césped	0.9 - 0.95
<b>Suelo agrícola</b>	<b>0.9 - 0.99</b>
Bosque	0.97 - 0.98
Agua	0.92 - 0.97
Nieve	0.82 - 0.99
Hielo	0.92 - 0.97

FUENTE: Núñez, (2009)

- **Temperatura superficial (Ts)**

Para calcular la temperatura superficial, se debe convertir la temperatura de brillo calculado a través de la ecuación de Planck y que es estimado de las bandas térmicas 10 y 11 del Landsat 8 y las constantes térmicas  $k_1$  y  $k_2$  que se encuentran en el metadato de cada imagen, posteriormente se ajusta la temperatura de brillo con la emisividad superficial para obtener finalmente la temperatura superficial.

- **Temperatura de brillo**

Para obtener la temperatura de brillo, es necesario obtener la radiancia de las bandas térmicas expresadas en la ecuación (6), que se fundamenta en la función de Planck's.

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \dots \dots \dots (18)$$

Donde  $K_1$  y  $K_2$  son coeficientes de longitud de onda, de cada sensor.  $L_\lambda$  es el valor de radiancia espectral.

- **Conversión de temperatura de brillo a temperatura superficial**

Los valores de temperatura de la superficie son obtenidos al transformarse los valores de temperatura de brillo, como indica Kosa (2011) en la siguiente ecuación:

$$T_S = \frac{T}{\epsilon_0^{0.25}} \dots \dots \dots (19)$$

Dónde:  $T_S$  es la temperatura superficial,  $T$  es la temperatura de brillo calculada con la ecuación (18) y  $\epsilon_0$  es la emisividad superficial.

- **Coefficiente de rugosidad de la superficie (Zom)**

Núñez J. (2009), menciona que el coeficiente de rugosidad de la superficie,  $Z_{om}$ , es representado por la altura del cultivo por sobre el plano cero, donde la velocidad del viento es cero, hasta cuando la cobertura vegetal termina. SEBAL estima  $Z_{om}$  usando la siguiente relación empírica propuesta por Bastiaanssen (2000):

$$Z_{om} = e^{[(a \times \frac{NDVI}{\alpha}) + b]} \dots \dots \dots (20)$$

Donde  $a$  y  $b$  son constantes de correlación derivados de la gráfica  $\ln(Z_{om})$  Vs  $NDVI/\alpha$ . Para obtener los coeficientes se seleccionan una cierta cantidad de pixeles, después se comparan con sus valores de NDVI y albedo y por último se determina  $Z_{om}$ , una primera aproximación es usado en la ecuación (21), descrito por Allen *et al.* (2002):

$$Z_{om} = 0.12 \times IAF \dots \dots \dots (21)$$

**b. Modelo SEBAL**

- **Radiación neta (Rn)**

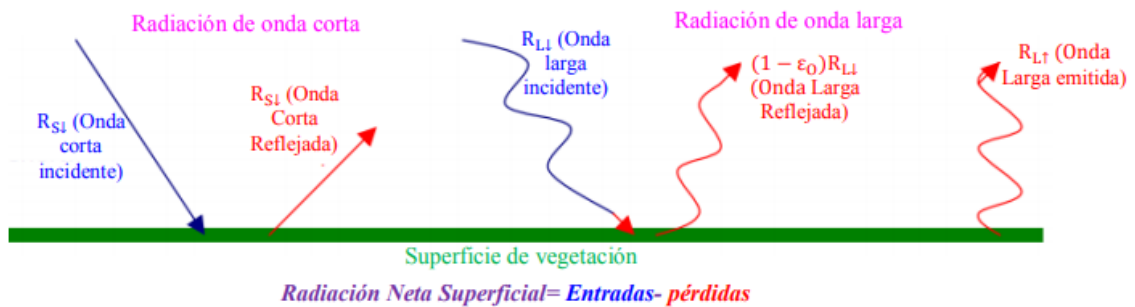
La radiación neta ( $R_n$ ) detallado por Allen *et al.* (2006), constituye la energía de radiación disponible en la superficie. Su cálculo se realiza mediante una suma algebraica de flujos de radiación entrante y saliente, como se puede verificar en la Figura 6 y calcular con la siguiente ecuación:

$$R_n = (1 - \alpha)R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0) * R_{L\downarrow} \dots \dots \dots (22)$$

En la ecuación (22), la radiación de onda corta ( $R_{s\downarrow}$ ) está ligado al albedo superficial ( $\alpha$ ), este último es un coeficiente de reflexión y se define a través de la relación entre la radiancia reflejada y la radiancia incidente, en el rango del espectro solar. se obtiene usando lo datos de las bandas de las imágenes satelitales.

La estimación de la radiación de onda corta incidente ( $R_{s\downarrow}$ ) está en función del uso de la constante solar, ángulo solar incidente, distancia relativa tierra – sol, y la transmisividad atmosférica. Con la ecuación de Stefan-Boltzmann modificado, se determina la radiación de onda larga incidente ( $R_{L\downarrow}$ ), en función de la transmisividad atmosférica y temperatura superficial seleccionada. Así también, la ecuación de Stefan – Boltzmann calcula la radiación de onda larga saliente ( $R_{L\uparrow}$ ), que está basado en la emisividad y temperatura

superficial. Estas temperaturas son obtenidas de las imágenes satelitales.



**Figura 6: Balance de radiación en la superficie**

FUENTE: Modificado de Allen *et al.* (2002)

Finalmente se estima la radiación neta con la ecuación (22), que se basa en el balance de radiación superficial entre las diferentes radiaciones calculadas en la ecuación (23), ecuación (24), ecuación (25).

$$R_{S\downarrow} = G_{SC} \times \cos \theta \times d_r \times \tau_{SW} \dots \dots \dots (23)$$

Dónde:  $R_{S\downarrow}$  es la radiación de onda corta incidente,  $G_{SC}$  es la constante solar atmosférica ( $1367 \text{ W.m}^{-2}$ ),  $\theta = 90 -$  ángulo de elevación solar, representa el complemento del ángulo de elevación solar, llamado como ángulo cenital solar,  $d_r$  es la distancia entre la tierra – sol, expresado en unidades astronómicas y  $\tau_{SW}$  es la transmisividad atmosférica, calculada en la ecuación (16).

La ecuación (24) desarrollada por Stefan-Boltzmann determina la radiación de onda larga saliente  $R_{L\uparrow}$ , que representa la cantidad de radiación térmica que sale de la superficie terrestre a la atmósfera ( $\text{w/m}^2$ ).

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_o \times \sigma \times T_s^4 \dots \dots \dots (24)$$

Dónde,  $\sigma$  es la constante de Stefan – Boltzmann:  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}/\text{K}^4$ , utilizado también en la ecuación 25,  $\epsilon_o$ , representa la emisividad térmica superficial y  $T_s$  es la temperatura superficial calculado con la ecuación (19).

La ecuación 25, desarrollada también por Stefan Boltzmann, determina la radiación de onda larga incidente ( $R_{L\downarrow}$ ), donde se explica que es una radiación térmica proveniente de la atmósfera hacia la superficie terrestre:

$$R_{L\downarrow} = \sigma \times \varepsilon_a \times T_a^4 \dots \dots \dots (25)$$

Dónde:  $\varepsilon_a$ , es la emisividad atmosférica,  $T_a$  es la temperatura del aire, y puede ser reemplazada por el pixel más frío de la temperatura superficial, dentro de la zona de estudio.

Para obtener  $\varepsilon_a$  se utilizó ecuación (26) descrita por Allen *et al.*, (2002):

$$\varepsilon_a = 0.85 \times (-\ln(\tau_{sw}))^{0.09} \dots \dots \dots (26)$$

- **Flujo de calor del suelo (Go)**

De acuerdo a lo precisado por Gordillo (2013), el flujo de calor del suelo, es la tasa de calor almacenada en suelo y cobertura vegetal debido a la conducción, siendo la energía más pequeña en comparación a los demás flujos de calor. Debido a que es una energía pequeña, es considerado sólo en intervalos horarios menores a un día completo.

Para la estimar  $G_o$ , se utiliza la ecuación (27) y que según Allen *et al.* (2002), dependen de la radiación neta, del NDVI, la temperatura y el albedo superficial.

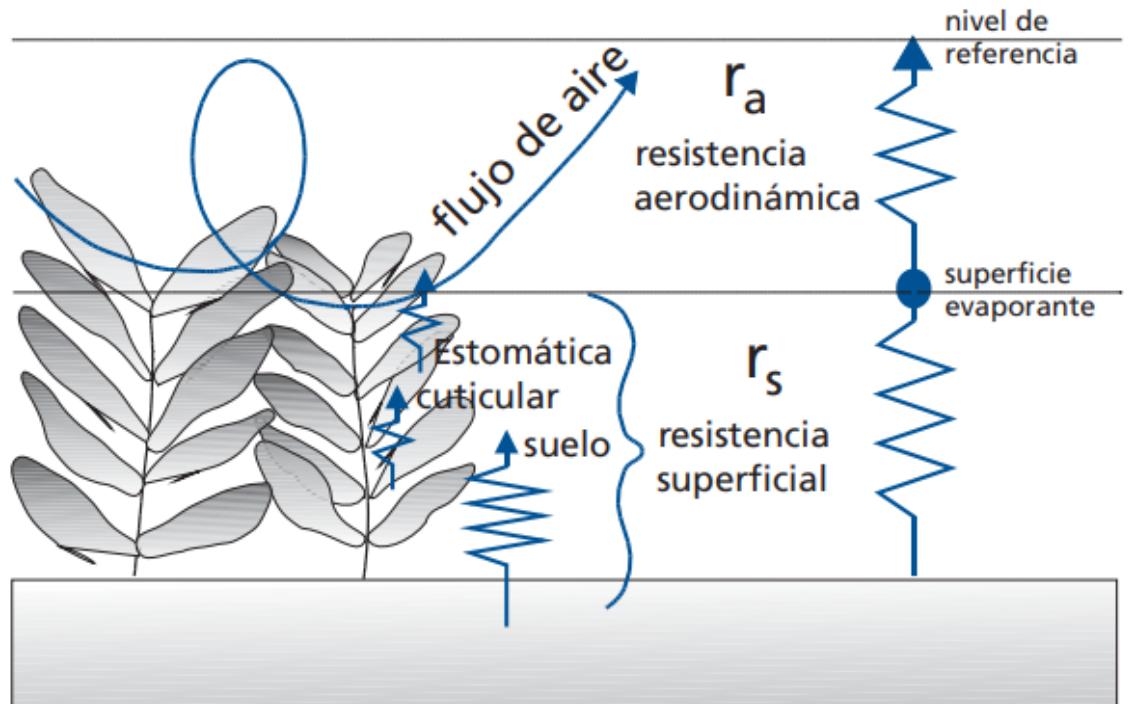
$$G_o = \left[ \frac{T_s}{\alpha} (0.0038 * \alpha + 0.007\alpha^2)(1 - 0.98 * NDVI^4) \right] * R_n \dots \dots \dots (27)$$

- **Flujo de calor sensible (H)**

Es la cantidad de energía perdida por los procesos de convección y conducción del aire, por la diferencia de temperatura. Se calcula utilizando la ecuación (28):

$$H = \frac{\rho_{air} \cdot C_{p_{air}} \cdot dT}{r_{ah}} \dots \dots \dots (28)$$

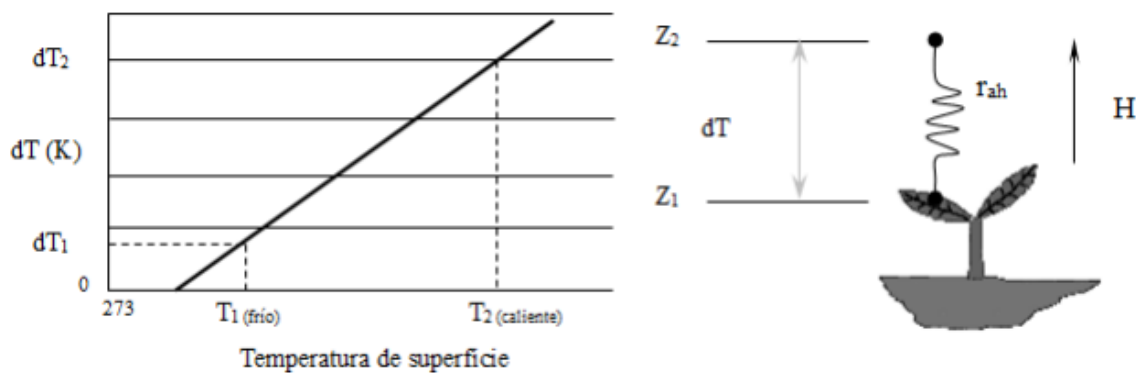
Dónde  $\rho$  es la densidad del aire ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ),  $C_p$  es el calor específico del aire ( $1.004 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}/\text{K}$ ),  $dT$  es la diferencia de temperatura ( $T_1 - T_2$ ) entre dos alturas ( $Z_1$  y  $Z_2$ ), y  $r_{ah}$  es la resistencia aerodinámica al transporte del calor (s/m) mostrado en la Figura 7.



**Figura 7: Bosquejo de la transferencia de calor aerodinámico**

FUENTE: Allen *et al.* (2006)

Según lo precisado por Allen *et al.* (2002), para determinar el flujo de calor sensible se debe tener en cuenta que éste se encuentra en función de varios parámetros como el gradiente de temperatura (Figura 8), rugosidad de la superficie y velocidad del viento. Para poder desarrollar la ecuación anterior se debe seleccionar los píxeles "extremos o píxeles ancla" (píxel frío y píxel caliente) en el que, para un valor de  $dT$  nos determine  $H$  (donde los valores fiables para  $H$  puedan predecir y estimar un  $dT$ ) y la velocidad del viento a una altura determinada.



**Figura 8: Diferencia de temperatura entre la superficie y el aire ( $dT$ )**

FUENTE: Allen *et al.* (2002)

Asimismo, Allen *et al.* (2002), mediante la ecuación (29), se puede determinar la resistencia aerodinámica al transporte de calor, donde,  $Z_1$  y  $Z_2$  representan las alturas sobre un plano cero de la cobertura vegetal,  $u^*$  es la velocidad de fricción ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) que mide el cambio de velocidad turbulenta del aire y  $k$  es la constante de von Karman, cuyo valor es de 0.41.

$$rah = \frac{\ln(\frac{Z_2}{Z_1})}{u^* \cdot K} \dots \dots \dots (29)$$

Dónde  $Z_1$  y  $Z_2$  son las alturas sobre la superficie (generalmente adquieren valores de  $Z_1 = 0.1$  m cercano al suelo y  $Z_2 = 2.0$  m representando la altura del cultivo);  $u^*$  es la velocidad de fricción ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Allen *et al.* (2002) definen a la velocidad de fricción con la ley de viento logarítmico para las condiciones atmosféricas neutras como se muestra en la ecuación (30), donde  $u_x$  es la velocidad del viento ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a la altura de  $z_x$  y  $Z_{om}$  es la longitud de rugosidad.

$$u^* = \frac{K \cdot u_x}{\ln(\frac{z_x}{Z_{om}})} \dots \dots \dots (30)$$

Para estimar el flujo de calor sensible del aire (H) se realizan las iteraciones que corrigen las variables  $rah$ ,  $dT$ , y la densidad del aire, por efectos de la inestabilidad atmosférica y la velocidad de fricción.

Para estimar el flujo de calor sensible del aire, se requiere utilizar datos de entrada como, la velocidad del viento para la fecha de cada imagen, el alto de la cobertura vegetal para que se pueda estimar la longitud de rugosidad ( $Z_{om}$ ) y calcular la velocidad de fricción en la estación meteorológica.

Seguidamente se determina la velocidad del viento a 200 m de altura, que sirve para despreciar los valores de rugosidades superficial y es calculado con la ecuación (31).

$$u_{200} = u_* \times \frac{\ln(\frac{200}{Z_{om}})}{k} \dots \dots \dots (31)$$

Dónde:  $u_*$  es la velocidad de fricción en la estación meteorológica,  $K$  es la constante de

Von Karman,  $U_{200}$  es la velocidad del viento ( $m.s^{-1}$ ) a una altura de 200 m;  $Z_{om}$  es el coeficiente de rugosidad (m).

La velocidad del viento calculada a 200 m, se asume constante en toda la zona de estudio; para luego obtener la velocidad de fricción ecuación (30) y la resistencia aerodinámica ecuación (29) en las imágenes satelitales.

Estimados estos valores se ingresa a una fase iterativa donde se eligen los pixeles anclas (caliente y frío) para estimar los parámetros a y b que representan los coeficientes de la relación lineal entre  $T_s$  y  $dT$  de una muestra seleccionada y nos sirven para su estabilización.

Para el calcular la diferencia de temperatura en cada píxel se asume la siguiente ecuación:

$$dT = b + aT_s \dots \dots \dots (32)$$

Dónde;  $T_s$ , es la temperatura superficial, a y b son los coeficientes de correlación.

SEBAL, utiliza dos pixeles ancla, denominados “píxel frío” y “píxel caliente” para definir los coeficientes a y b. El criterio de selección del píxel frío es el siguiente; que sea un área provista de cobertura completa bien regada donde se asemejen la temperatura superficial con la temperatura del aire.

Además, se debe asumir que en el píxel frío la  $ET = R_n - G$ , de modo que el valor de flujo de calor sensible es cero, en otras palabras, toda la energía se utiliza para evaporar el agua. Otras características para la selección del píxel frío, es que debe representar una zona agrícola, con valores de NDVI altos, valores de albedo superficial de 0.22 a 0.24 y temperatura superficial mínima.

La ecuación 33, define el flujo de calor sensible en el píxel frío:

$$H_{(frío)} = R_n - G - \lambda ET_{frío} \dots \dots \dots (33)$$

La ecuación 34, explica que la ET en campos con cobertura vegetal densa es 5% mayor



que la evapotranspiración de referencia (ET<sub>r</sub>). por tanto, ET<sub>frío</sub> se calcula como:

$$ET_{frío} = 1.05 \times ET_r \dots \dots \dots (34)$$

De esta manera, se obtiene la ecuación 35, para el cálculo de H(frío):

$$H_{(frío)} = R_n - G - 1.05\lambda ET_r \dots \dots \dots (35)$$

Dónde: R<sub>n</sub> se calcula con ecuación (22), G se obtiene con la ecuación (27), ambos valores en el píxel frío, y λ es el calor latente de vaporación (J.kg<sup>-1</sup>) y se calcula con la ecuación 36.

$$\lambda = [2.501 - 0.00236(T_s - 273.15)] \times 10^6 \dots \dots \dots (36)$$

Con los parámetros calculados anteriormente, se obtiene dT en el “píxel frío” usando la inversa de la ecuación (37):

$$dT_{frío} = \frac{H_{frío} \times r_{ah\ frío}}{\rho_{frío} \times C_p} \dots \dots \dots (37)$$

Dónde: H<sub>frío</sub>, se obtiene de la ecuación (35), R<sub>ah frío</sub>, se determina con la ecuación (29), ambos para el píxel frío, C<sub>p</sub>, es la constante de capacidad de calor específico del aire (1004 J.kg<sup>-1</sup>/k), ρ, relacionado a la densidad del aire en el píxel frío.

Para calcular la densidad del aire se usa la ecuación 38, que obedece a la ley universal de los gases y contiene a la presión atmosférica en condiciones normales:

$$\rho_{air} = \frac{1000P}{1.01(T_s - dT)R} \dots \dots \dots (38)$$

Dónde: ρ<sub>air</sub> es la densidad del aire, R es la constante de gas específico (287 J. kg<sup>-1</sup>. K<sup>-1</sup>), T<sub>s</sub> - dT es la temperatura del aire superficial de la imagen satelital, P es la presión atmosférica media de la imagen satelital, y es estimado mediante la siguiente ecuación:

$$P = 101.3 \left( \frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} \dots \dots \dots (39)$$

Dónde: El número 293 representa la temperatura del aire estándar y Z representa el DEM o altura sobre el nivel del mar.

Para elegir el píxel caliente, se toma el dato del suelo desnudo, dentro de un área agrícola, pues, en ella se consideran que; la ETo es cero, NDVI menor, el índice LAI esté en un rango de 0 a 0.3 y el flujo de calor sensible en el píxel caliente, responde a la ecuación 40:

$$H_{caliente} = R_{n(caliente)} - G_{(caliente)} \dots \dots \dots (40)$$

Dónde:  $R_n$  (caliente) y  $G$  (caliente), son las cantidades estimadas del “píxel caliente”. De la misma manera, se estima el diferencial de temperatura superficial para el “píxel caliente”, indicado en la ecuación (37).

Posteriormente se estima  $dT$  para los dos píxeles anclas considerando una relación lineal entre  $dT$  y  $T_s$ , obteniéndose los valores de los coeficientes  $a$  y  $b$ , finalmente, se obtiene  $dT$  como imagen satelital en función de la temperatura superficial como se indica en la ecuación (37). Asimismo, la ecuación (41), estima la temperatura del aire ( $T_a$ ), que está en función del diferencial de temperatura:

$$T_a = T_s - dT \dots \dots \dots (41)$$

Dónde:  $T_s$ , es la temperatura superficial,  $dT$ , es la diferencia de temperatura estimada con la ecuación (37).

Por consiguiente, con la ecuación (38) se calcula la densidad del aire, y finalmente se estima todos los parámetros en este orden ( $H$ ,  $L$ ,  $\mu^*$  y  $r_{ah}$ ).

Las iteraciones deben realizarse hasta tener los valores de diferencial de temperatura ( $dT$ ) y la resistencia aerodinámica ( $r_{ah}$ ) estables, es decir que, el diferencial de temperatura y la resistencia aerodinámica tanto, en el píxel en frío y caliente se deben volver constantes. Utilizando la ecuación (42), se puede obtener la primera estimación de  $H$  en la imagen satelital:

$$H = \frac{\rho \times C_p \times dT}{r_{ah}} \dots \dots \dots (42)$$

Los parámetros  $\rho$ ,  $C_p$ ,  $dT$  y  $r_{ah}$ , de la ecuación 42, han sido ampliamente descritos en los

párrafos anteriores.

Para definir las condiciones de estabilidad atmosférica, Allen *et al.* (2002), aplican la teoría de la longitud de Monin-Obukhov (L), entrando en un proceso iterativo. L es la altura a la cual la fuerza de empuje y el mezclado del aire son iguales se calcula basado en el calor y flujo momentáneo:

$$L = - \frac{\rho C_p u_*^3 T_s}{kgH} \dots \dots \dots (43)$$

Dónde;  $\rho$  y  $C_p$  son la densidad y calor específico del aire, respectivamente,  $u^*$  es la velocidad de fricción,  $T_s$  es la temperatura de la superficie,  $g$  es la constante gravitacional ( $9.81 \text{ m.s}^{-2}$ ) y  $H$  es el flujo de calor sensible del aire ( $\text{W.m}^{-2}$ ) determinado en condiciones atmosféricas neutras y  $K$  es la constante de Von Karman (0.41).

La medición de las correcciones de estabilidad momentánea ( $\Psi_m$ ) y del transporte de calor ( $\Psi_h$ ), dependen de las condiciones atmosféricas y se calculan de la siguiente manera:

Si  $L < 0$ , quiere decir que el menor nivel de la atmósfera es inestable y si  $L > 0$  el límite es estable.

Cuando  $L < 0$ :

$$\Psi_{m(200m)} = 2 \ln \left( \frac{1+x_{(200m)}}{2} \right) + \ln \left( \frac{1+x_{(200m)}^2}{2} \right) - 2 \tan^{-1} x_{(200m)} + 0.5\pi \dots \dots (44)$$

$$\Psi_{h(1.25m)} = 2 \ln \left( \frac{1+x_{(1.25m)}^2}{2} \right) \dots \dots \dots (45)$$

$$\Psi_{h(0.1m)} = 2 \ln \left( \frac{1+x_{(0.1m)}^2}{2} \right) \dots \dots \dots (46)$$

Dónde;

$$x_{(200m)} = \left( 1 - 16 \frac{200}{L} \right)^{0.25} \dots \dots \dots (47)$$

$$x_{(1.25m)} = \left( 1 - 16 \frac{1.25}{L} \right)^{0.25} \dots \dots \dots (48)$$

$$x_{(0.1m)} = \left( 1 - 16 \frac{0.1}{L} \right)^{0.25} \dots \dots \dots (49)$$

Cuando  $L > 0$ ;

$$\Psi_{m(200m)} = -5 \left( \frac{200}{L} \right) \dots \dots \dots (50)$$

$$\Psi_{h(2m)} = -5 \left( \frac{2}{L} \right) \dots \dots \dots (51)$$

$$\Psi_{h(0.1m)} = -5 \left( \frac{0.1}{L} \right) \dots \dots \dots (52)$$

El valor ajustado para la velocidad de fricción ( $u^*$ ), se obtiene para cada iteración sucesiva como:

$$u_* = \frac{u_{200}k}{\ln\left(\frac{200}{z_{om}}\right) - \Psi_{m(200m)}} \dots \dots \dots (53)$$

Dónde;  $\Psi_{m(200m)}$  es la corrección momentánea a la estabilidad de transporte a 200 m y los demás parámetros han descritos anteriormente.

De la misma manera, el valor ajustado de la resistencia aerodinámica para el transporte de calor ( $r_{ah}$ ), se obtiene para cada iteración sucesiva como:

$$r_{ah} = \frac{\ln\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right) - \Psi_{h(Z_2)} + \Psi_{h(Z_1)}}{u_*k} \dots \dots \dots (54)$$

Dónde;  $Z_2$  es igual a 1.25 m,  $Z_1$  es igual a 0.1 m,  $\Psi_{h(Z_2)}$  y  $\Psi_{h(Z_1)}$  son los ajustes de estabilidad al transporte de calor para las dos alturas  $Z_1$  y  $Z_2$ .

Con los valores de  $u^*$  y  $r_{ah}$  ajustados, se vuelve a calcular los valores de  $dT$  para los píxeles ancla (“píxel frío” y “píxel caliente”), con la ecuación (37), siguiendo el proceso descrito hasta estimar una corrección de estabilidad nueva. El proceso es repetitivo y se realiza hasta que los valores para  $dT$ ,  $r_{ah}$ ,  $u^*$  y  $H$  en el píxel caliente, se estabilicen. Esto quiere decir que, para los sucesivos valores se tenga una diferencia menor al 1%, como lo menciona Messina (2012).

- **Flujo de calor latente de evaporación ( $\lambda ET$ )**

Para determinar el flujo de calor latente (LE) se usa el balance de energía indicado en la ecuación (55). Las principales variables para su cálculo son la radiación neta, el flujo de

calor de suelo, el flujo de calor sensible del aire.

$$\lambda ET = R_n - G - H \dots \dots \dots (55)$$

Dónde;  $\lambda ET$  es un valor puntual del momento en que pasa el satélite, cuyas unidades son en  $w m^{-2}$ .

**d. Evapotranspiración real diaria (ET24)**

Para obtener la ET24, primero se debe obtener la evapotranspiración instantánea (ETinst), este se adquiere dividiendo el flujo de calor latente ( $\lambda ET$ ) por el calor latente de vaporización ( $\lambda$ ), de la siguiente manera:  $ET_{inst} = \lambda ET / \lambda$ , y al multiplicarlo por 3600 obtenemos la evapotranspiración horaria (ET<sub>H</sub>).

$$ET_H = 3600 \times \frac{\lambda ET}{\lambda} \dots \dots \dots (56)$$

Dónde:  $\lambda$  tiene un valor cerca de  $2.45 MJ.Kg^{-1}$ , y puede ser estimado mediante la ecuación (36).

La fracción de evapotranspiración de referencia horaria (ET<sub>rF</sub>), según Allen et al. (2002), se considera constante para todo el día y se obtiene con la siguiente ecuación:

$$ET_r F = \frac{ET_H}{ET_r} \dots \dots \dots (57)$$

Dónde: ET<sub>r</sub> es la evapotranspiración de referencia horaria, obtenido de la estación agrometeorológica, ubicado en la Estación Experimental Vista Florida –EEVF, ( $mm.h^{-1}$ ). La ET<sub>rF</sub> es similar al conocido coeficiente de cultivo K<sub>c</sub> y es usado para extrapolar la evapotranspiración horaria a períodos mayores como el diario. Mediante SEBAL se determina la ET24 considerando a la ET<sub>rF</sub> como un promedio durante las 24 horas.

$$ET_{24} = ET_r F \times ET_{r_{24}} \dots \dots \dots (58)$$

Dónde: ET<sub>r<sub>24</sub></sub> es la evapotranspiración de referencia en un día.

## **2.4. COEFICIENTE DEL CULTIVO ( $K_c$ )**

Allen *et al.* (2006), definen al  $K_c$  como una característica que describe rasgos biológicos propios del cultivo. Algunas de las características son, la altura, funcionamiento estomático, área foliar, y el sistema de conducción. El  $K_c$  se obtiene del cociente entre la evapotranspiración del cultivo ( $E_{Tc}$ ) y la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ).

Asimismo, el  $K_c$  tiene una relación directa con las etapas fenológicas del cultivo y se define con la curva de  $K_c$ , la que indica la etapa inicial, desarrollo, mediados y final de temporada. La primera etapa del cultivo se desarrolla desde la siembra hasta alcanzar el 10% de cobertura sobre el suelo, la etapa de desarrollo, inicia cuando acaba la primera fase y dura hasta el crecimiento de la vegetación de forma activa, la etapa intermedia, inicia con la floración y termina cuando la cobertura vegetal alcance un máximo de 70 a 80%. La etapa final, inicia con la madurez y termina en la cosecha.

La combinación de la transpiración y evaporación del cultivo y suelo, respectivamente, se integran para determinar el  $K_c$ , que es una característica única de cada cultivo.

### **2.4.1. Factores que determinan el coeficiente del cultivo**

El coeficiente del cultivo descrito por Allen *et al.* (2006), incorporan las características distintivas de un cultivo típico de campo en comparación con el pasto de referencia, que tiene un aspecto uniforme y ocupa toda la superficie del suelo. Por consiguiente, cada cultivo adquiere un  $K_c$  distinto. Además, las variaciones de las características del cultivo durante su crecimiento afectarán el valor del  $K_c$ . Finalmente, la afectación de la evaporación del suelo, también repercute en el valor final del  $K_c$ .

### **2.4.2. Importancia del coeficiente del cultivo**

Rodríguez (2012), menciona que la rapidez con la que crece un cultivo es importante, ya que el  $K_c$  cambia de acuerdo al ciclo fenológico, adquiriendo los valores más altos cuando el cultivo llega a su índice máximo de área transpirante. Asimismo, según lo propuesto por Wherley *et al.* (2015), el  $K_c$  de las gramíneas, tendrá cambios basados primordialmente en el tipo de suelo y condiciones del clima, debido a que no existen variaciones notorias en el desarrollo del este cultivo.

Por lo tanto, según lo detalla Rodríguez (2012), es de gran importancia calcular el  $K_c$  para gestionar el uso de agua en el riego, aumentar los rendimientos del cultivo, obtener calidad óptima del producto cosechado, ahorrar energía y minimizando el desperdicio de ambos recursos. Asimismo, el  $K_c$  es un valor fundamental para diseñar los sistemas de riego.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo de investigación se desarrolló con información de la campaña agrícola 2018 (meses de febrero a junio) y se encuentra ubicado en la estación experimental (EE) Vista Florida del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), del distrito de Picsi, provincia de Chiclayo, región Lambayeque. Limita por el norte con Piura, por el este con Cajamarca, y por el sur con La Libertad.

Políticamente se ubica en el departamento de Lambayeque, en la provincia de Chiclayo, en el distrito de Picsi, y su sede física se encuentra en el km. 8 de la carretera Chiclayo – Ferreñafe. Geográficamente se encuentra ubicado a  $06^{\circ}43'34''$  de Latitud Sur, y a  $79^{\circ}46'49''$  de Longitud Oeste, a una altitud aproximada de 30 m.s.n.m. Mayor detalle se aprecia en la Figura 9 y Figura 10.

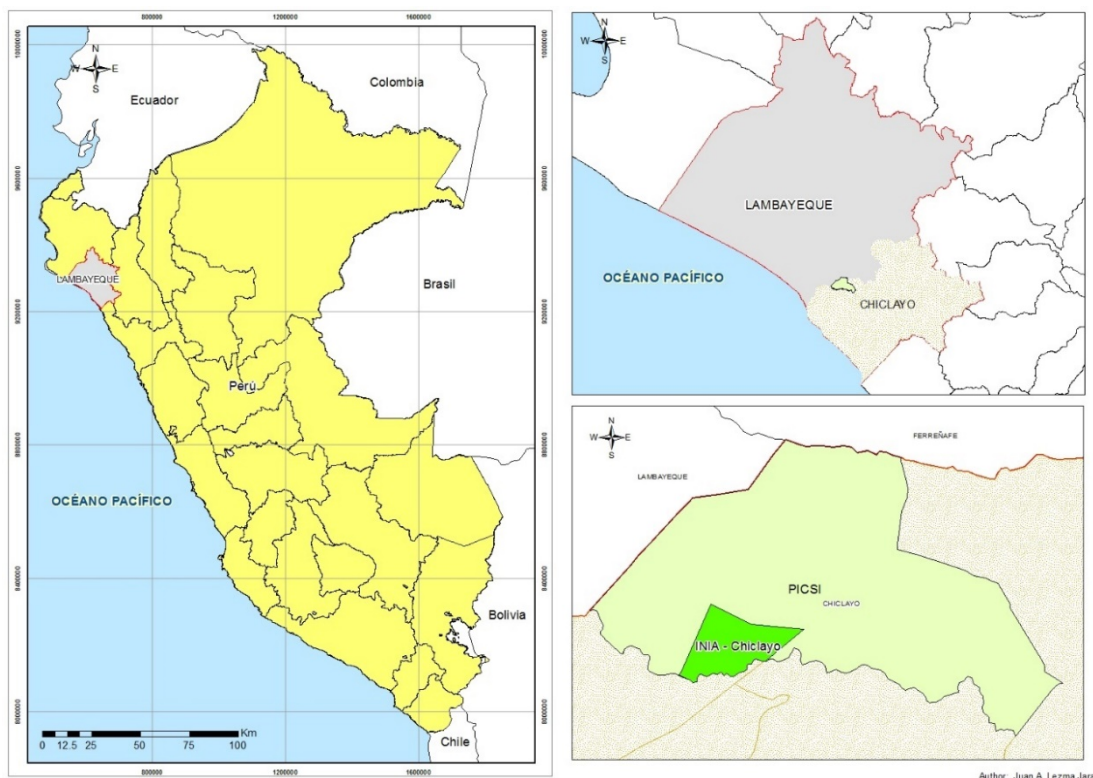
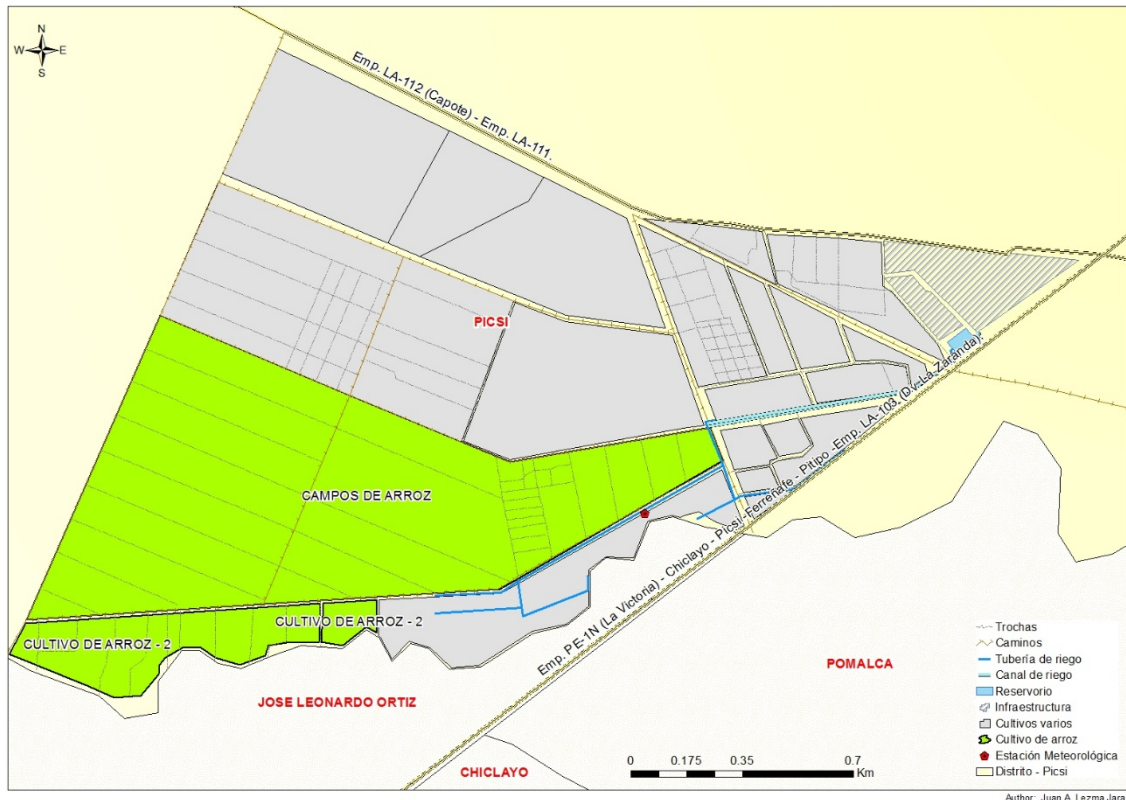


Figura 9: Ubicación general del proyecto





**Figura 10: Estación experimental Vista Florida – INIA, distrito de Pícsi, Chiclayo**

El área tiene un clima templado–cálido. la Estación Experimental Vista Florida, cuenta con una estación automática del tipo meteorológica, la cual se encuentra ubicada en los  $79.79^\circ$  de longitud Oeste y  $6.73^\circ$  de latitud Norte, esta se encuentra en funcionamiento monitoreando los parámetros meteorológicos de humedad relativa, precipitación, temperatura, velocidad y dirección del viento, y energía, utilizándose los datos para los meses de enero a junio del 2018.

### **3.1.1. Datos meteorológicos del presente trabajo de investigación:**

Los datos meteorológicos se han obtenido de la estación Vista Florida, que está ubicado dentro del campo experimental de INIA-Vista Florida y cerca de los campos de arroz, la información adquirida ha sido a nivel horario, para los meses de enero – junio del 2018, como se muestra en Tabla 5 y Tabla 6.

**Tabla 5: Datos de humedad relativa y precipitación acumulada de la EEVF – Campaña 2018**

Mes	Humedad			Precipitación (mm)
	Máxima	Mínima	Media	
Enero	93.03	38.39	72.26	1.30
Febrero	97.61	44.14	80.46	50.50
Marzo	99.29	55.03	84.19	9.10
Abril	97.70	33.83	76.83	0.30
Mayo	97.77	52.42	78.71	2,00
Junio	97.50	54.90	81.90	0.40

**Tabla 6: Datos de temperatura y radiación de la EEVF – Campaña 2018**

Mes	Temperatura en °C			Energía (KJ.m <sup>-2</sup> )
	Media	Máxima	Mínima	
Enero	23.53	31.15	18.47	4842.24
Febrero	24.72	31.20	18.53	4862.03
Marzo	23.55	31.19	18.50	4915.90
Abril	22.95	31.21	18.51	4890.13
Mayo	20.87	31.28	18.60	4818.77
Junio	19.11	31.37	18.74	4824.78

### 3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS DE CÓMPUTO

Para el desarrollo de la investigación se emplearon diferentes insumos que se describen a continuación. En la Tabla 7 se presentan las imágenes satelitales utilizadas en la investigación y en la Tabla 8 se mencionan los materiales utilizados para la investigación. En Anexo 1 se presentan las imágenes de los equipos utilizados y en Anexo 2 se presenta el reporte de parámetros agrometeorológicos de la estación Vista Florida.

#### 3.2.1. Información espacial

##### a. Imágenes de VANT

Se cuenta con imágenes del VANT tomado las fechas 08 de febrero y 28 de abril del 2018, para los campos de arroz en estudio, en la estación experimental Vista Florida del Instituto de Innovación Agraria (INIA), Chiclayo.

##### b. Imágenes satelitales

Se obtuvo seis imágenes satelitales, tres imágenes pertenecen al satélite Landsat 8, con una resolución espacial de 30 x 30 m, y resolución temporal de 16 días, correspondientes a 11/02, 28/02 y 03/06/ del 2018 y, tres imágenes Landsat 7 correspondientes a las fechas 07/03,

24/04 y 10/05 del 2018. Estas imágenes han sido seleccionadas en función a la campaña agrícola del arroz en la EE INIA Vista Florida. El mes de abril fue utilizado para el procesamiento, por tener una mayor cobertura en campos de arroz sembrados y con mayor vigorosidad. De la misma manera, la imagen satelital del mes de abril fue considerada para realizar la validación de los datos de NDVI con la imagen VANT.

**Tabla 7: Imágenes Satelitales utilizados en la investigación**

Columna	10°		
Fila	65°		
Imagen Satelital	Fecha	Satélite	
LC08_L1TP_010065_20180211_20180222_01_T1	11.02.2018	Landsat 8	
LC08_L1TP_010065_20180227_20180308_01_T1	28.02.2018	Landsat 8	
LE07_L1TP_010065_20180307_20200829_02_T1	07.03.2018	Landsat 7	
LE07_L1TP_010065_20180424_20200829_02_T1	24.04.2018	Landsat 7	
LE07_L1TP_010065_20180510_20200829_02_T1	10.05.2018	Landsat 7	
LC08_L1TP_010065_20180603_20180603_01_RT	03.06.2018	Landsat 8	

### c. Modelo de elevación digital

La imagen descargada es un modelo digital global ASTER (ASTER GDEM, por sus siglas en inglés) versión 2, producida conjuntamente por el Ministerio de Economía, Comercio e industria de Japón (Ministry of Economy, trade and Industry – METI) y la administración Nacional Aeronáutica y Especial (National Aeronautics and Administration – NASA), de 30 metros de resolución espacial. La descarga se realizó de manera gratuita de la página de la USGS <https://earthexplorer.usgs.gov>.

**Tabla 8: Resumen de equipos y herramientas computacionales**

Información espacial	Características técnicas	Uso y aplicación	
Imágenes de satélite	Satélites Landsat 7 y 8, resolución espacial de 30x30 m, resolución temporal de 16 días	Imágenes Landsat 8, sensor OLI y TIRS	
Modelo de elevación digital	Imagen satelital con resolución de 30x30 m, con información de elevación por píxel	Utilizado en el pre y post-procesamiento, metodología SEBAL	
Equipos	Características técnicas	Uso y aplicación	
VANT	Marca DJI, modelo Matrice 210.	Permitió el acoplamiento de las cámaras y levantamiento de imágenes del área de estudio.	
	Cámara digital de alta resolución	Para la toma de fotos en campo	
Ceptómetro Greenseker handheld crop sensor	Cámara multispectral marca Parrot, modelo Parrot - Sequoia	Permitió la captura de imágenes en bandas (Blue, Green, Red, Red edge y NIR)	
		Medidor de índice de área foliar	
GPS Navegador	GPS Etrex 30, 25 hr de batería, memoria de 1.7 Gb.	Medidor de NDVI	
		Ubicación de los puntos medidos en campo	
Herramientas computacionales	Características técnicas	Uso y aplicación	
	Pix4D	Software fotogramétrico, desarrollado por la compañía Suiza, para la plataforma de vehículos aéreos no tripulados	Para el pre-procesamiento de las imágenes multispectrales
	Software libre Qgis	Herramienta de software de sistemas de información geográfica	Utilizado para el pre-procesamiento, procesamiento de las imágenes y estadísticas zonales
	Software Arcgis	Herramienta de software de sistemas de información geográfica	Utilizado para presentación de mapas finales
	AutoCad Civil 3D	Herramienta de software para digitalización de planos	Visualización de plano de la Estación Experimental Vista Florida

### 3.3. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS Y DE SUELO

En la EE Vista Florida, en la zona del semillero se tuvo la variedad de grano INIA 513 – La Puntilla, este es un grano largo, delgado y translúcido. Es un cultivar de ciclo intermedio, que madura antes que la variedad IR 43. En parcelas experimentales ha llegado a producir 13.5 t/ha de arroz cáscara, en Chepén (La Libertad) y, 13.0 t/ha en Fala (Lambayeque). En parcelas comerciales se han registrado rendimientos superiores a las 12.7 t/ha de arroz cáscara.

- Variedad: INIA 513 – La Puntilla.
- Altura de la planta: 95 cm – 108 cm.
- Días a la maduración total del grano: 145 días.
- Tamaño de la panoja: 26.6 cm.
- Número de granos llenos por panoja: 173.
- Peso de mil granos: 28.3 g.
- Respuestas a enfermedades y plagas

La Puntilla presenta un menor ataque de mosca minadora y sogata que las variedades IR 43 y Tinajones. Igualmente, INIA 513 – La Puntilla presenta una menor incidencia del virus de la Hoja blanca, de pudriciones fungosas y de falso carbón que las variedades mencionadas. Según la información de la EE Vista Florida, el análisis fisicoquímico del suelo en las zonas de parcelas demostrativas, así como la zona del semillero, indican que, son suelos de textura franco arcillo limoso con 44% de limo, 36% de arcilla y 20% de arena.

### **3.4. MANEJO AGRONÓMICO**

En la EE Vista Florida se realizan los tratamientos del control de malezas de acuerdo a las etapas de crecimiento de la planta. Los distintos grupos de malezas, que son controlados para el crecimiento óptimo del cultivo de arroz, en la EE Vista Florida son:

- Malezas de hoja angosta – gramíneas
- Malezas de hoja angosta – ciperáceas
- Malezas de hoja ancha – dicotiledóneas

La etapa crítica de competencia entre cultivo de arroz (*Oryza sativa*) y las malezas, es en la etapa de crecimiento del cultivo, donde las malezas por efecto de la competencia causan reducción significativa de los rendimientos del arroz. Esto podría estar influenciado por el método de siembra, la especie de maleza que compite con el cultivo de arroz, las condiciones ambientales, agua, fertilidad del suelo, así como las interacciones entre estos factores. Sin embargo, para el control de malezas en la EE Vista Florida, se usan técnicas preventivas y prácticas de cultivo, tales como:

- Uso de semillas certificadas, es decir, libre de semillas de malezas.
- Preparación y nivelación apropiada del terreno a fin de obtener un buen desarrollo

del cultivo, así como una emergencia mecánica simultánea de las malezas para su control mecánico y químico.

- Deshierbo (eliminación de plantas atípicas y plantas remanentes) en los semilleros de arroz.
- Manejo oportuno de agua.
- Uso de semillas pre-germinadas en almácigo a fin de ganar tiempo en instalación.
- Manejo oportuno de fertilizantes.
- Empleo de distanciamientos óptimos entre plantas de arroz.
- Siembra de variedades mejoradas y adaptadas a la zona.

### **3.5. PROCEDIMIENTO**

Este procedimiento muestra la utilidad de los sensores de campo, tales como el greenseeker y ceptómetro, que se desarrolla en el numeral 3.3.1., literal (a), así como el uso del VANT y de las imágenes satelitales Landsat desarrollados en el numeral 3.3.1 literal (b).

#### **3.5.1. Estimación de NDVI e IAF**

##### **a. Medición en campo con equipo manual greenseeker y ceptómetro**

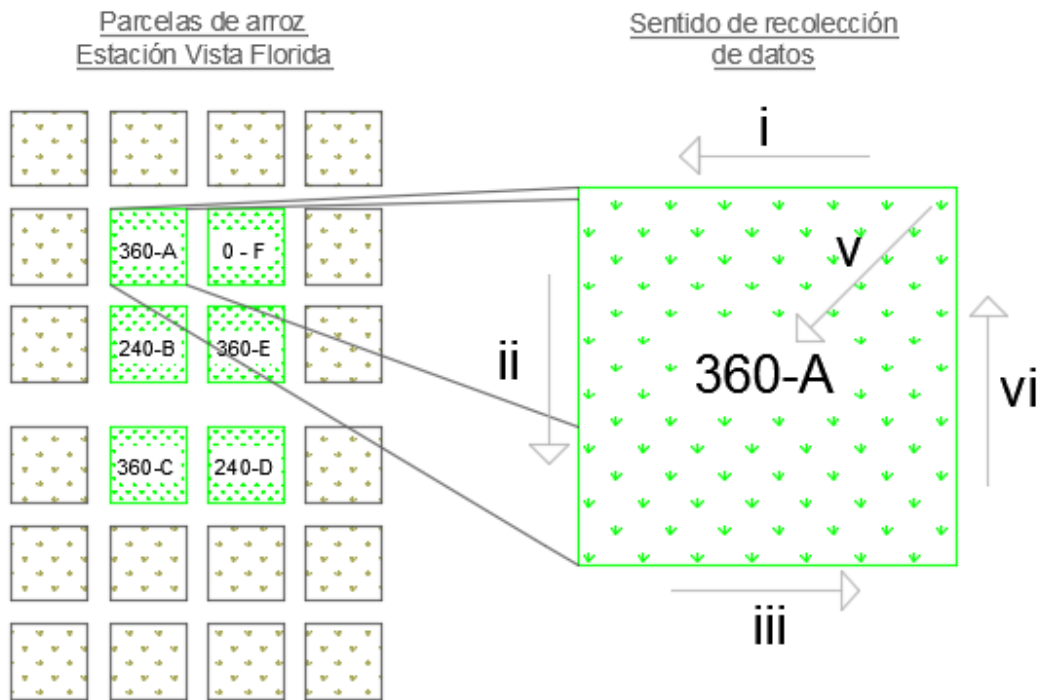
Colecta de datos NDVI con equipo manual Greenseeker; el día 27 de abril se realizó la colecta de datos, ello se realizó para diferentes zonas del cultivo de arroz; la zona de cultivo llamado “semillero”, tiene una extensión de ocho (08) hectáreas y se tomaron 1164 datos, en la zona de cultivo de “parcelas demostrativas” bajo riego controlado; se tomaron un total de 850 datos, estas parcelas demostrativas fueron denominadas con una codificación de números y letras para facilitar la recolección de datos y distinción entre ellas, los que se mencionan; parcela 240-B (133 datos), parcela 360-C (132 datos), parcela 240-D (140 datos), parcela 360-E (158 datos), parcela 360-A (146 datos) y parcela 000-F (141 datos), todas con un área de 5m x 5m, largo y ancho, respectivamente. Para la colecta de datos NDVI con equipo manual Greenseeker, se realizó los siguientes pasos:

- Se tomó datos de suelo desnudo antes de la toma de datos del cultivo para determinar NDVI sin cobertura.
- La toma de datos se dio con cielo despejado.
- El equipo greesseeker se mantuvo a una distancia de 0.60 m sobre la altura del cultivo de arroz, tal como se indica en el manual.

- Se tomaron los datos de los bordes de las parcelas y semillero, por lados, en sentido contrario a las agujas del reloj, asimismo, se tomó datos de la diagonal de las parcelas, para obtener información dentro de cada parcela, como se visualiza en la Figura 11.

Para la colecta de datos de índice de área foliar (IAF) se utilizó el Ceptómetro; Se utilizó un Ceptómetro AccuPAR con 80 sensores que captan la radiación fotosintéticamente activa (PAR), distribuidos homogéneamente sobre una barra de 1 m de largo. El modelo del equipo es LP-80 (Decagon Devices, Inc.). Con este instrumento se realizó mediciones de interceptación de la radiación solar. Estas mediciones se realizaron en dos partes de la planta; el primero se midió con el sensor externo (PAR<sub>0</sub>) por encima de la planta, en el último brote apical de crecimiento y con el sensor interno de barra (PAR<sub>z</sub>), se realizó la medición en la base de la planta. Para este método se utilizó las siguientes consideraciones:

- Se realizó la calibración del ceptómetro respecto a su ubicación, coordenadas geográficas y azimut.
- Se procuró recoger los datos a partir del mediodía.
- Se tomaron los datos de cada parcela seleccionada, las parcelas seleccionadas fueron nombradas con los siguientes códigos: 360 – A, 240 – B, 360 – C, 240 – D y 360 – E, de la forma como se expresa en la Figura 11.
- El primer sensor (Sensor de barra) se ubicó a 10 cm sobre el nivel del suelo, y debajo del nivel de follaje, el segundo sensor se ubicó 30 cm sobre la altura de la planta tratando de que quede nivelado en todo momento.
- Para cada toma de datos, también se realizaron mediciones de altura de plantas.

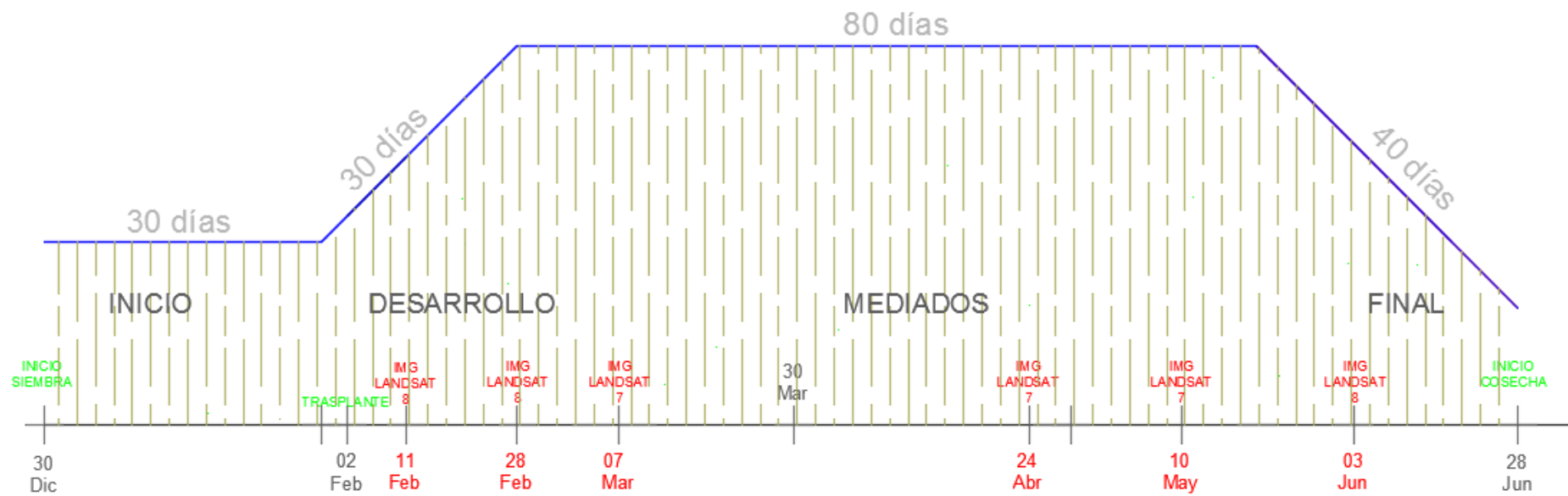


**Figura 11: Esquema de distribución de parcelas y sentido para recolección de datos NDVI y LAI**

Este instrumento, calcula IAF a través de la medición de la diferencia entre los niveles de la luz que llega por encima de la planta y la luz que llega en la base de la planta, por el factor en la distribución del ángulo de las hojas, ángulo cenital solar, y el coeficiente de extinción de la planta. Todos estos factores en combinación realizan un ajuste para estimar el índice de área foliar de la planta.

En lo que respecta a la fenología del cultivo de arroz, se identificó en campo que, el cultivo de arroz tuvo una fecha de siembra el 30 de diciembre del 2017, y una fecha de trasplante el 02 de febrero del 2018, y tomando como referencia el manual 56 de la FAO, cuyas etapas fenológicas del cultivo de arroz con fecha de siembra iniciado en diciembre, se indica que la etapa inicial dura 30 días, la etapa de desarrollo dura 30 días, la etapa de mediados dura 80 días, y la etapa final dura 40 días, que en total son 180 días. En la Figura 12 se aprecia las etapas del cultivo de arroz.





**Figura 12: Etapas del cultivo de arroz, de la estación Vista Florida**

Se obtuvieron datos puntuales en las parcelas demostrativas de los campos de arroz de la EE INIA Vista Florida, así como de la zona del semillero. Los datos fueron tomados 60 cm sobre la altura del cultivo de arroz, de acuerdo a las características técnicas del equipo manual GreenSeeker.

Los datos tomados dentro de esta área mínima, fueron comparados con los datos de NDVI e IAF del resultado de las imágenes del VANT, con fecha de imagen, 28 de abril del 2018.

Gutiérrez *et al.* (2011), afirman que, debido a su normalización, los rangos de medición del NDVI se encuentran entre -1.0 y 1.0, siendo los valores más altos (0.7 – 0.8) indicadores de plantas en las mejores condiciones. Un valor de 1 representaría la densidad más alta posible de hojas verdes y saludables. Los suelos descubiertos generan valores positivos bajos (0.1 a 0.2), y el agua libre valores que van desde -0.1 hasta 0.1 ó 0.2. Valores de -1 se registran en superficies blancas como la nieve, el hielo o las nubes, mientras que cero indica ausencia de vegetación.

## **b. Características de imágenes VANT y satélite**

### **• VANT**

Se realizó el vuelo con equipo VANT, a fin de obtener mayor área monitoreada y compararlo con las imágenes satelitales. Por lo cual, se obtuvieron imágenes de VANT de las parcelas demostrativas y de los semilleros de arroz con tamaño de resolución de pixeles de 0.05 m x 0.05 m.

Posteriormente, la banda Red del rango visible y la banda NIR del rango infrarrojo de las imágenes del VANT, se procesaron en el software PIX4D mapper, para obtener valores NDVI. Asimismo, utilizando la ecuación (3), y con los archivos generados del software PIX4D Mapper, se obtuvo el IAF, para las parcelas.

### **• Imágenes satelitales**

Las imágenes satelitales Landsat 7 y 8, son descargadas de internet desde la página web USGS y su resolución espacial es de 30 m x 30 m, En el pre proceso de las imágenes

satelitales se depuró los datos de ND (Niveles Digitales) de las imágenes que no entran en el modelo, para eliminar errores de precisión. Posteriormente estimó la reflectancia para luego calcular el NDVI. El IAF, es un valor adimensional y se calcula mediante la ecuación (3).

#### – **Preprocesamiento de imágenes satelitales**

En esta etapa se usó el software de teledetección QGIS 2.18 para realizar el preprocesamiento de las imágenes Landsat 7 y 8, utilizando la herramienta Semi-Automatic Classification Plugin – SCP.

Se realiza la conversión de los niveles digitales (ND) a reflectancia en el tope de la atmósfera, TOA. Para determinar esta reflectancia, se realizan los siguientes cálculos:

- Transformación de los ND a radiancia de las imágenes satelitales adquiridas, se obtiene con la ecuación (7).
- Conversión a reflectancia; Se utiliza la ecuación (10).
- Distancia relativa entre la tierra y el sol; se estima con la ecuación (8).
- Reflectancia; Para corregir la reflectancia en función al ángulo solar y de la distancia astronómica tierra-sol, se usará la ecuación (11).

Para las imágenes Landsat 8, la reflectancia se estima con la ecuación (10) para el tope de la atmósfera y añadiendo el ajuste del ángulo solar se estima mediante la ecuación (11) para la superficie.

- Albedo; El albedo varía en el espacio y el tiempo y se obtiene de la ecuación (15).

Para ambos casos de imágenes LANDSAT, la metodología de Corrección DOS1, Dark Object Substraction (DOS) o substracción de objeto oscuro, explica que “la suposición básica es que en la imagen algunos píxeles están completamente en sombra, y sus radiancias recibidas en el satélite se deben a la dispersión atmosférica (efecto bruma). Esta suposición es combinada con el hecho de que muy pocos elementos en la superficie de la Tierra tienen un color negro absoluto, por lo tanto, una reflectancia asumida de uno por ciento es mejor que un cero por ciento”. El efecto bruma es dado por la ecuación (59):

$$L_p = L_{min} - L_{DO1\%} \dots \dots \dots (59)$$

Dónde:  $L_{min}$  = “radiancia que corresponde a un valor digital para el cual la suma de todos los píxeles con valores digitales menores o iguales al 0.01% de todos los píxeles de la imagen considerada”,  $L_{DO1\%}$  = radiancia del objeto oscuro, con un valor asumido de reflectancia de 0.01.

El mapa de elevación digital proviene de los productos ASTER GDEM (Aster Global Digital Elevation Model), y este ha sido utilizado ampliamente en toda la investigación. Con esta información se pudo estimar los parámetros como la transmisividad atmosférica  $\tau_{sw}$  y densidad del aire ( $\rho$ ).

### **c. Ajuste y validación**

Para la validación del NDVI y el IAF se realizó el análisis estadístico, donde se midió la relación entre dos variables (variable dependiente e independiente), obteniendo una función lineal específica.

Asimismo, se obtuvo la representación gráfica de la relación lineal entre las variables, representado mediante diagramas de dispersión y se calculó el estadístico de correlación lineal de Pearson y bondad del ajuste a partir del cálculo del coeficiente de determinación  $r^2$ . Para esto se realizará lo siguiente:

Los valores NDVI fueron tomados en campo con la herramienta GreenSeeker y los valores IAF fueron tomados con el ceptómetro, los cuales fueron acompañados con datos de coordenadas UTM WGS 84, y registrados en un GPS Garmin Etrex 30, el cual nos da las coordenadas del punto de toma de muestra.

Estos puntos fueron ingresados al software de procesamiento de información geográfica, y cada uno de estos puntos fue comparado dentro de cada píxel de la imagen VANT.

Asimismo, se realizó la extracción de datos NDVI e IAF de imágenes satelitales y de VANT. Para esto se utilizó el QGIS 2.18. Para obtener la información, se ubicó un área de muestra, en forma circular, con un tamaño de radio de 110 metros, luego esta zona fue extraída para la imagen satelital landsat 7 del 24 de abril y la imagen del VANT del

mes de abril, así mismo, se extrajo los valores de cada pixel de la imagen satelital, en forma de vector de área (cada pixel de la imagen satelital se convirtió en un vector de forma cuadrada, luego se utilizó la herramienta de estadística zonal del software QGIS 2.18, para determinar los valores promediados de los pixeles del VANT que se encuentran dentro del área cuadrada vectorial hallado anteriormente, los valores promedio del VANT, fueron comparados con los valores extraídos de la imagen satelital, para luego realizar la validación, hallando sus estadísticos, tales como, diagrama de cajas, diagrama de dispersión, coeficiente chi-cuadrado, coeficiente de correlación de Pearson, Raíz del error cuadrático medio y eficiencia del coeficiente de Nash – Stuclyffe.

La validación de resultados debe seguir los siguientes criterios estadísticos:

- Un diagrama de cajas o un histograma son gráficos sencillos que permitió comprobar, de un modo puramente visual, la simetría de la distribución de una variable y, por lo tanto, valorar su desviación de la normalidad.
- Diagrama de dispersión chi-cuadrado y coeficiente de correlación de Pearson; el coeficiente de correlación de Pearson, verifica el grado de asociación entre dos variables, cuyos valores varían de -1 a +1. Los valores próximos a +1 comunican una directa asociación, valores cercanos a -1 indican asociación indirecta y valores próximos a 0 expresan que no existe asociación.
- Raíz del error medio cuadrático (RMSE); Es una cantidad que nos ayuda a medir el desempeño del modelo en relación a lo observado. Por lo tanto, para  $RMSE = 0$ , indica un ajuste perfecto, para  $RMSE > 0$ , indican baja performance. El cálculo de RMSE se aplica con la siguiente ecuación.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \dots \dots \dots (60)$$

Dónde;  $X_i$  es el NDVI estimado de imágenes satelitales,  $Y_i$  es el NDVI medido en campo mediante VANT y  $n$  es el número de datos evaluados.

- La eficiencia de Nash – Stuclyffe, mide cuanto de la variación de los valores observados se explica por el modelo de estimación, se expresa en la ecuación (61):

$$EF_{Nash} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_0)^2} \dots \dots \dots (61)$$

Dónde:  $Y_{si}$ , es el parámetro estimado con la imagen de satélite;  $X_i$  es el parámetro observado en campo con los equipos de medición;  $X_0$  es el valor medio de los datos observados con los equipos de medición;  $n$  es la cantidad de datos. En la Tabla 9 se

observa los valores de Nash – Stueliffe.

**Tabla 9: Eficiencia de ajuste del índice de Nash – Stueliffe**

Eficiencia	Ajuste
<0.2	Insuficiente
0.2 – 0.4	Satisfactorio
0.4 – 0.6	Bueno
0.6 – 0.8	Muy Bueno
>0.8	Excelente

FUENTE: Moriasi *et al.*, (2007)

- Desviación estándar; Como último punto se calculó la desviación estándar de la información obtenida de campo y de las imágenes de drone, tanto para el NDVI como para el IAF, los cuales se calcularon de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \dots \dots \dots (62)$$

### 3.5.2. Balance de energía mediante SEBAL

Para poder obtener el balance de energía mediante SEBAL, ésta se divide en dos secciones, en la primera parte se usa la reflectancia que fue estimada por métodos de corrección atmosférica, en el pre-procesamiento. En la segunda parte se utilizan los NDVI, SAVI, IAF, validados y ajustados, para calcular la evapotranspiración, realizando el balance de energía. Esto se puede apreciar en la Figura 13.

La evapotranspiración de SEBAL, estima los componentes del balance de energía (Rn, G, H y λET) de forma distribuida para el área de estudio.

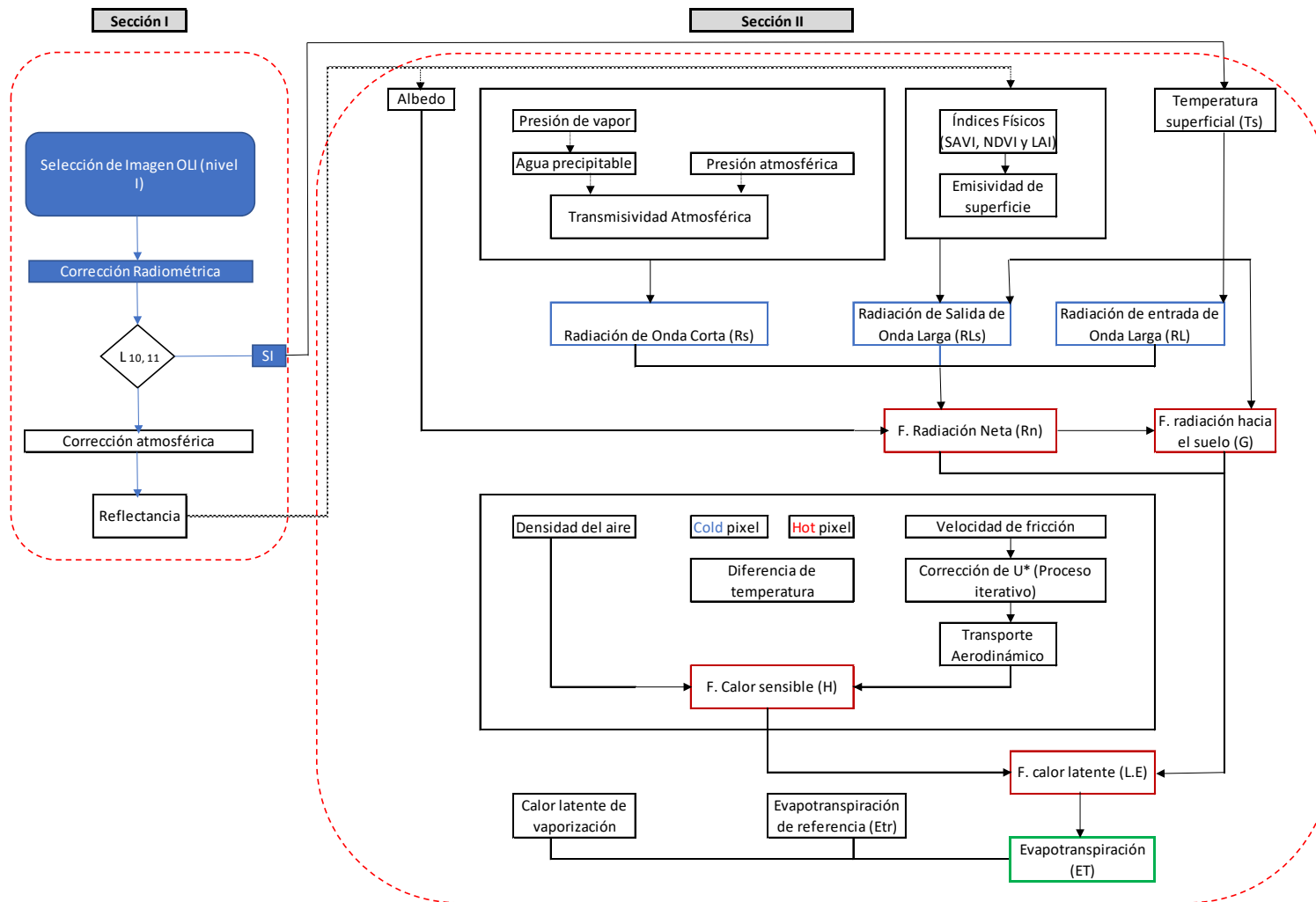
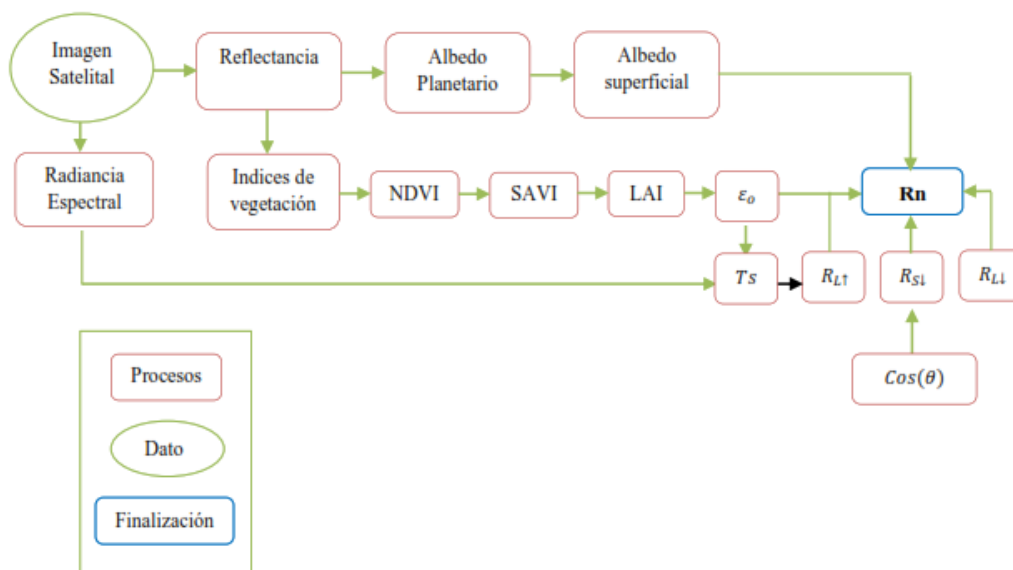


Figura 13: Flujograma general para la obtención de la evapotranspiración

**a. Modelo SEBAL**

• **Radiación neta (Rn)**

Para calcular la radiación neta, primero se convirtió los niveles digitales (ND) a radiancias ( $L\lambda$ ) en el caso de las bandas térmicas, y a reflectancias ( $\rho\lambda$ ) las bandas (2, 3, 4, 5, 6 y 7) para Landsat 8. Posteriormente se calculó el albedo superficial ( $\alpha$ ), utilizando la ecuación (15). También se calculó el NDVI, SAVI y LAI, y con estos se determinó la emisividad de la superficie que se desarrolla en la ecuación (17), este último sirvió para ajustar el valor de la temperatura de brillo, estimando la temperatura superficial calculado con la ecuación (19). En la Figura 14, se aprecia el procedimiento establecido para determinar la Rn.

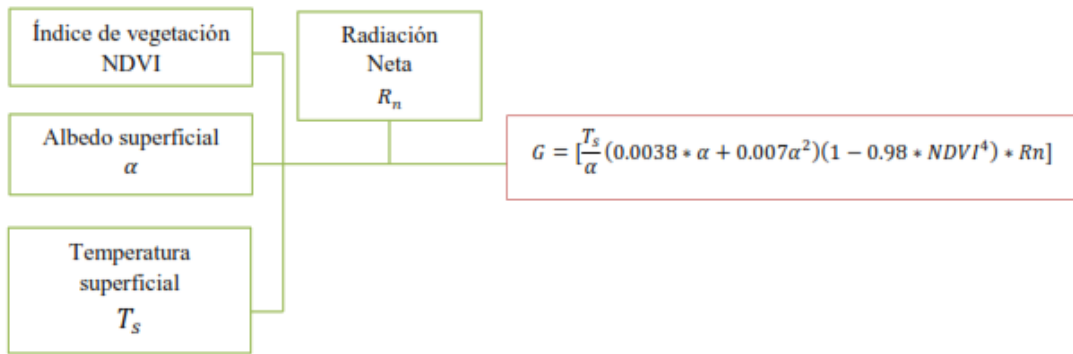


**Figura 14: Flujograma de estimación de radiación neta**

• **Flujo de calor del suelo (G)**

EL flujo del calor del suelo (G) es calculado con la ecuación indicada por Allen *et al.*, (2002), descrito en la ecuación (27). En la Figura 15 se aprecia el procedimiento para estimar G, los parámetros utilizados son el NDVI estimado con la ecuación (1), el albedo superficial ( $\alpha$ ) con la ecuación (15), temperatura superficial ( $T_s$ ) con la ecuación (19) y la radiación neta (Rn) con la ecuación (22).

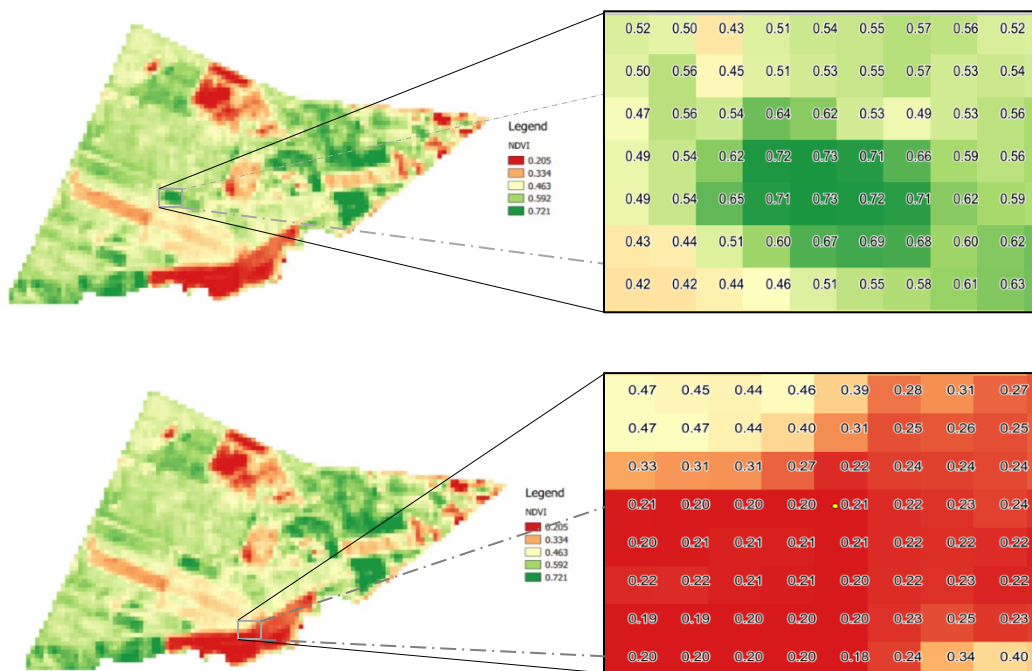




**Figura 15: Flujo de estimación de calor del suelo**

- **Flujo de calor sensible del aire (H)**

El flujo de calor sensible del aire, depende del diferencial de temperatura, por lo que, para estimar este  $dT$ , se seleccionaron los píxeles ancla, como se menciona en la literatura. En la Figura 16, se presenta el esquema de la selección del píxel frío y caliente en la imagen NDVI.



**Figura 16: Esquema de selección del píxel frío y caliente en la imagen NDVI**

Para la elección del píxel “frío” se eligió una muestra de píxeles con los valores más altos de NDVI y temperatura superficial mínima, garantizando que el píxel “frío” elegido determine una evapotranspiración máxima.

El píxel “caliente” se eligió de una muestra con valores de NDVI bajos y temperatura superficial alta, para finalmente seleccionar el píxel “seco”, representado en áreas de cultivo con suelo desnudo.

En la Tabla 10 se resumen de los parámetros para los píxeles “fríos” y “calientes” seleccionados en la zona de evaluación. Cabe mencionar que, los píxeles seleccionados pertenecen a la imagen de 24 de abril del 2018.

**Tabla 10: Parámetros instantáneos iniciales en el píxel frío y caliente**

Pixel	Coordenadas		Ts (°K)	NDVI	Rn (W/m <sup>2</sup> )	G (W/m <sup>2</sup> )	H (W/m <sup>2</sup> )
	X (UTM)	Y (UTM)					
Frío	632 334	9 255 460	297.71	0.77	605.78	49.16	189.65
Caliente	633 300	9 255 280	305.36	0.19	538.77	90.63	448.15

La imagen 24 de abril del 2018, fue calibrada internamente utilizando datos horarios de la ET de referencia, la que se obtuvo de los datos de la EE INIA Vista Florida, y que representa los cultivos de arroz.

Al calcular el flujo de calor sensible, se debe tener en cuenta la condición estable del aire, puesto que esta condición repercute en la velocidad de fricción ( $u^*$ ) y la resistencia aerodinámica ( $r_{ah}$ ). Por este motivo se usa la longitud de Monin-Oublkhov (L) desarrollado por SEBAL como indicador de la estabilidad atmosférica (Ver Figura 17).

En este estudio se realizó 07 iteraciones para la imagen de fecha 24 de abril del 2018 (Ver Tabla 11).

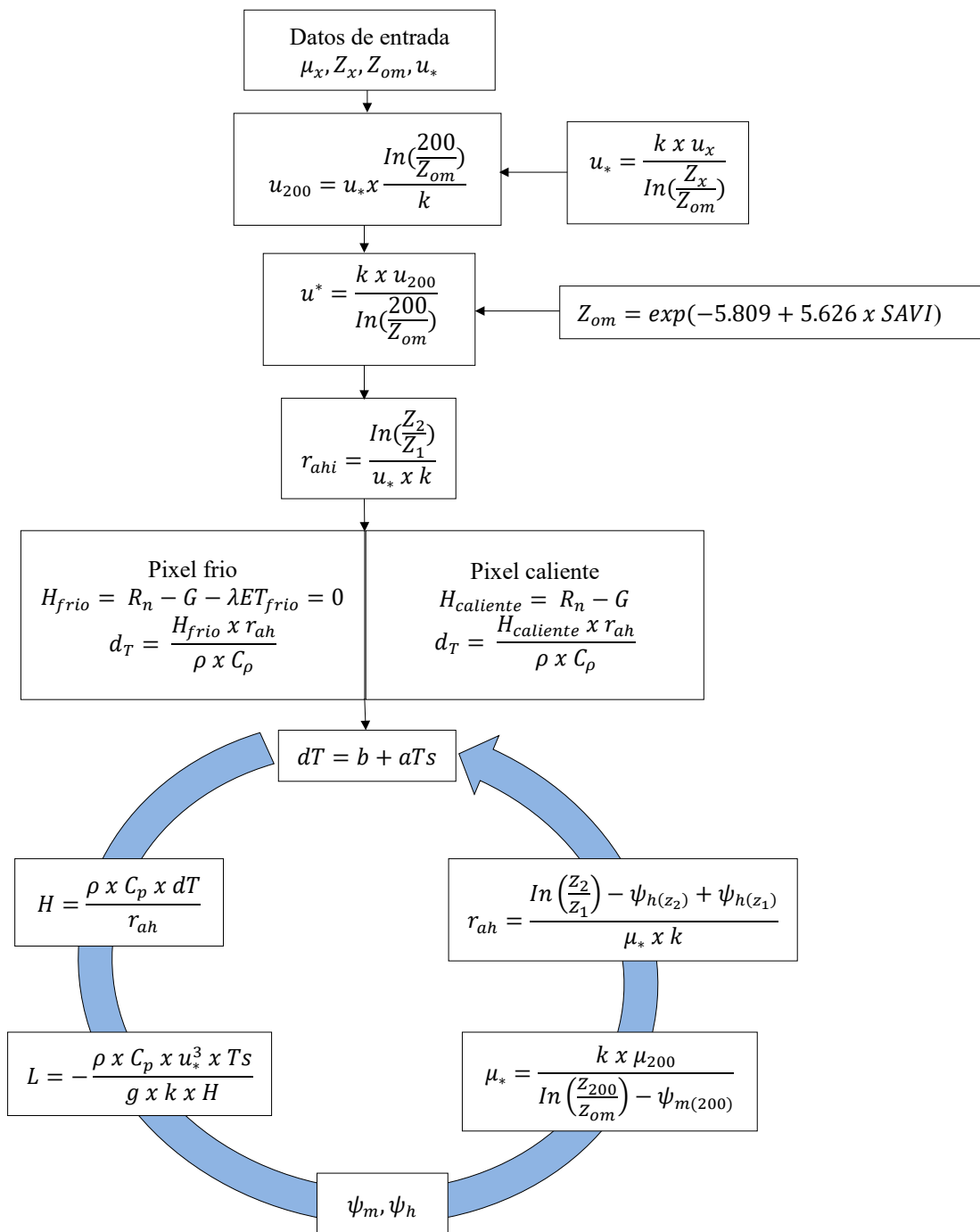
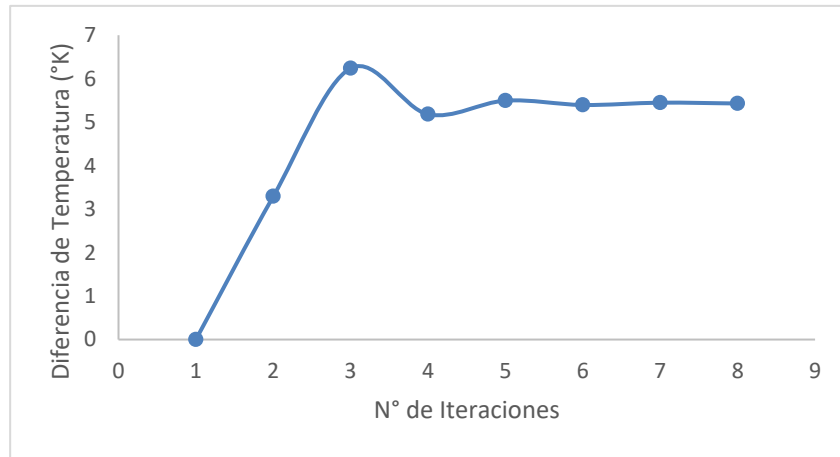


Figura 17: Flujograma de estimación del calor sensible del aire (H)

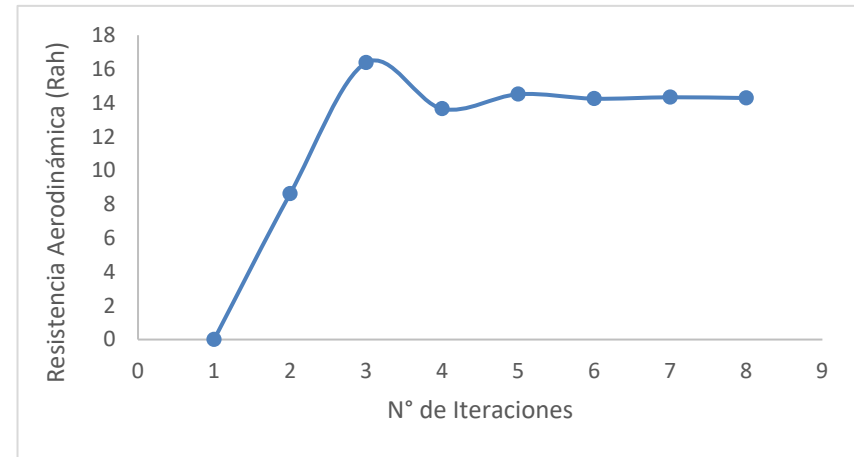
**Tabla 11: Valores de las iteraciones de  $dT_{cal}$  ( $^{\circ}K$ ) y  $Rah_{cal}$ , del pixel caliente**

N <sup>o</sup> Iteraciones	dT	Rah	Hs	u*	Ecuación $dT=b+a*Ts$
Inicial	12.11	31.69	448.15	0.194	$dT= 1,16Ts - 342.47$
1	3.29	8.62	455.22	0.329	$dT= 0.21Ts - 60.34$
2	6.24	16.37	441.66	0.276	$dT= 0.53Ts - 156.73$
3	5.18	13.65	445.03	0.291	$dT= 0.45Ts - 131.68$
4	5.50	14.51	441.81	0.286	$dT= 0.51Ts - 148.71$
5	5.40	14.25	441.26	0.288	$dT= 0.52Ts - 153.33$
6	5.45	14.33	441.01	0.287	$dT= 0.55Ts - 162.56$
7	5.43	14.28	442.81	0.287	$dT= 0.58Ts - 170.64$

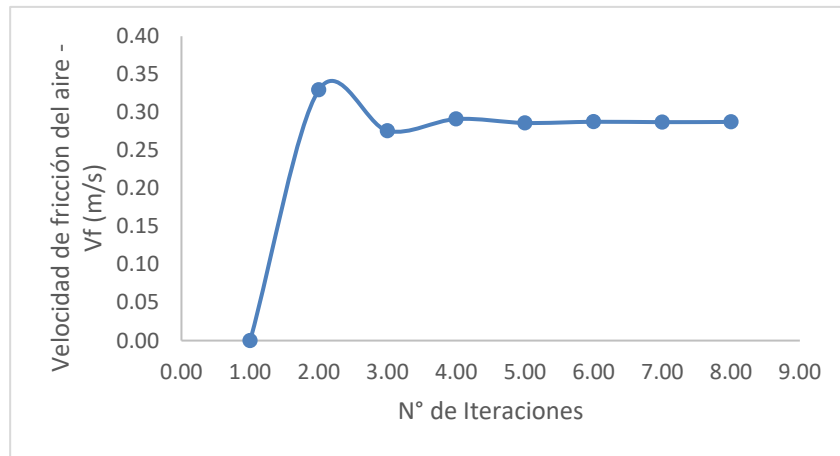
En la Figura 18, se observa que las cuatro variables indicadas como a, b, c y d alcanzan su estabilidad, con sólo 7 iteraciones. Los cambios más sobresalientes se presentan de la primera a la cuarta iteración, luego se estabiliza hasta la séptima iteración.



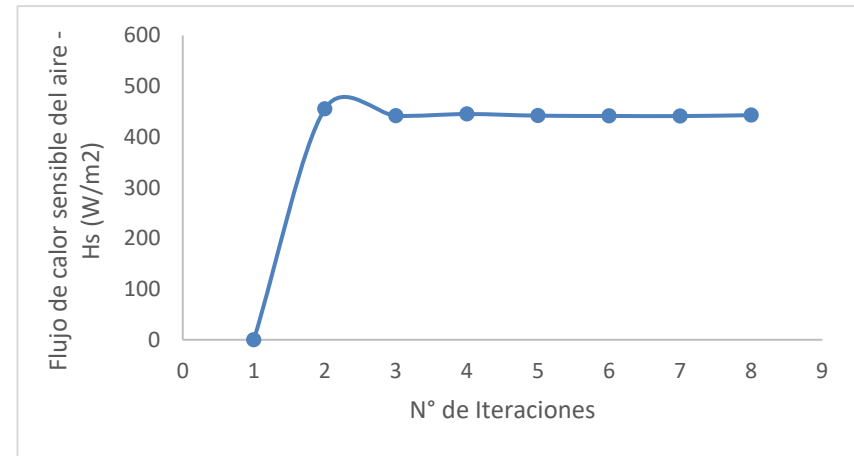
(a)



(b)



(c)

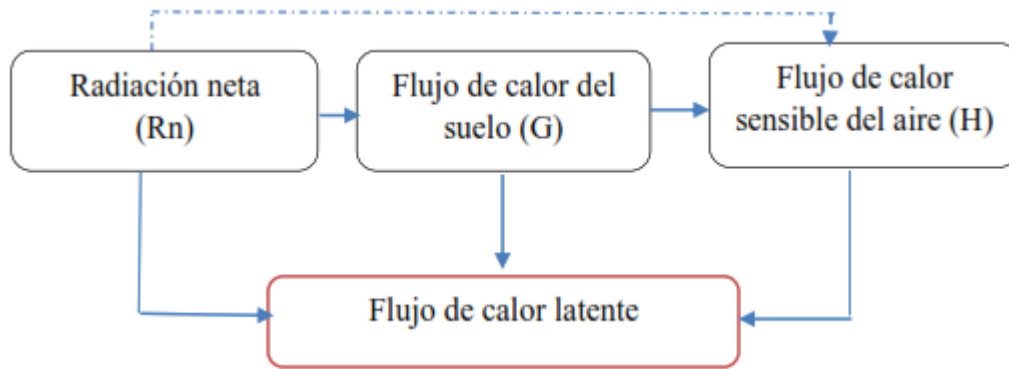


(d)

**Figura 18: Convergencia de  $dT_{cal}$ ,  $Rah_{cal}$ ,  $Vf_{cal}$  y  $Hs_{cal}$  en el pixel caliente, para el 24 de abril de 2018**

- **Flujo de calor latente de evaporación ( $\lambda ET$ )**

El flujo de calor latente fue calculado con la ecuación (55). Se puede apreciar en la Figura 19, el proceso para la estimación del mismo. Las principales variables para su cálculo son la radiación neta, el flujo de calor de suelo, el flujo de calor sensible del aire.



**Figura 19: Flujograma para estimar el flujo de calor latente ( $\lambda ET$ )**

### 3.5.3. Estimación de la evapotranspiración y coeficiente del cultivo

#### a. Evapotranspiración real diaria (ET<sub>24</sub>)

Para obtener la evapotranspiración diaria, primero se debe calcular la evapotranspiración instantánea (ET<sub>inst</sub>), este último es el cociente de los parámetros flujo de calor latente y calor latente de vaporización ( $ET_{inst} = \lambda ET / \lambda$ ), donde,  $\lambda$  es un valor cercano a 2.45 MJ. Kg<sup>-1</sup>, y se obtiene de la ecuación (36).

La fracción de evapotranspiración de referencia horaria (ET<sub>rF</sub>), es definida como el cociente de la ET<sub>H</sub> y la evapotranspiración referencial horaria E<sub>Tr</sub>. Según Allen R. (2002), es aproximadamente constante durante todo el día y puede ser obtenido mediante la ecuación (57).

SEBAL calcula la ET<sub>24</sub> asumiendo que la ET<sub>rF</sub> es el mismo que el promedio para 24 horas. La ET<sub>24</sub> se calcula con la ecuación (58).

#### b. Evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración de referencia de Penman-Monteith, es obtenido de la EE INIA Vista Florida. Se expresa con la siguiente ecuación:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + (1+0.34U_2)} \left( \frac{mm}{dia} \right) \dots \dots \dots (63)$$

Dónde: Rn a la radiación neta (MJm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>), G al flujo de calor del suelo (MJm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>), T (°C) a la temperatura media, U<sub>2</sub> (m.s<sup>-1</sup>) es la velocidad del viento a 2 metros sobre el nivel de la superficie, e<sub>s</sub> es la presión de vapor de saturación (kPa), (e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>) es el déficit de presión de vapor (kPa), Δ es la pendiente de la curva de la presión de vapor (kPa.°C<sup>-1</sup>) y γ la constante psicométrica (kPa.°C<sup>-1</sup>).

**c. Estimación del coeficiente del cultivo (K<sub>c</sub>)**

Para la obtención del coeficiente del cultivo desde imágenes de satélite, se ha utilizado la metodología propuesta por Cuesta *et al*, (2005), quienes indican que, la ecuación 63, sirve para obtener el coeficiente de cultivo del NDVI calculado, utilizando las reflectividades aparentes desde las imágenes Landsat o procedentes de imágenes de otros sensores intercalibrados con Landsat. Asimismo, se debe tener en cuenta que, la ecuación 64 es aplicable para las fases inicial, de crecimiento y media solamente.

$$K_C = 1.25 \times NDVI + 0.2 \dots \dots \dots (64)$$

Donde: NDVI, es el índice de vegetación de diferencia normalizado ajustado, obtenido mediante el procesamiento de imágenes satelitales.

La aplicación en la última fase de los cultivos requiere una corrección, debido a que, el uso del NDVI satelital, al estimar la fracción de cobertura, se refleja la respuesta de la vegetación verde, no siendo así con la vegetación seca.

Por lo tanto, para corregir este error, Cuesta *et al*, (2005), asumieron un valor constante de 0.8 para cobertura vegetal verde y obtuvieron la ecuación 65.

$$K_C = 1.5625 \times NDVI - 0.05 \dots \dots \dots (65)$$

Además, Cuesta *et al.*, (2005), indicaron que, las ecuaciones 64 y 65, proporcionarán el valor del coeficiente de cultivo de cualquier superficie como si ésta estuviera en condiciones óptimas.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el presente numeral se describen los resultados de las principales variables analizadas para el desarrollo del estudio. Por consiguiente, se mostrarán las tablas y mapas donde se precisan los valores que intervienen en la estimación de los parámetros biofísicos (Índice de vegetación) y el coeficiente del cultivo del arroz ( $K_c$ ). Para ello se utiliza el modelo SEBAL que estima la evapotranspiración del cultivo.

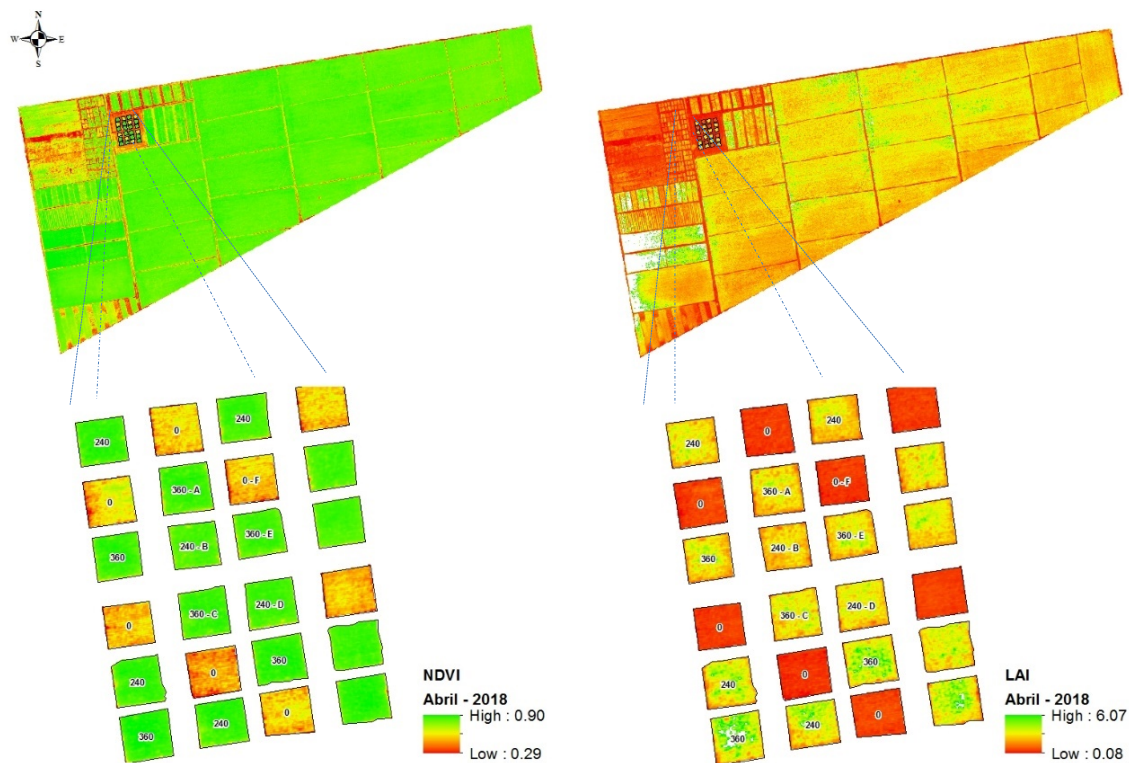
Las variables principales son: evapotranspiración de referencia del modelo SEBAL, donde intervienen la temperatura superficial, la radiación neta, flujo de calor del suelo y el flujo de calor sensible del aire, asimismo, el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) y el índice de vegetación (NDVI).

### **4.1. INDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR**

#### **4.1.1. Monitoreo en campo de NDVI e IAF**

Los valores del monitoreo de NDVI e IAF, con los equipos manuales de campo greenseeker y ceptómetro, respectivamente, fueron comparados con la imagen del VANT de NDVI e IAF del 27 de abril del 2018, del cual, se pueden apreciar los valores en la Figura 20, obteniendo resultados para NDVI mínimo de 0.29 y NDVI máximo de 0.90, y valores de IAF mínimo de 0.08 y IAF máximo de 6.07. En la Figura 20, se presenta la zona de colecta de datos de NDVI y IAF, correspondiente al 27 de abril. En los anexos 3, 4, 5 y 6 se encuentran detallados los valores de NDVI y IAF muestreados con equipos manuales y con el VANT.





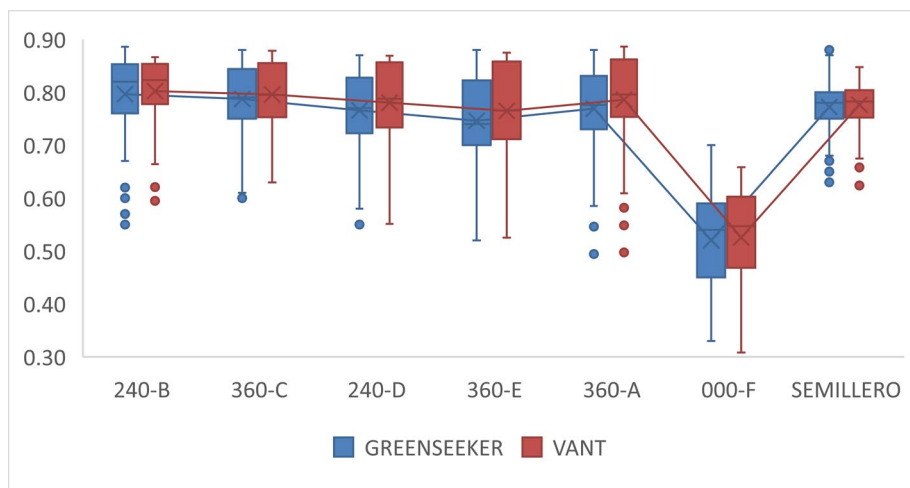
**Figura 20: Mapas de NDVI e IAF del VANT, correspondiente a la fecha 27 de abril de 2018**

#### 4.1.2. Resultados de la validación del NDVI y IAF

Para validar NDVI y LAI se comparó los datos tomados de campo con el equipo de mano greenseeker y ceptómetro, con los datos del VANT, respectivamente. Además, se realizó el análisis que relaciona linealmente las imágenes de satélite y las imágenes de VANT, así mismo, se utilizó algoritmos de QGIS para el procesamiento de extracción y resultados de la información, los que se presentan a continuación:

- **Diagrama de cajas**

Los diagramas de cajas para NDVI tomados en campo con greenseeker se encuentran en un rango de valores similares a los rangos de valores obtenidos con imágenes del VANT, Asimismo, se puede apreciar que ambos métodos de recolección de datos siguen una misma tendencia, para las 6 parcelas y el semillero. Por otro lado, los valores de la parcela 000-F, se encuentran por debajo del rango de valores de las demás parcelas que se visualizan en la Figura 21, debido a que esta parcela se encontraba encharcada al momento de la toma de datos (con riego por inundación) y las demás parcelas con riego por goteo deficitario.



**Figura 21: Comparación de datos NDVI con greenseeker y VANT**

En las tablas 12 y 13, se aprecian los valores estadísticos mínimos, máximos, cuartiles 1, 2, 3 de NDVI y los rangos de cada parcela evaluada, tanto para datos tomados con la herramienta manual greenseeker y los datos de las imágenes de VANT, respectivamente.

**Tabla 12: Valores NDVI - diagrama de cajas y bigotes con datos greenseeker**

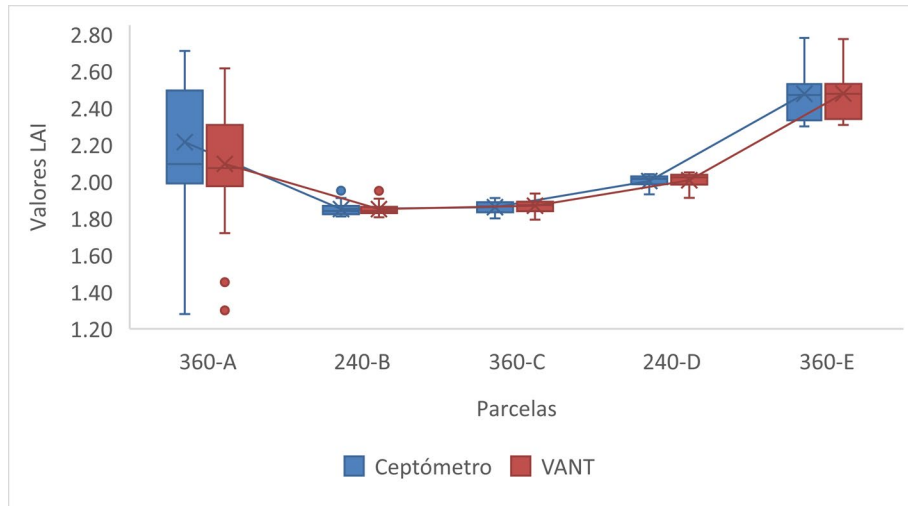
	240 - B	360 - C	240 - D	360 - E	360 - A	000 - F	Semillero
Mínimo	0.55	0.60	0.55	0.52	0.494	0.33	0.63
Cuartil 1	0.76	0.75	0.73	0.70	0.731	0.45	0.75
Medio	0.82	0.79	0.77	0.74	0.776	0.54	0.78
Cuartil 3	0.85	0.84	0.82	0.82	0.83	0.59	0.8
Máximo	0.89	0.88	0.87	0.88	0.88	0.7	0.88
Promedio	0.80	0.79	0.77	0.75	0.77	0.52	0.77
Rango	0.34	0.28	0.32	0.36	0.39	0.37	0.25

**Tabla 13: Valores NDVI - diagrama de cajas y bigotes con datos VANT**

	240 - B	360 - C	240 - D	360 - E	360 - A	000 - F	Semillero
Mínimo	0.59	0.63	0.55	0.53	0.50	0.31	0.62
Q1	0.78	0.75	0.73	0.71	0.75	0.47	0.75
Medio	0.82	0.79	0.79	0.77	0.80	0.55	0.78
Q3	0.85	0.85	0.86	0.86	0.86	0.60	0.80
Máximo	0.87	0.88	0.87	0.87	0.89	0.66	0.85
Promedio	0.80	0.80	0.78	0.76	0.79	0.53	0.78
Rango	0.27	0.25	0.32	0.35	0.39	0.35	0.22

Respecto a la visualización de resultados para IAF y su correspondencia de datos se realizó el diagrama de cajas, donde se obtuvieron los valores representados en la Figura

22, en esta figura se aprecia que, los diagramas de cajas de IAF tomados en campo con el ceptómetro se encuentran en un rango de valores muy similares a los rangos de valores obtenidos con imágenes del VANT. Asimismo, se puede apreciar que, ambos métodos de recolección de datos siguen una misma tendencia, para las 5 parcelas evaluadas.



**Figura 22: Comparación de datos LAI con ceptómetro y VANT**

En las tablas 14 y 15, se aprecian los valores estadísticos mínimos, máximos, cuartiles 1, 2, 3 de LAI y los rangos de cada parcela evaluada, tanto para datos tomados con ceptómetro y los datos de las imágenes del VANT, respectivamente.

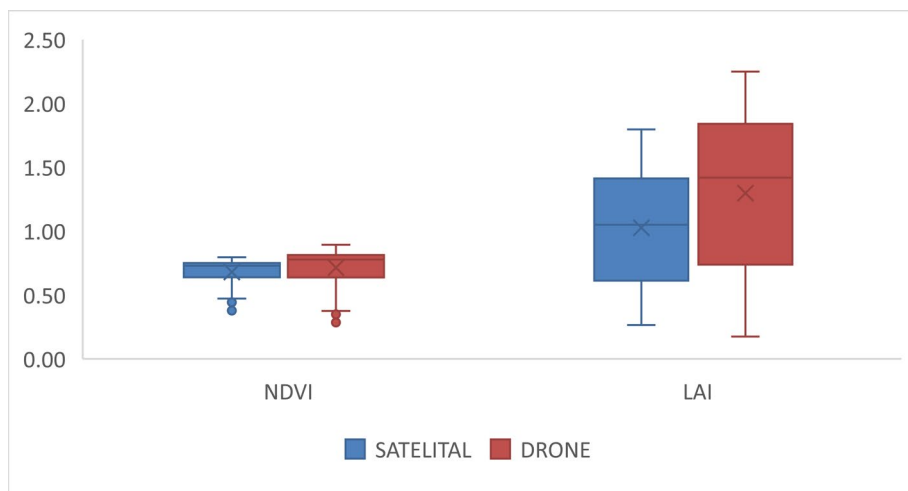
**Tabla 14: Valores de IAF - diagrama de cajas y bigotes con datos ceptómetro**

	360 – A	240 - B	360 - C	240 - D	360 - E
Mínimo	1.28	1.81	1.80	1.92	2.30
Cuartil 1	1.99	1.83	1.84	2.00	2.34
Medio	2.10	1.84	1.87	2.02	2.47
Cuartil 3	2.49	1.86	1.88	2.02	2.53
Máximo	2.71	1.95	1.91	2.04	2.78
Promedio	2.21	1.85	1.86	2.00	2.48
Rango	1.43	0.14	0.11	0.12	0.48

**Tabla 15: Valores IAF - diagrama de cajas y bigotes con datos VANT**

	360 - A	240 - B	360 - C	240 - D	360 - E
Mínimo	1.30	1.81	1.79	1.91	2.31
Cuartil 1	1.98	1.83	1.84	1.99	2.34
Medio	2.07	1.84	1.87	2.02	2.48
Cuartil 3	2.30	1.85	1.89	2.03	2.53
Máximo	2.61	1.95	1.93	2.05	2.77
Promedio	2.10	1.85	1.87	2.01	2.48
Rango	1.32	0.14	0.14	0.14	0.47

En la Figura 23, del diagrama de cajas, se obtiene el rango inter cuartil (IQR) de los datos de NDVI satelital y VANT,  $IQR = Q3 - Q1$ , donde,  $IQR_{SAT} = 0.11$  y  $IQR_{VANT} = 0.17$ , lo cual expresa que, los valores de NDVI satelital se encuentran menos dispersos que NDVI del VANT, ello debido a la escala de datos (tamaño de pixeles). Asimismo, se obtuvo del rango inter cuartil, los datos de IAF satelital y IAF del VANT, y son;  $IQR_{SAT} = 0.79$  y  $IQR_{VANT} = 1.10$ , respectivamente. En la Tabla 16, se precisan los valores estadísticos del diagrama de cajas de la Figura 23.



**Figura 23: Diagrama de cajas de valores NDVI e IAF, de la imagen satelital y VANT, del mes de abril**

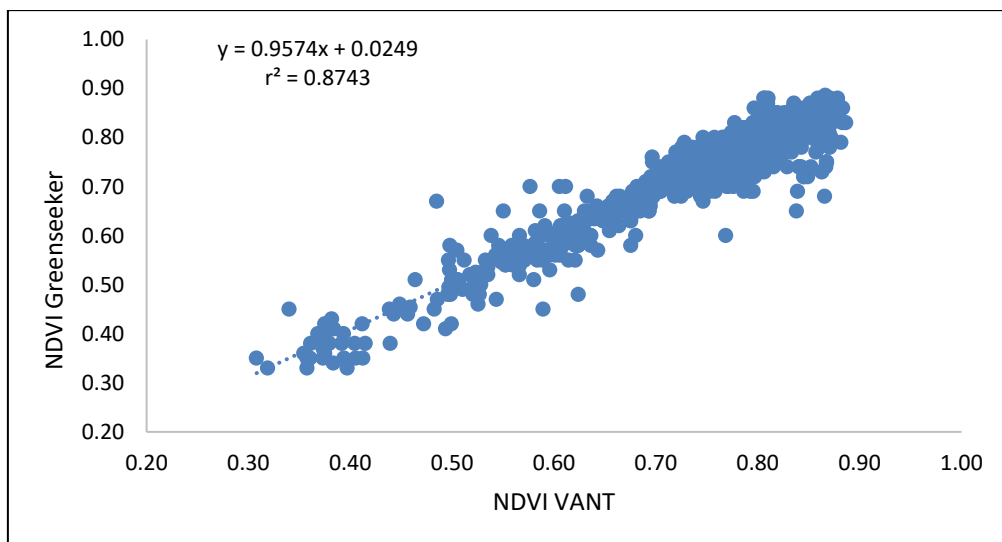
En la Tabla 16, se puede apreciar los valores estadísticos mínimos, máximos, cuartiles 1, 2, 3 y los rangos que existen tanto para NDVI y IAF de la imagen satelital y VANT, respectivamente.

**Tabla 16: Valores del diagrama de cajas para NDVI y IAF de datos Satelitales y VANT**

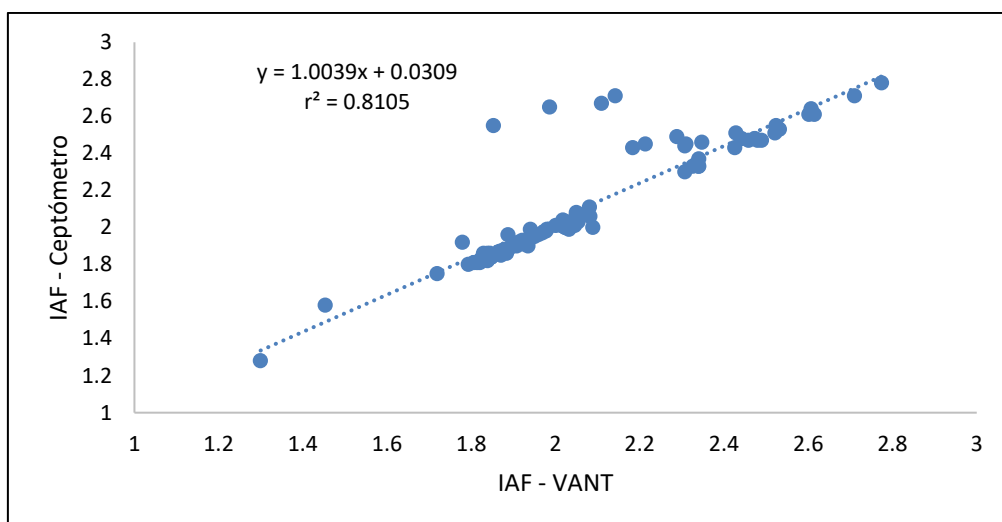
	NDVI		IAF	
	Satelital	VANT	Satelital	VANT
Mínimo	0.38	0.28	0.27	0.17
Cuartil 1	0.64	0.64	0.61	0.74
Medio	0.73	0.78	1.05	1.42
Cuartil 3	0.75	0.81	1.41	1.84
Máximo	0.80	0.89	1.80	2.25
Rango Intercuartílico	0.11	0.17	0.79	1.10
Promedio	0.68	0.71	1.03	1.30
Rango	0.42	0.61	1.53	2.07

- **Coefficiente de correlación de Pearson, raíz del error medio cuadrático y eficiencia de Stueliffe**

En la Figura 24 se aprecian que, los valores de dispersión de NDVI estimado a partir de imágenes VANT, comparados con los valores de NDVI estimado con equipo manual greenseeker, se relacionan linealmente, obteniendo valores de  $r^2 = 0.87$ , un valor de coeficiente de correlación de 0.95. De la misma manera, en la Figura 25 se aprecia los valores de dispersión de IAF estimado a partir de imágenes VANT comparados con los valores de IAF estimado con ceptómetro, donde éstos se relacionan linealmente, obteniendo valores de  $r^2 = 0.81$  y un valor de coeficiente de correlación de 0.90. Además, los valores de RMSE son de 0.03 y 0.14, y los valores de Nash – Stueliffe son de 0.90 y 0.80, para NDVI y IAF, respectivamente. Según Moriasi *et al.* (2007), los valores 0.9 y 0.8 del coeficiente de Nash, representan un ajuste de Excelente y Muy Bueno, respectivamente.



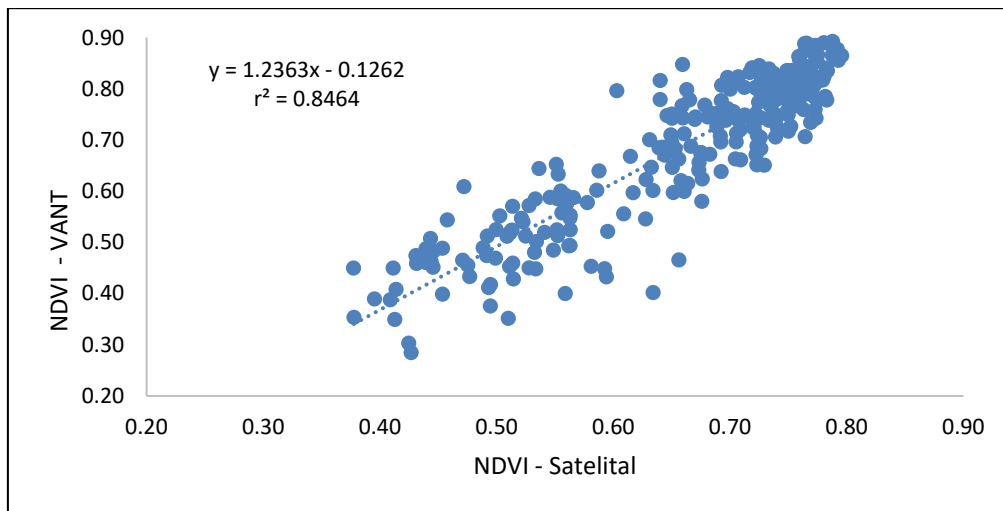
**Figura 24: Dispersión del NDVI estimado a partir de VANT y greenseeker, del mes de abril**



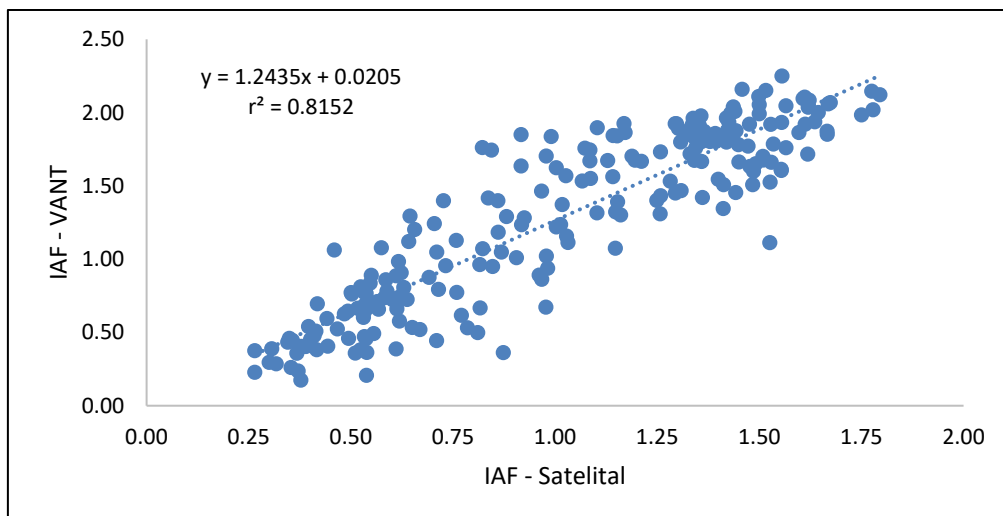
**Figura 25: Dispersión del IAF estimado a partir de VANT y ceptómetro, del mes de abril**

En la Figura 26 se aprecia que, los valores de dispersión de NDVI obtenidos de las imágenes satelitales, comparados con los valores de NDVI estimado con imágenes de VANT, se relacionan linealmente, obteniendo valores de  $r^2 = 0.846$ , un valor de coeficiente de correlación de 0.92. Asimismo, en la Figura 27 se aprecia que, los valores de dispersión de IAF estimado a partir de imágenes satelitales comparados con los valores de IAF, estimado con imágenes del VANT, se relacionan linealmente, obteniendo valores de  $r^2 = 0.81$  y un valor de coeficiente de correlación de 0.90. Además, los valores de RMSE son de 0.06 y 0.38, y los valores de Nash – Stuclyffe son de 0.60 y

0.88, para NDVI y IAF, respectivamente. Según Moriasi *et. al*, (2007), los valores 0.60 y 0.88, representan un ajuste de Bueno y Muy Bueno, respectivamente.



**Figura 26: Dispersión del NDVI estimado a partir de imágenes satelitales y NDVI medido con VANT, del mes de abril**



**Figura 27: Dispersión del IAF estimado a partir de imágenes satelitales y IAF medido con VANT, del mes de abril**

- **Desviación estándar**

El valor de desviación estándar para los datos de NDVI e IAF recogidos en campo con el equipo manual greenseeker y ceptómetro fueron de 0.0885 y 0.30, respectivamente. Los valores de desviación estándar para los datos de NDVI e IAF obtenido mediante imágenes de drone fueron de 0.0880 y 0.27, respectivamente. Por lo que se puede

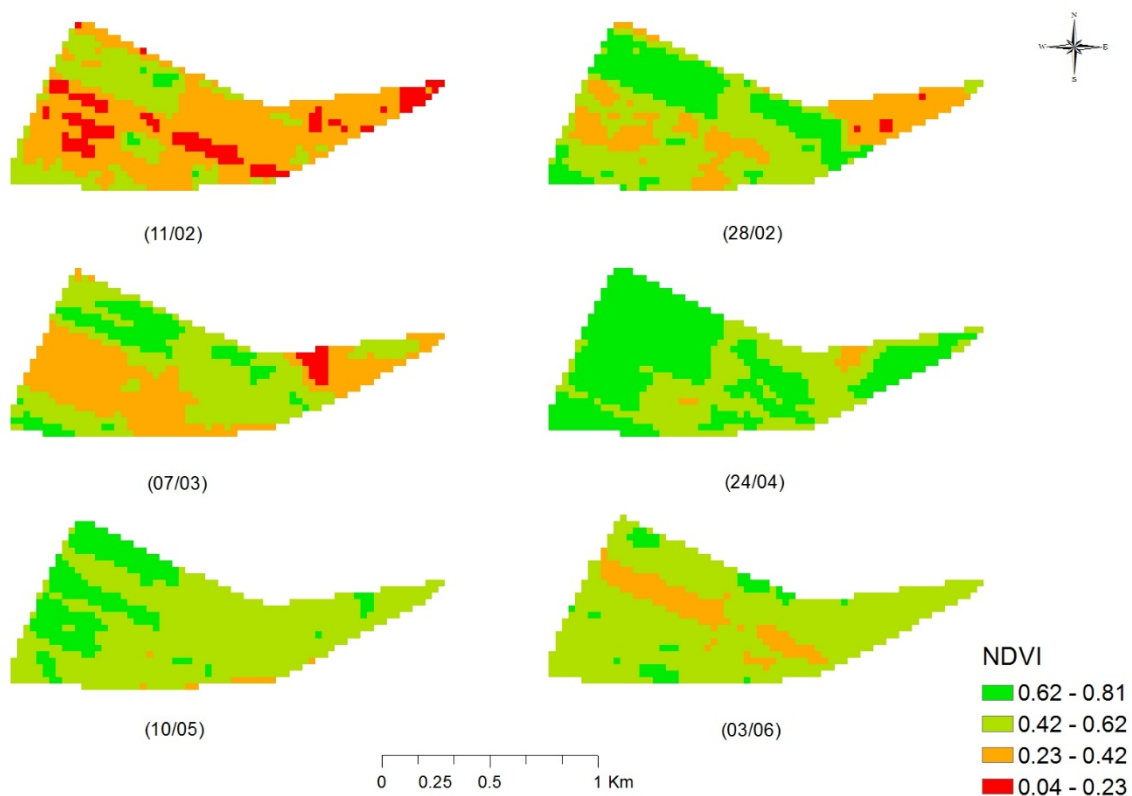
evidenciar que, existe poca dispersión en los valores de NDVI e IAF, en ambos casos (datos de campo). Así también, se evidencia que es poca la dispersión que existe en los valores obtenidos de las imágenes de drone, tanto para NDVI como IAF. Los datos con los que se ha trabajado se encuentran en los anexos.

#### 4.1.3. Índices de vegetación NDVI, SAVI y IAF ajustados

En la Figura 28, se muestra los valores de NDVI, que contiene un valor mínimo de 0.035 para el mes de febrero y un valor máximo de 0.769 del 24 de abril. En cuanto a los mayores valores promedios del NDVI se puede apreciar en la Tabla 17., siendo éstos 0.63 y 0.57 para las fechas 24/04/18 y 10/05/18, respectivamente.

**Tabla 17: Valores estadísticos del NDVI ajustado**

	Fecha de imágenes satelitales					
	11/02/18	28/02/18	07/03/18	24/04/18	10/05/18	03/06/18
Desviación estándar	0.115	0.140	0.135	0.073	0.065	0.078
Media	0.354	0.520	0.467	0.626	0.571	0.497
Máximo	0.720	0.813	0.730	0.769	0.731	0.729
Mínimo	0.035	0.196	0.064	0.311	0.307	0.296



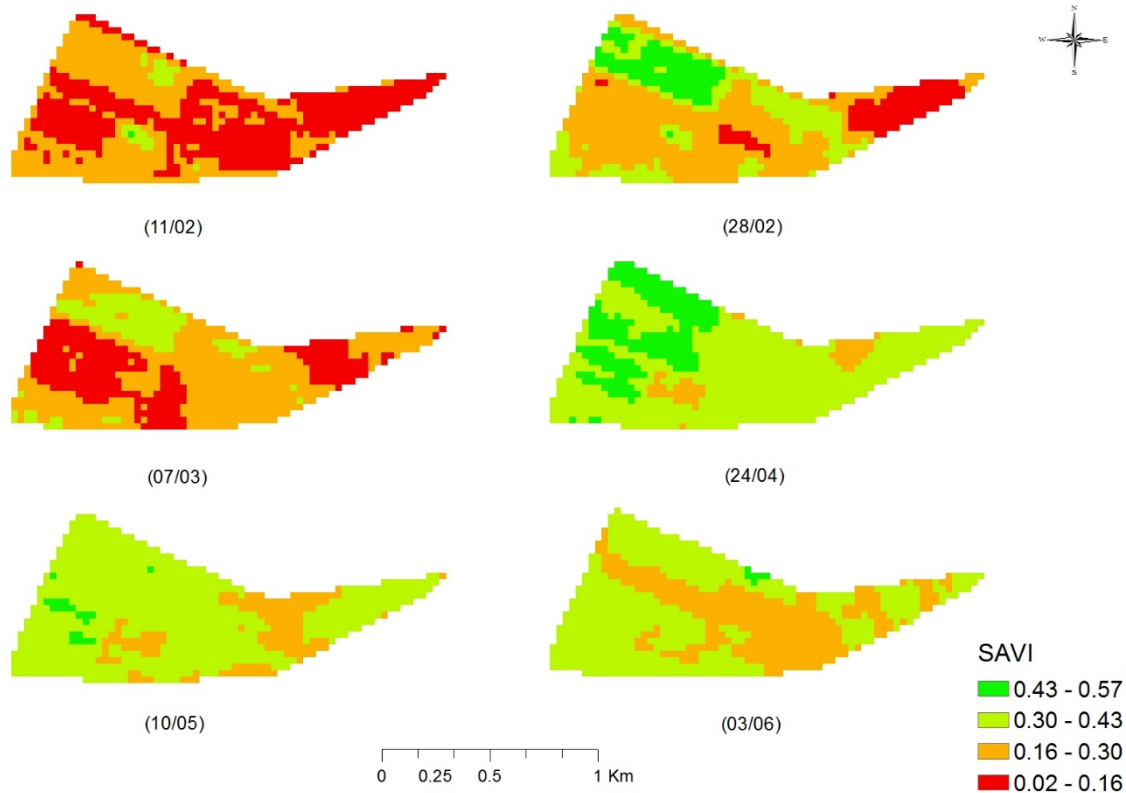
**Figura 28: Variación de valores de NDVI**



En la Figura 29, se muestra los valores de índices SAVI, que contiene un valor mínimo de 0.02 del 11/02/18 y un valor máximo de 0.58 del 28/02/18. En cuanto a los mayores valores promedios del SAVI se pueden apreciar en la Tabla 18, siendo éstos 0.39 y 0.35 para las fechas 24/04/18 y 10/05/18, respectivamente.

**Tabla 18: Valores estadísticos de SAVI ajustado**

	Fecha de imágenes satelitales					
	11/02/18	28/02/18	07/03/18	24/04/18	10/05/18	03/06/18
Desviación estándar	0.065	0.109	0.075	0.059	0.053	0.048
Media	0.170	0.275	0.213	0.386	0.351	0.315
Máximo	0.462	0.578	0.404	0.528	0.486	0.462
Mínimo	0.014	0.055	0.030	0.153	0.158	0.219

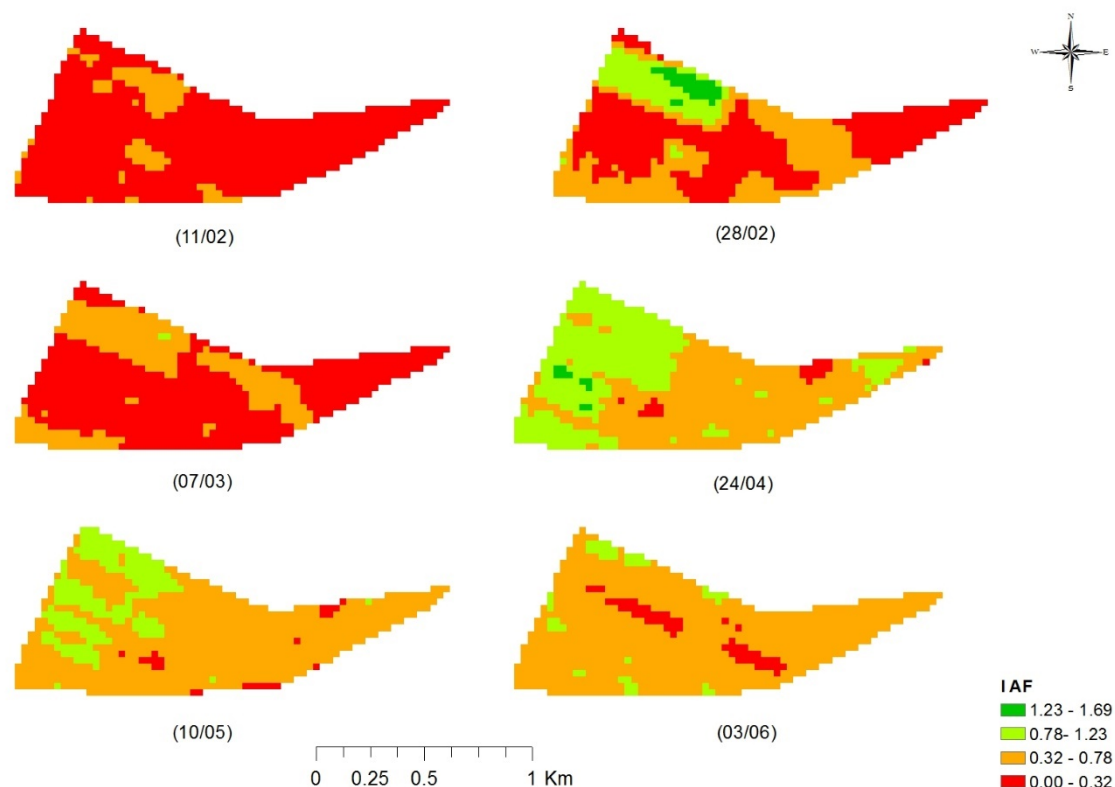


**Figura 29: Variación de valores SAVI**

En la Figura 30, se muestran los valores de índices IAF, con un valor mínimo de 0 para febrero y marzo y un valor máximo de 1.82 para el 28/02/18. Además, en la Tabla 19, se muestran los mayores valores promedios para las fechas 24/04/18 y 10/05/18, siendo éstos 0.75 y 0.62.

**Tabla 19: Valores estadísticos de IAF ajustado**

	Fecha de imágenes satelitales					
	11/02/18	28/02/18	07/03/18	24/04/18	10/05/18	03/06/18
Desviación estándar	0.148	0.348	0.182	0.207	0.173	0.148
Media	0.148	0.434	0.248	0.751	0.621	0.507
Máximo	1.044	1.824	0.796	1.420	1.166	1.047
Mínimo	0	0	0	0.103	0.114	0.247



**Figura 30: Variación de valores IAF**

## 4.2. ESTIMACIÓN DEL BALANCE DE ENERGÍA MEDIANTE SEBAL

### 4.2.1. Albedo Superficial

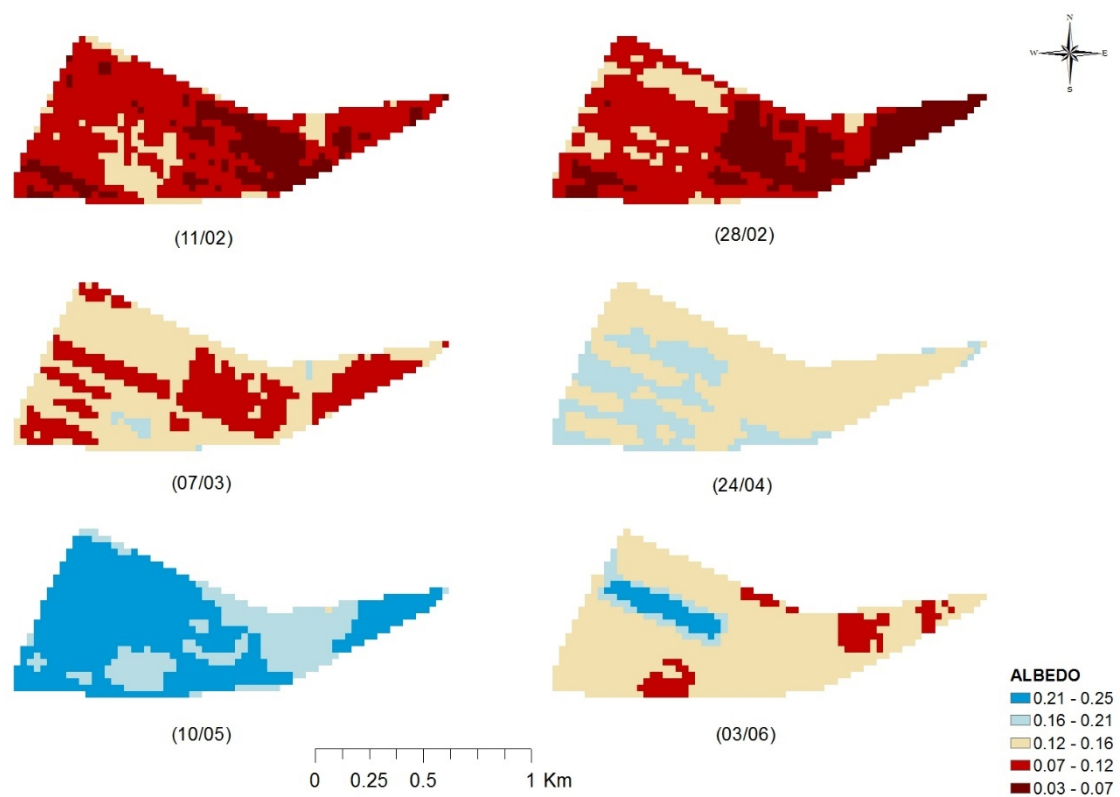
En la Figura 31, se muestra el mapa de albedo superficial para las imágenes correspondientes a las fechas 11/02/18, 28/02/18, 07/03/18, 24/04/18, 10/05/18 y 03/06/18, respectivamente. El valor del albedo superficial mínimo se encontró en la imagen 28/02/18 con valor de 0.028 y el valor máximo en la imagen 10/05/18, con un valor de 0.25.

Así también en la Tabla 20, se aprecia que, en las fechas 24/04/18 y 10/05/18, se tuvieron

los mayores valores promedios del albedo superficial, siendo éstos 0.16 y 0.21, respectivamente.

**Tabla 20: Valores estadísticos del albedo superficial**

	Fecha de imágenes satelitales					
	11/02/18	28/02/18	07/03/18	24/04/18	10/05/18	03/06/18
Desviación estándar	0.022	0.025	0.015	0.010	0.018	0.028
Media	0.092	0.090	0.125	0.157	0.213	0.142
Máximo	0.158	0.150	0.173	0.185	0.254	0.248
Mínimo	0.051	0.028	0.094	0.129	0.159	0.085



**Figura 31: Valores de albedo superficial ( $\alpha$ )**

#### 4.2.2. Emisividad

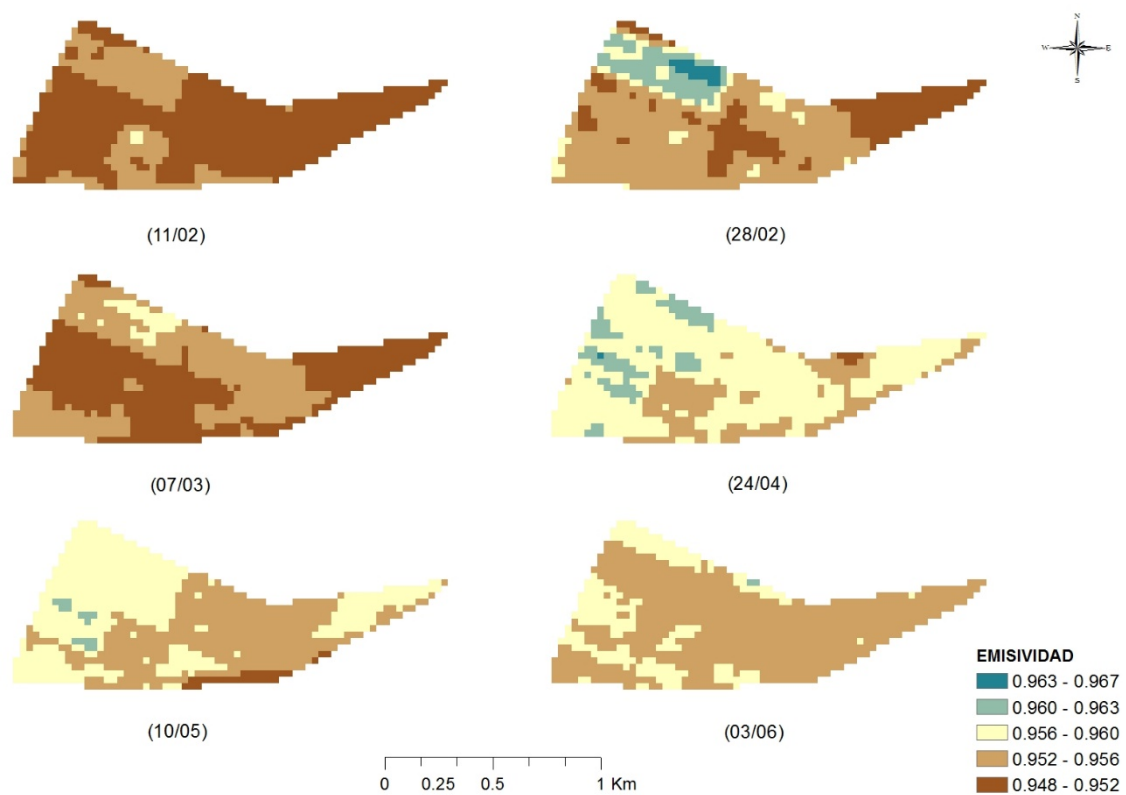
En la Figura 32, se muestra el mapa de emisividad de la superficie para las seis imágenes analizadas. El valor de la emisividad mínima se encontró en la imagen 11/02/18 con un valor 0.949 y el valor máximo en la imagen 28/02/18, con valor de 0.968.

Así también en la Tabla 21, se aprecia que, en las fechas 24/04/18 y 10/05/18, se tuvieron

los mayores valores promedios de la emisividad, siendo éstos 0.957 y 0.956, respectivamente.

**Tabla 21: Valores estadísticos de emisividad superficial**

	Fecha de imágenes satelitales					
	11/02/18	28/02/18	07/03/18	24/04/18	10/05/18	03/06/18
Desviación estándar	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001
Media	0.952	0.954	0.952	0.957	0.956	0.955
Máximo	0.960	0.968	0.958	0.964	0.962	0.960
Mínimo	0.949	0.949	0.949	0.951	0.951	0.952



**Figura 32: Valores de emisividad superficial ( $\epsilon_0$ )**

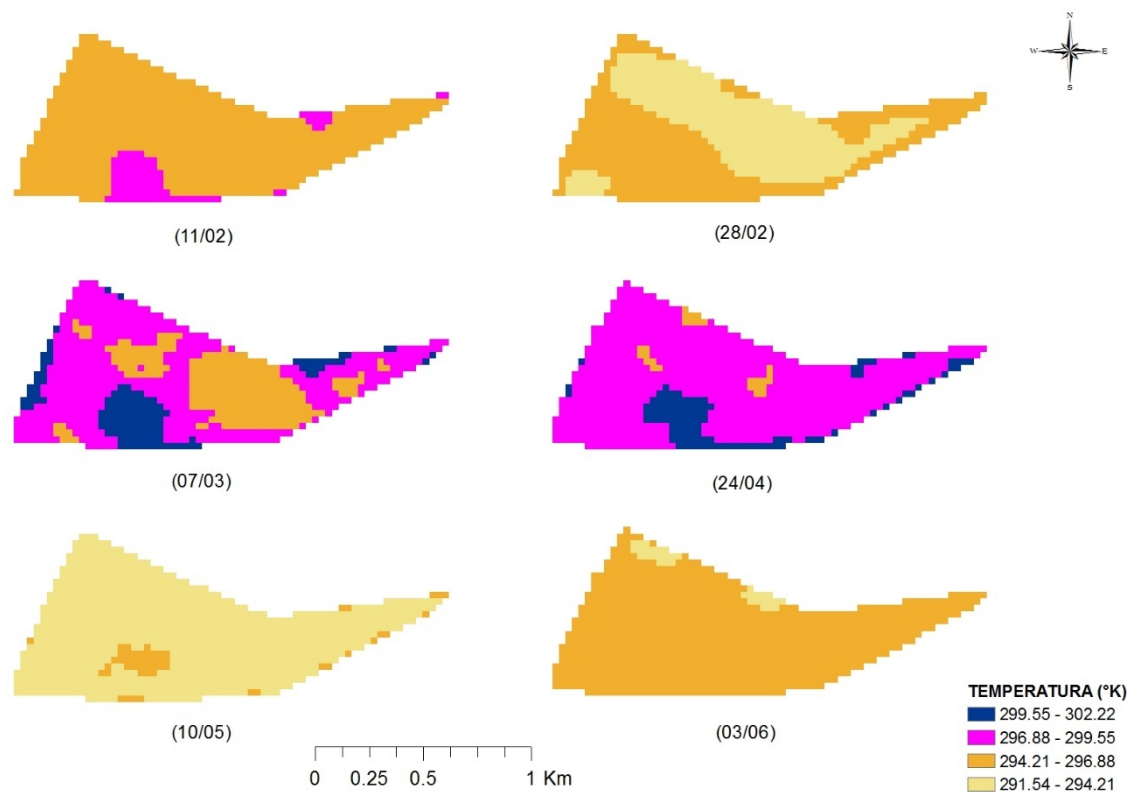
#### 4.2.3. Temperatura superficial

En la Figura 33, se muestra el mapa de temperatura de la superficie para las seis imágenes satelitales analizadas. El valor de la temperatura superficial mínima se encontró en la imagen 10/05/2018 con 291.31 °K y el valor máximo en la imagen 07/03/2018, con valor de 302.23 °K.

Así también en la Tabla 22, se aprecia que, en las fechas 07/03/2018 y 24/04/2018, se tuvieron los mayores valores promedios de la temperatura superficial, siendo éstos 297.86 y 298.09 °K, respectivamente.

**Tabla 22: Valores estadísticos de la Temperatura superficial – Ts (°K)**

	Fecha de imágenes satelitales					
	11/02/18	28/02/18	07/03/18	24/04/18	10/05/18	03/06/18
Desviación estándar	0.888	0.827	1.537	1.084	0.708	0.449
Media	295.430	294.425	297.860	298.093	292.896	294.953
Máximo	298.487	296.522	302.229	302.161	295.480	296.232
Mínimo	294.304	293.029	295.125	296.348	291.305	293.777



**Figura 33: Valores de temperatura superficial – Ts (°K)**

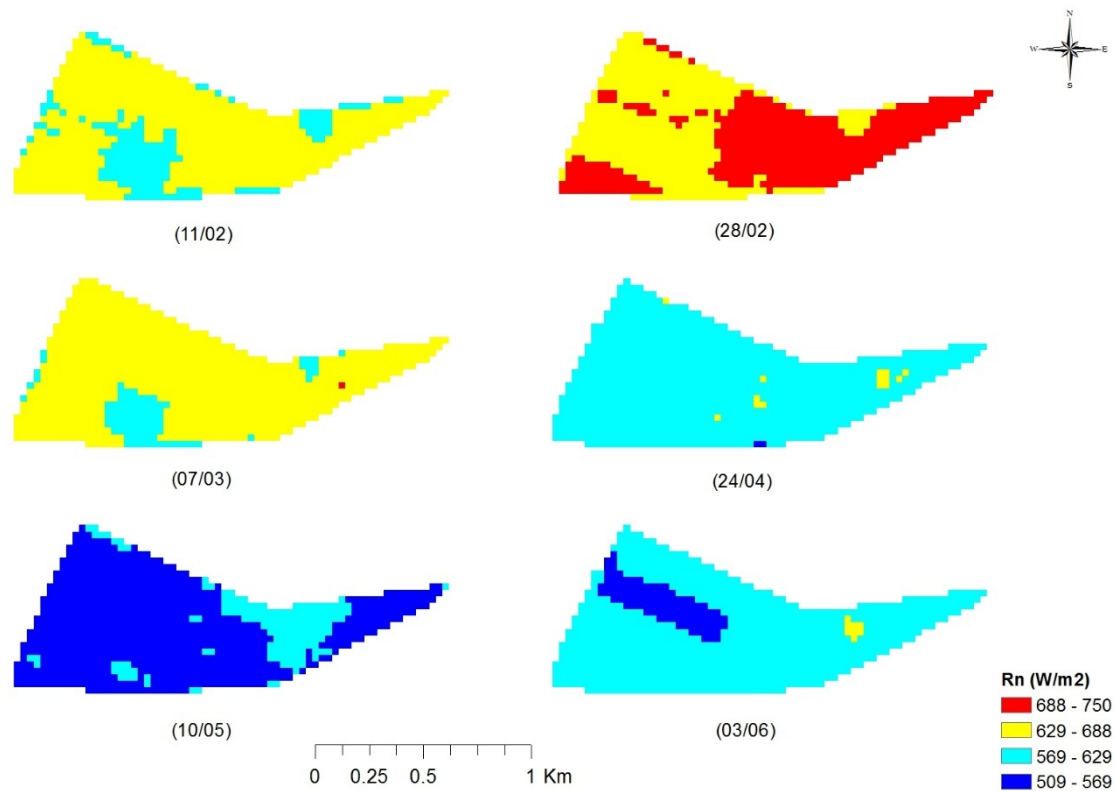
#### 4.2.4. Radiación neta (Rn)

En la Figura 34, se muestra el mapa de radiación neta, para las imágenes satelitales, de las fechas 11/02, 28/02, 07/03, 24/04, 10/05 y 03/06, del 2018. Los resultados oscilan entre 500.24 W m<sup>-2</sup> y 749.623 W m<sup>-2</sup>, para los meses 03/06 y 28/02, del 2018, respectivamente. Así también en la Tabla 23, se aprecia que, en las fechas 28/02/2018 y 07/03/2018, se tuvieron los mayores valores promedios de radiación neta, siendo éstos 691.83 y 657.359 W

$\text{m}^{-2}$ , respectivamente. Esto concuerda con el rango de valores descritos por Allen *et al* (2002), quienes mencionan que la radiación neta puede oscilar entre 100 y 700  $\text{W m}^{-2}$ .

**Tabla 23: Valores estadísticos de la radiación neta ( $\text{W m}^{-2}$ )**

	Fecha de imágenes satelitales					
	11/02/18	28/02/18	07/03/18	24/04/18	10/05/18	03/06/18
Desviación estándar	22.962	24.401	20.038	11.669	14.255	23.377
Media	648.594	691.834	657.359	611.465	554.925	590.425
Máximo	687.827	749.623	690.451	634.412	595.523	637.822
Mínimo	576.932	636.037	591.953	564.778	522.676	500.247



**Figura 34: Valores de radiación neta – Rn ( $\text{W m}^{-2}$ )**

#### 4.2.5. Obtención del flujo de calor del suelo (G)

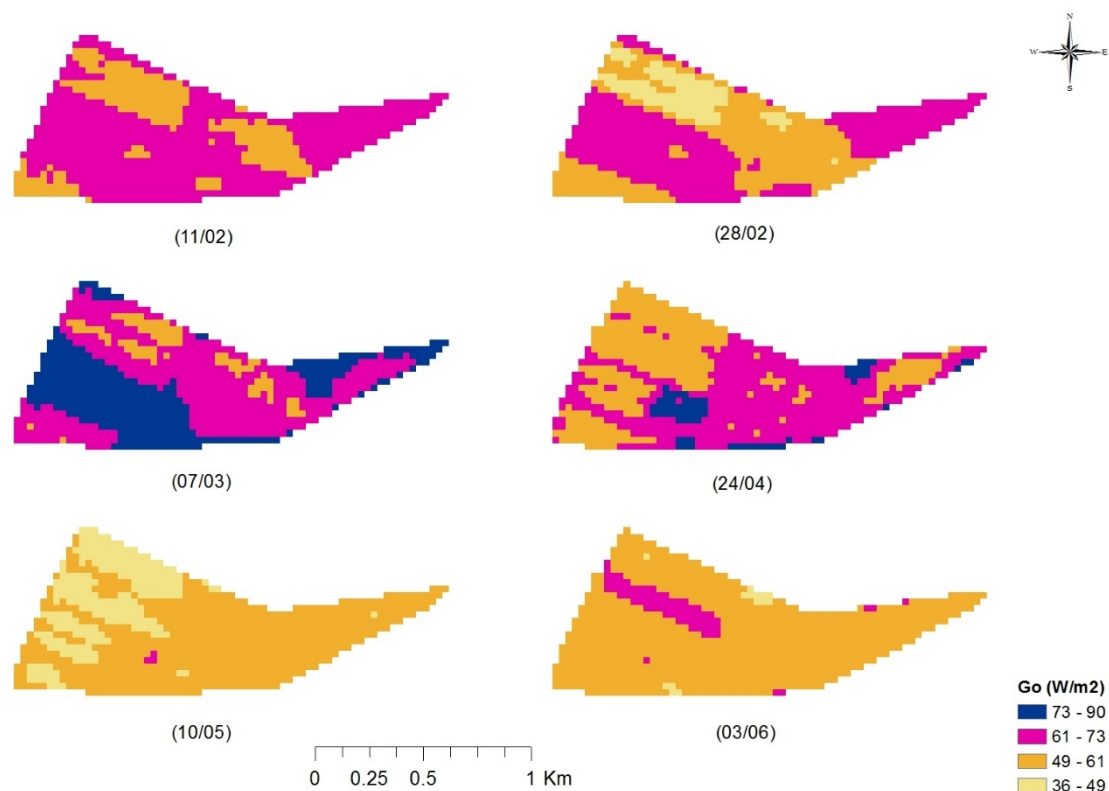
En la Figura 35, se muestra el mapa del flujo de calor del suelo, para las imágenes correspondientes a las fechas 11/02/18, 28/02/18, 07/03/18, 24/04/18, 10/05/18 y 03/06/18, respectivamente. El flujo de calor del suelo mínimo se encontró en la imagen 28/02/2018 con valor de 36.22  $\text{W m}^{-2}$  y el valor máximo en la imagen 07/03/2018, con un valor de 85.60  $\text{W m}^{-2}$ .

Así también en la Tabla 24, se aprecia que, en las fechas 07/03/18 y 24/04/18, se tuvieron los mayores valores promedios del flujo de calor del suelo, siendo éstos 70.66 y 62.74  $W m^{-2}$ , respectivamente.

**Tabla 24: Valores estadísticos del flujo de calor del suelo – G ( $W m^{-2}$ )**

	Fecha de imágenes satelitales					
	11/02/18	28/02/18	07/03/18	24/04/18	10/05/18	03/06/18
Desviación estándar	2.887	7.531	7.264	6.444	3.773	3.181
Media	62.505	58.398	70.659	62.743	51.391	57.401
Máximo	69.434	70.474	85.601	81.464	61.802	62.753
Mínimo	50.076	36.219	52.418	48.442	40.674	42.435

Los valores estimados son semejantes a lo obtenido por Albhaisi, (2004), quien obtiene un rango para G, que varían entre 1  $W m^{-2}$  y 90  $W m^{-2}$ , en una zona de humedales e indica que los menores valores obtenidos representan zonas con pastizales naturales, bosques y cobertura con vegetación densa, los valores medios correspondieron a cuerpos de agua y los valores más altos a zonas urbanas y suelos desnudos.



**Figura 35: Valores del flujo de calor del suelo – G ( $W m^{-2}$ )**

#### 4.2.6. Determinación del flujo de calor sensible del aire (H)

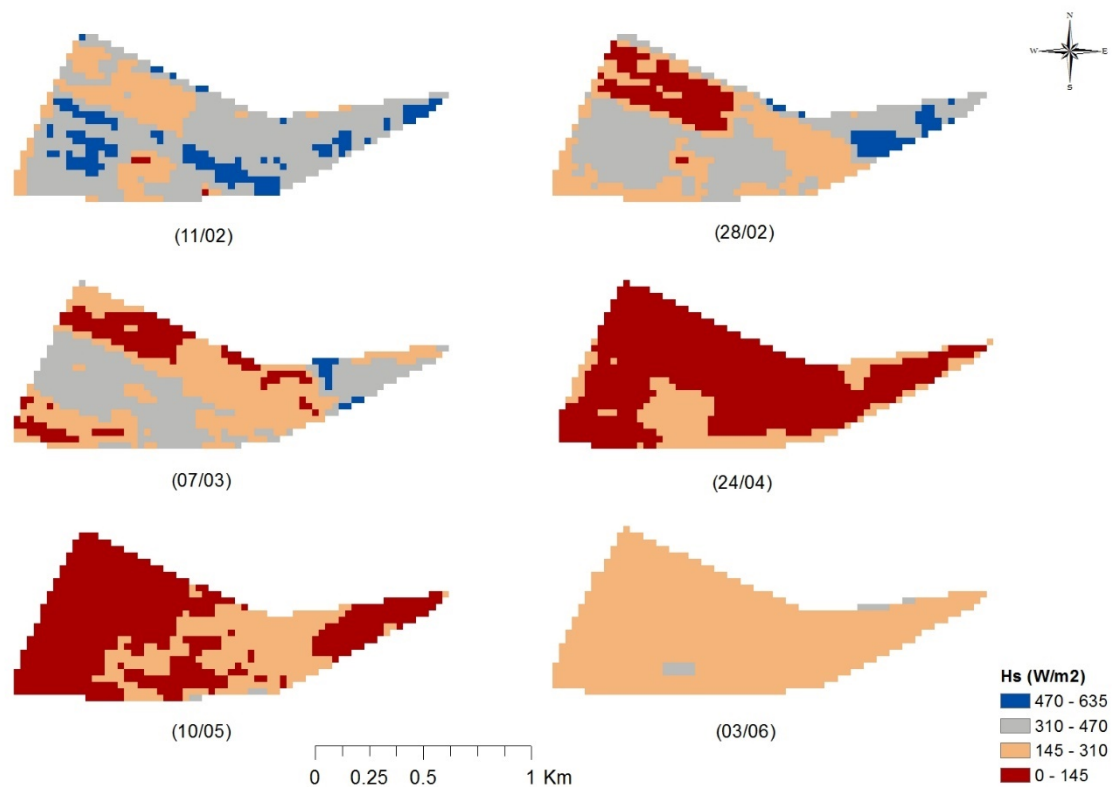
En Figura 36, los valores más altos de H se presentaron en las zonas de poca cobertura vegetal y valores de NDVI cercanos a cero, el flujo de calor sensible del aire mínimo se encontró en la imagen 10/05/18 con un valor de  $28.90 \text{ W m}^{-2}$ , y el valor máximo en la imagen 11/02/18 con un valor de  $635.16 \text{ W m}^{-2}$ .

En la Tabla 25, se muestran los estadísticos de las imágenes, de los cuales, los valores promedios más altos se encontraron en las imágenes 11/02/18 y 28/02/18, siendo éstos de  $380.97$  y  $295.51 \text{ W m}^{-2}$ , respectivamente. Los valores promedio de H, para las imágenes 11/02, 28/02, 07/03, 24/04, 10/05 y 03/06 del 2018, se encuentran dentro del rango de 50 a  $400 \text{ W m}^{-2}$ , establecido por Lee *et al.*, (2016).

**Tabla 25: Valores estadísticos del flujo de calor sensible del aire - Hs ( $\text{W m}^{-2}$ )**

	Fecha de imágenes satelitales					
	11/02/18	28/02/18	07/03/18	24/04/18	10/05/18	03/06/18
Desviación estándar	93.106	116.484	109.088	51.315	58.185	27.527
Media	380.972	295.514	265.078	116.451	119.447	246.494
Máximo	635.158	616.490	593.272	313.015	359.069	331.744
Mínimo	50.705	42.019	38.966	36.997	28.902	187.058





**Figura 36: Valores del flujo de calor sensible del aire – Hs ( $W m^{-2}$ )**

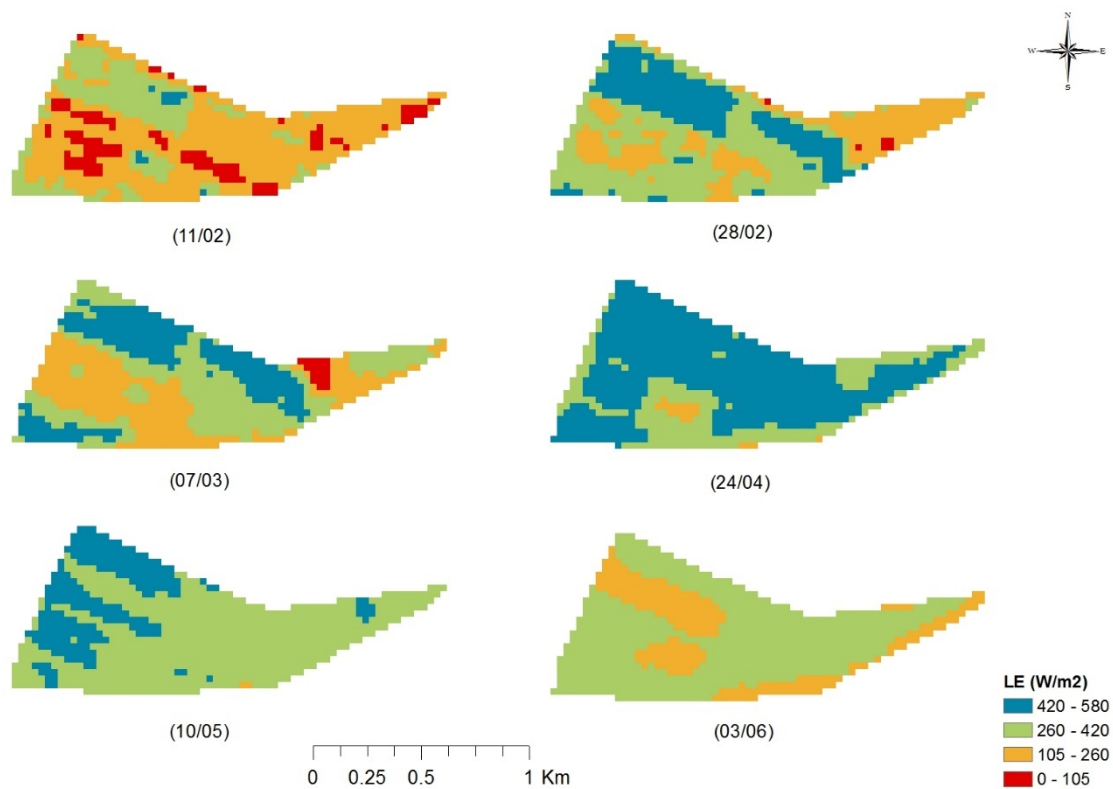
#### 4.2.7. Flujo de calor latente - $\lambda ET$

En la Figura 37, se muestran la variación de los valores de las seis imágenes satelitales representando el flujo de calor latente.

En la Tabla 26, se muestran los estadísticos de las imágenes, de los cuales, los valores promedios más altos se encontraron en las imágenes 24/04/18 y 10/05/18, siendo éstos de 430.53 y 384.09  $W m^{-2}$ , respectivamente.

**Tabla 26: Valores del flujo de calor latente –  $\lambda ET$  ( $W m^{-2}$ )**

	Fecha de imágenes satelitales					
	11/02/18	28/02/18	07/03/18	24/04/18	10/05/18	03/06/18
Desviación estándar	94.330	115.995	120.940	63.910	53.058	44.590
Media	205.117	337.927	323.020	430.530	384.087	284.610
Máximo	504.134	579.199	560.540	538.700	515.079	389.190
Mínimo	21.096	132.283	109.519	194.200	168.894	142.600



**Figura 37: Valores del flujo de calor latente de evaporación –  $\lambda ET$  ( $W m^{-2}$ )**

### 4.3. ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN ( $ET_c$ ) Y COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ )

El mapa de coeficiente del cultivo  $K_c$ , considera los valores del mapa de  $ET_c$ , el cual fue elaborado teniendo en cuenta los procedimientos descritos en la metodología de SEBAL y los valores de  $ET_r$ , los que fueron obtenidos de la información de la estación experimental agrometeorológica vista Florida.

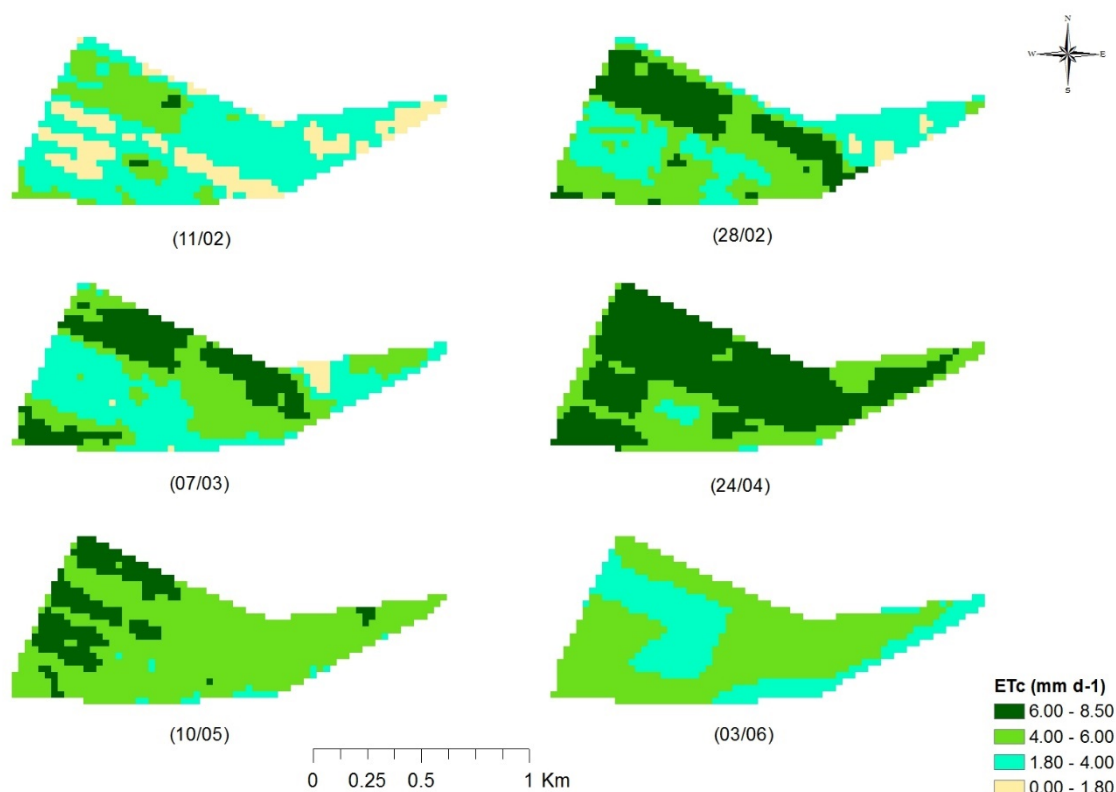
#### 4.3.1. Evapotranspiración real del cultivo mediante imágenes satelitales

Mediante el cálculo de la metodología de SEBAL se obtuvo el mapa de evapotranspiración real del cultivo en  $mm\ día^{-1}$ . En la Figura 38, se muestra la variación de la evapotranspiración del cultivo para las seis fechas mostradas, donde se puede apreciar que el valor máximo de  $ET_c$  es de  $8.34\ mm\ día^{-1}$ , correspondiente a la fecha 28/02/18. En la Tabla 27, se presentan los mayores valores promedios, siendo éstos  $6.22$  y  $5.53\ mm\ día^{-1}$ , correspondiente a las fechas 24/04/18 y 10/05/18, respectivamente. Los valores promedios y máximos de  $ET_c$  calculados en las seis imágenes landsat, se encuentran dentro de los rangos obtenidos por Taherparvar *et al.*, (2018), para el cultivo de arroz, quienes mencionan, que el promedio de

ETc oscila entre 3.4 y 8.4 mm d<sup>-1</sup>.

**Tabla 27: Valores de la evapotranspiración del cultivo – Etc**

	Fecha de imágenes satelitales					
	11/02/18	28/02/18	07/03/18	24/04/18	10/05/18	03/06/18
Desviación estándar	1.361	1.683	1.743	0.918	0.764	0.641
Media	2.919	4.846	4.662	6.217	5.529	4.097
Máximo	7.257	8.337	8.082	7.766	7.414	5.597
Mínimo	0.602	1.216	1.578	2.816	2.431	2.055



**Figura 38: Mapas de evapotranspiración real del cultivo – ETc (mm d<sup>-1</sup>)**

#### 4.3.2. Evapotranspiración de referencia

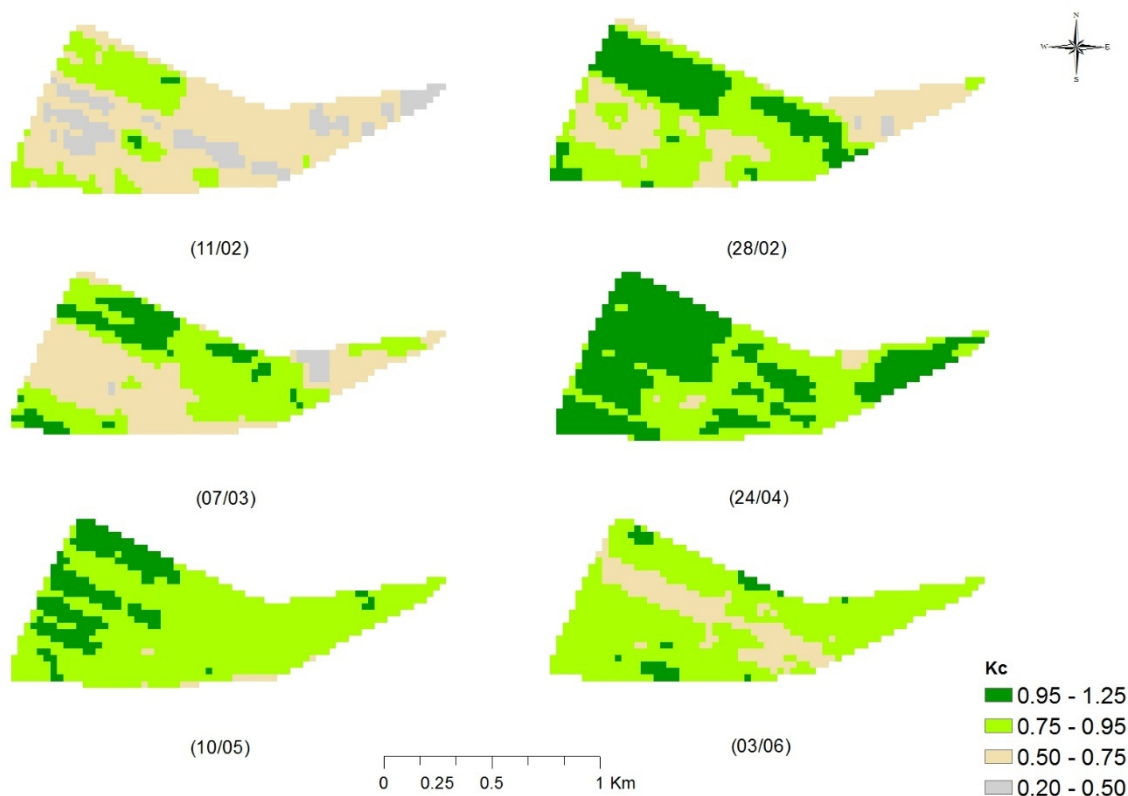
Los valores de la evapotranspiración de referencia, considerada para el análisis del cultivo de arroz de la estación experimental Vista Florida, fueron tomados del reporte de la estación agrometeorológica Vista Florida del INIA Chiclayo, para las fechas, 11/02/18, 28/11/18, 07/03/18, 24/04/18, 10/05/18 y 03/06/18, siendo los valores 5.07, 5.07, 5.56, 5.04, 5.08 y 5.23 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. Los valores pueden visualizarse a mayor detalle en el Anexo 2.

### 4.3.3. Coeficiente del cultivo

En la Figura 39, se aprecia la variación de los valores mínimos y máximos de Kc en las imágenes satelitales analizadas para el período de febrero a junio del 2018. En la Tabla 28, se puede visualizar los mayores valores promedio de Kc, para las fechas 24/04 y 10/05, siendo éstos 0.98 y 0.91, respectivamente, los que corresponden a la etapa de mediados del cultivo. Los valores promedio de Kc, calculados para las seis imágenes landsat, se asemejan a los valores obtenidos por Sawadogo *et al.*, (2019), quienes utilizaron imágenes Landsat 7 y la metodología de balance de energía SEBAL, para el cultivo de sorgo dulce en condiciones de riego inundado, cuyos valores oscilan en un rango de 0.6 – 0.91. Valores semejantes a los obtenidos se encuentran en Hari *et al.*, (2020), quienes procesaron imágenes Sentinel 2 y Landsat 8 mediante el balance de energía METRIC.

**Tabla 28: Valores de coeficiente del cultivo - Kc**

	Fecha de imágenes satelitales					
	11/02/18	28/02/18	07/03/18	24/04/18	10/05/18	03/06/18
Desviación estándar	0.144	0.175	0.169	0.092	0.081	0.097
Media	0.642	0.850	0.787	0.982	0.913	0.819
Máximo	1.100	1.220	1.112	1.161	1.114	1.110
Mínimo	0.244	0.440	0.280	0.589	0.583	0.570



**Figura 39: Variación del coeficiente del cultivo, durante los meses de febrero a junio**

## V. CONCLUSIONES

1. Se determinaron los índices de vegetación NDVI e índice de área foliar IAF, con equipo de campo greenseeker y ceptómetro, así como con las imágenes VANT y mediante el procesamiento de imágenes satelitales Landsat 7 y 8. Se estimaron los índices NDVI con valores promedios de 0.35, 0.52, 0.47, 0.63, 0.57 y 0.50, índice de área foliar – IAF, con valores promedios de 0.15, 0.43, 0.25, 0.75, 0.62, 0.51, para las fechas 11/02/18, 28/02/18, 07/03/18, 24/04/18, 10/05/18 y 03/06/18, respectivamente, donde se obtuvo un incremento durante los meses de febrero a mayo y un decrecimiento en el mes de junio, lo cual refleja el estado fenológico del cultivo de arroz.
2. Los valores del índice de vegetación NDVI e IAF con datos de campo recopilados con greenseeker y ceptómetro al ser comparados con imágenes VANT, obtuvieron una misma tendencia y un coeficiente de correlación de 0.95 y 0.90, respectivamente. Además, se obtuvieron valores de eficiencia de ajuste del índice Nash-Stucliffé de 0.90 y 0.80, representando un ajuste de excelente para NDVI y muy bueno para IAF. Del mismo modo, al comparar los datos del VANT con datos de la imagen de satélite del mes de abril, se obtuvo una misma tendencia y un coeficiente de correlación de 0.92 y 0.90, respectivamente, asimismo, se obtuvieron valores de eficiencia de ajuste del índice de Nash-Stucliffé de 0.60 y 0.88 para NDVI e IAF, representando un ajuste bueno y muy bueno, respectivamente, lo cual valida la información utilizada y procesada de los datos tanto de campo como imágenes VANT y satélite.
3. Los valores de Kc obtenidos mediante la relación propuesta por Cuesta et al., (2005), utilizó el NDVI que fue ajustado con datos de campo. Los valores promedios de Kc de mapa obtenidos fueron de 0.64, 0.85, 0.79, 0.98, 0.91 y 0.82 para las fechas 11/02, 28/02, 07/03, 24/04, 10/05 y 03/06, respectivamente. Mostrando que esta información, responde muy bien a la etapa fenológica del cultivo de arroz.
4. Los resultados de la investigación en la estimación del NDVI, Kc y ETC, mediante información de campo y sensores remotos realizado en la EE Vista Florida, pueden contribuir como base para las futuras investigaciones y en la gestión óptima del agua de los sectores agrarios locales.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Realizar al menos 4 vuelos mensuales con el VANT para una mejor caracterización.
2. Programar planes de vuelo, considerando diferentes alturas de vuelo.
3. Utilizar mayor cantidad de imágenes de los vuelos VANT y a diferentes alturas para un mayor ajuste de información respecto a las imágenes de satélite.
4. Realizar mediciones con equipos térmicos, que permitan realizar una calibración de los datos de temperatura de la imagen térmica.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D. y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje, FAO-56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, 298. ISBN 92-5-304219-2.
- Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. y Bastiaanssen, W. (2002). *SEBAL, Surface Energy Balance Algorithms for Land*. Advance Training and User's Manual. Idaho: a NASA EOSDIS/Synergy grant from the Raytheon Company University of Idaho.
- Bastiaanssen, W.G.M.; Molden D.J. & Makin, I.W. (2000). *Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications*. International Agric. Water Manage, 46 (2), 137-155. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00080-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00080-9)
- Berrío, M.V.A.; Mosquera, T.J. y Alzate, V.D.F. (2015). *Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión*. @Limentech Ciencia Y Tecnología Alimentaria, 13, 28-40. <https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2015.1647>
- Bright, L.Z.; Handley, M.; Chien, I.; Curi, S.; Brownworth, L.A.; D'hers, S. y Elman, N.M. (2016). *Analytical models integrated with satellite images for optimized pest management*. Precision Agric., 17, 628-636. <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9434-0>
- Castañeda, I.C.R.; Flores, M.H.; Martínez, M.M.; Salvador, E.G.; Fernández, R.D.; Prado, H.V. y Pascual, R.F. (2018). *Estimación de la evapotranspiración mediante un balance de energía utilizando sensores remotos*. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 5 (15), 537-545. <https://doi.org/10.19136/era.a5n15.1647>
- Cecenque, R. (2013). *Manual para el tratamiento de imágenes satelitales con índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)*. INIA, FIC-Gobierno Regional de Valparaíso GORE (en línea). Recuperado de [http://www.monitoreosatelital.cl/wp-content/uploads/2014/11/Manual\\_Tratamiento-de-imagenes-NDVI.pdf](http://www.monitoreosatelital.cl/wp-content/uploads/2014/11/Manual_Tratamiento-de-imagenes-NDVI.pdf)

- Chao, H. y Chen. (2012). *Remote sensing and actuation using unmanned vehicles*. John Wiley & Sons Inc., 62, 365-382. ISBN 978-1-118-12276-1
- Chavez, P. (1996). Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62, 1025-1036.
- Chuvienco, E. (2010). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel Ciencia. Universidad de Alcalá. ISBN: 978-84-344-3498-1
- Cortegana, M. (2017). *Respuesta de fuentes y niveles de nitrógeno en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.) en condiciones del valle Chancay, Lambayeque* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2864>
- Cuesta, A.; Montoro, A.; Jochum, A.M.; López, P.; Calera, A. (2005). *Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite*. Información Técnica Económica Agraria, 101 (3), 212-224. ISSN: 1699-6887.
- Cui, Z.L.; Zhang, H.Y.; Chen, X.; Zhang, C.; Ma, W.; Huang, C.; Zhang, W.; Mi, G.; Miao, Y.; Li, X.; et al. (2018). *Pursuing sustainable productivity with millions of smallholder farmers*. Nature, 555, 363–366. <https://doi.org/10.1038/nature25785>
- Fernández-Pacheco, D.G.; Escarabajal, H.D.; Ruiz, C.A.; Conesa, J. y Molina, M.J. (2014). *A digital image-processing-based method for determining the crop coefficient of lettuce crops in the southeast of Spain*. Biosystems engineering, 117, 23-34. DOI: [10.1016/j.biosystemseng.2013.07.014](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.07.014)
- Frankelius, P.; Norrman, C. y Johansen, K. (2017). *Agricultural Innovation and the Role of Institutions: Lessons from the Game of Drones*. Agric Environ Ethics, 1-27. <https://doi.org/10.1007/s10806-017-9703-6>
- García, S.A. y Martínez, L.J. (2010). *Satellite image-based method for rice (Oryza sativa L.) crop identification*. Agronomía Colombiana, 28 (2), 281-290. <https://www.researchgate.net/publication/260769207>
- González, A.; Amarillo, G.; Amarillo, M. y Sarmiento, F. (2016). *Drones aplicados a la agricultura de precisión*. Revista Especializada en Ingeniería, 10, 23-37. <https://doi.org/10.22490/25394088.1585>
- Gordillo, S.V.M.; Flores, M.H.; Tijerina, L. y Arteaga, R. (2013). *Estimación de la evapotranspiración utilizando balance de energía e imágenes satelitales*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 5 (1), 143-155. [10.29312/remexca.v5i1.1017](https://doi.org/10.29312/remexca.v5i1.1017)
- Gutiérrez-Soto, M.V.; Cadet-Piedra, E.; Rodríguez-Montero, W. y Araya-Alfaro, J.M. (2011). *El GreenSeeker™ y el diagnóstico del estado de salud de los*



- cultivos*. *Agronomía Mesoamericana*, 22 (2), 397 – 403. ISSN 2215-3608.  
DOI: [10.15517/am.v22i2.11799](https://doi.org/10.15517/am.v22i2.11799)
- Khan, Z.; Rahimi-Eichi, V.; Haefele, S.; Garnett, T. y Miklavcic, S.J. (2018). *Estimation of vegetation indices for high-throughput phenotyping of wheat using aerial imaging*. *Plant Methods*, 14 (1), 20. <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0287-6>
- Kosa, P. (2011). *The Effect of Temperature on Actual Evapotranspiration based on Landsat 5 TM Satellite Imagery*. Thailand: Intech. DOI: 10.5772/14012
- Lee, Y.; Kim, S. (2016). *The Modified SEBAL for Mapping Daily Spatial Evapotranspiration of South Korea Using Three Flux Towers and Terra MODIS Data*. *Remote Sens*, 8, 983. <https://doi.org/10.3390/rs8120983>
- León, R. (2016). *Modelación matemática para estimar los requerimientos hídricos del cultivo de papa (Solanum spp.)*, [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Riobamba – Ecuador.  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2833>
- Liu, X.; Yang, S.; Xu, J.; Zhang, J. y Liu, J. (2017). *Effects of soil heat storage and phase shift correction on energy balance closure of paddy fields*. *Atmósfera*, 30 (1), 39 – 52. <https://doi.org/10.20937/ATM.2017.30.01.04>
- Mahlein, A.L. (2016). *Plant disease detection by imaging sensors - parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping*. *Plant Disease*, 2, 241-251. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-15-0340-FE>
- Marini, F.; Santamaría, M.; Oricchio, P.; Di Bella, C.M. y Basualdo, A. (2017). *Estimación de evapotranspiración real (ETR) y de evapotranspiración potencial (ETP) en el sudoeste bonaerense (Argentina) a partir de imágenes MODIS*. *Universitat Politècnica de Valencia, Revista de Teledetección*, 48, 29 – 41. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.6743>
- Moriasi, D.; Arnold, J.; Van Liew, M.; Bingner, R.; Harmel, R. & Veith, T. (2007). *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. *Trans. ASABE*, 50(3), 885 - 900. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.23153>
- Mulla, D.J. (2013). *Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps*. *Biosystems Engineering*, 114 (4), 358-371. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>
- Messina, A.T. (2012). *Mapping drought in the Krishna Basin with remote sensing*. [Tesis de Maestría, Universidad de San Diego]. Recuperado de

<https://digitallibrary.sdsu.edu/islandora/object/sdsu%3A3247>

- Nuñez, J.C.M. (2009). *Modelación del flujo de calor del suelo y aplicación del algoritmo de cálculo de evapotranspiración mediante teledetección*. [Tesis Magister en Ciencias de la Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile]. Recuperado de <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/1371>
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica y geodatos libres como elementos de desarrollo*. Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano, ISSN 1885-8104, N°. 8
- Pavón, P.N.; López, R.J.A.; Torres, R.; Morais, R. y Pastor, J.A. (2017). *New trends in precision agriculture: a novel cloud-based system for enabling data storage and agricultural task planning and automation*. Precision Agric, 18, 1038-1068. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9532-7>
- Rodríguez, E. (2012). *Uso de lisímetros de drenaje artesanales para determinar el Kc de los principales estados fenológicos de la uva de mesa cv. Thompson Seedless en el valle de Aconcagua*, [Tesis para optar título de Ing. Agrónomo, Corporación Universidad de Aconcagua]. San Felipe, Chile.
- Santos, G.O.; Rosalen, D.L. & Faria, R.T. (2017). *Use of active optical sensor in the characteristics analysis of the fertigated brachiaria with treated sewage*. Engenharia Agrícola, 37 (6), 1213-1221. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n6p1213-1221/2017>
- Taherparvar, M. y Pirmoradian N. (2018). Estimation of Rice Evapotranspiration Using Reflective Images of Landsat Satellite in Sefridrood Irrigation and Drainage Network. Rice Science, (25), 2. 111 – 116. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2018.02.003>.
- Uribe, D.; Mattar, C. & Camacho, F. (2018). *Estimation of vegetation Biophysical Parameters in Grasslands and Crops in Chile through Hemispheric Digital Photography by a GoPro camera*. Revista de Teledetección, 52, 1-15. <https://doi.org/10.4995/raet.2018.9315>
- Villa, G.; Moreno, J.; Calera, A.; Amorós, J.; Camps-valls, G.; Domenech, E.; González-matesanz, J.; Gómez-chova, L.; Martínez, J.Á.; Molina, S. y Peces, J.J. (2013). *Spectro-temporal reflectance surfaces: a new conceptual framework for the integration of remote-sensing data from multiple different sensors*. International Journal of Remote, 3699-3715. DOI: 10.1080/01431161.2012.716910
- Wherley, B.; Dukes, M.D.; Cathey, S.; Miller, G. & Sinclair, T. (2015). *Consumptive water*

*use and crop coefficients for warm-season turfgrass species in the Southeastern United States.* Agricultural Water Management, 156, 10-18.  
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.020>

Weiss, M.; Jacob, F. & Duveiller, G. (2020). *Remote sensing for agricultural applications*, A meta-review. DOI: [10.1016/j.rse.2019.111402](https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402)

Zhao, G.; Miao, Y.; Wang, H.; Su, M.; Fan, M.; Zhang, F.; et al., (2013). *A preliminary precision rice management system for increasing both grain yield and nitrogen use efficiency.* Field Crops Research, 154, 23–30.  
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.07.019>

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: PANEL FOTOGRÁFICO



1. De izquierda a derecha: Vehículo aéreo no tripulado, Cámara Parrot Sequoia (multiespectral), Cámara Flir Vue Pro R640



2. Ceptómetro modelo LP-80 – ACCUPAR



3. Equipo GreenSeeker, GPS de mano satelital, Wincha, Cámara Térmica de mano Flir.



4. Material de control de valores albedo para imágenes drone



5. Estación meteorológica Vista Florida



6. Registro de datos de campo



7. Puntos de control



8. Parcelas de arroz



9. Semillero



10. Vista panorámica de parcelas de arroz



11. Vista panorámica, zonas de cultivo de arroz



## ANEXO 2: REPORTE DE ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Data Time	Temperatura (°C)			Humedad (%)			Velocidad (m/s)		
	Med	Max	Min	Med	Max	Min	Resultante	Med	Max
2018-01-01 00:00:00	22.5	29.9	16.8	77	100	49	0.7	1.0	6.9
2018-01-02 00:00:00	23.6	31.6	19.2	72	93	45	0.6	0.8	5.8
2018-01-03 00:00:00	23.4	31	17.2	73	99	44	1.0	1.3	7.9
2018-01-04 00:00:00	22.1	29.7	16.9	81	100	51	1.2	1.4	6.9
2018-01-05 00:00:00	22.1	29.8	16.1	79	100	52	0.7	1.0	6.0
2018-01-06 00:00:00	23.2	30.4	18.3	77	97	50	0.5	0.7	5.0
2018-01-07 00:00:00	22.7	28.8	19.2	82	100	53	0.6	0.8	5.2
2018-01-08 00:00:00	23.2	30.9	18.5	77	99	46	0.8	1.1	6.9
2018-01-09 00:00:00	22.4	29.7	17.1	82	100	53	0.9	1.1	6.5
2018-01-10 00:00:00	22.6	31.3	16.8	80	100	48	0.5	0.7	5.8
2018-01-11 00:00:00	24.2	32.6	19.9	75	98	44	0.6	0.9	6.9
2018-01-12 00:00:00	24.1	30.8	20.2	74	94	48	0.8	1.1	7.0
2018-01-13 00:00:00	23.7	30.9	19.2	77	98	49	0.6	0.9	5.6
2018-01-14 00:00:00	23.9	31.3	18.7	74	100	45	0.5	0.8	5.8
2018-01-15 00:00:00	23.6	30.9	18	74	100	44	0.5	0.7	5.8
2018-01-16 00:00:00	23.6	31.3	18.5	73	99	42	0.7	1.0	6.3
2018-01-17 00:00:00	23.3	30.6	17.1	75	100	45	0.8	1.1	6.6
2018-01-18 00:00:00	23	30.9	20	82	100	50	0.7	1.2	6.0
2018-01-19 00:00:00	23	31.3	19.2	83	100	47	0.8	1.2	7.8
2018-01-20 00:00:00	23.5	31.8	19.4	80	100	45	0.6	0.9	6.3
2018-01-21 00:00:00	23.1	31	18.3	77	100	0	0.4	0.7	5.5
2018-01-22 00:00:00	25.1	31.2	17.1	65	100	0	0.7	1.1	6.0
2018-01-23 00:00:00	24.2	31.5	19.5	70	96	44	0.5	0.7	5.4
2018-01-24 00:00:00	23.9	31.5	18.7	73	97	43	0.4	0.7	4.5
2018-01-25 00:00:00	24.5	33	18.8	73	98	41	0.4	0.7	6.5
2018-01-26 00:00:00	23.3	32.4	18.2	81	100	44	0.5	0.7	6.1
2018-01-27 00:00:00	23.8	31.2	18.6	78	100	44	0.6	0.9	7.4
2018-01-28 00:00:00	24	31.4	18.5	77	100	47	0.7	1.0	7.1
2018-01-29 00:00:00	23.9	31.7	17.8	76	100	49	0.5	0.8	5.2
2018-01-30 00:00:00	24.9	32.2	20.6	71	93	45	0.5	0.8	5.6
2018-01-31 00:00:00	24.9	32.9	20.2	71	94	42	0.6	0.8	5.8
2018-02-01 00:00:00	24.3	31.7	18.7	74	100	45	0.6	0.8	6.6
2018-02-02 00:00:00	23.7	31.2	18.1	75	100	47	0.6	0.8	5.4
2018-02-03 00:00:00	23.9	31.6	17.7	74	100	47	0.5	0.8	6.6
2018-02-04 00:00:00	24.8	31.8	19.5	72	96	47	0.3	0.5	4.7
2018-02-05 00:00:00	25	32.8	20.4	69	90	45	0.5	0.8	4.9
2018-02-06 00:00:00	24.4	32.6	17.9	71	100	43	0.7	1.0	5.9
2018-02-07 00:00:00	23.9	29.3	20.2	73	99	51	0.8	1.0	5.3
2018-02-08 00:00:00	26.1	31	22.6	67	81	0	0.9	1.2	7.3
2018-02-09 00:00:00	24.2	31	20.5	78	98	53	0.5	0.8	4.7
2018-02-10 00:00:00	24.5	32.5	18.6	76	100	0	0.4	0.8	5.1
2018-02-11 00:00:00	26	33.4	21.1	70	91	0	0.4	0.7	6.3
2018-02-12 00:00:00	25	32.4	18.9	71	100	0	0.9	1.2	7.8

«continuación»

2018-02-13 00:00:00	24.7	32.4	20.1	72	97	0	0.7	1.0	5.7
2018-02-14 00:00:00	25.6	33.2	19.7	70	95	0	0.6	0.9	6.7
2018-02-15 00:00:00	25.3	32.3	18.8	72	100	0	0.6	0.9	6.3
2018-02-16 00:00:00	24.9	31.4	21.8	75	94	50	0.2	0.6	3.9
2018-02-17 00:00:00	25.5	33.2	22.5	81	100	52	0.7	0.9	4.2
2018-02-18 00:00:00	25.1	33.4	20.7	78	100	49	0.4	0.6	4.5
2018-02-19 00:00:00	24.8	28.8	21.3	80	99	0	0.3	0.6	3.4
2018-02-20 00:00:00	25.5	32.8	20.9	76	96	0	0.4	0.7	5.2
2018-02-21 00:00:00	24.7	31.7	18.8	77	100	0	0.4	0.7	5.1
2018-02-22 00:00:00	25.4	32.6	19.8	72	97	0	0.4	0.7	4.6
2018-02-23 00:00:00	23.8	32	18.2	77	100	0	0.5	0.7	5.6
2018-02-24 00:00:00	23.8	31.9	17.4	76	100	0	0.4	0.6	6.0
2018-02-25 00:00:00	24.6	33.2	18.5	73	100	39	0.4	0.6	5.6
2018-02-26 00:00:00	23.9	32.1	17.3	75	100	47	0.4	0.7	4.8
2018-02-27 00:00:00	24.6	33.5	19.9	73	97	39	0.5	0.7	5.6
2018-02-28 00:00:00	24.2	33.5	18.7	75	99	39	0.4	0.8	5.3
2018-03-01 00:00:00	23.7	30.9	18.7	74	99	46	0.6	0.9	5.1
2018-03-02 00:00:00	24	34	19.1	76	100	0	0.7	1.0	6.0
2018-03-03 00:00:00	22.8	30.7	18.9	81	99	0	0.6	0.8	4.8
2018-03-04 00:00:00	23.4	30.7	19.3	80	99	49	0.5	0.8	5.7
2018-03-05 00:00:00	24.1	31.9	19.8	74	96	44	0.5	0.7	5.0
2018-03-06 00:00:00	24.6	31.2	19.5	69	94	0	0.6	0.9	5.4
2018-03-07 00:00:00	23.7	31.5	19	71	96	0	0.5	0.7	4.5
2018-03-08 00:00:00	24.2	33	17.5	62	79	36	0.6	0.9	5.8
2018-03-09 00:00:00	24.7	32.3	19.1	62	74	0	1.0	1.4	7.5
2018-03-10 00:00:00	23.6	30.5	19.1	66	75	0	0.7	0.9	5.8
2018-03-11 00:00:00	23.3	29.7	18.2	68	77	53	0.6	0.8	5.6
2018-03-12 00:00:00	22	30.9	17.6	71	82	51	0.4	0.7	5.4
2018-03-13 00:00:00	21.9	30.5	18.1	75	86	0	0.5	0.7	5.2
2018-03-14 00:00:00	23.2	31.4	18.2	72	85	0	0.4	0.7	4.8
2018-03-15 00:00:00	23.8	32.8	18	70	86	43	0.4	0.8	6.7
2018-03-16 00:00:00	23.9	30.6	19.3	71	84	50	0.4	0.7	4.6
2018-03-17 00:00:00	26	33.1	21.3	65	80	45	0.5	0.8	5.6
2018-03-18 00:00:00	24.5	31.1	20.5	72	82	52	0.5	0.7	5.1
2018-03-19 00:00:00	23.5	29.5	21.1	77	83	62	0.5	0.7	4.8
2018-03-20 00:00:00	23.4	29.3	20.3	77	85	0	0.5	0.7	5.0
2018-03-21 00:00:00	23.4	30.9	18.7	76	89	53	0.7	0.9	6.6
2018-03-22 00:00:00	22.8	29.9	19.5	77	87	56	0.6	0.8	5.5
2018-03-23 00:00:00	23.2	30.5	18.4	77	90	55	0.4	0.7	5.6
2018-03-24 00:00:00	23.8	29	21	78	86	61	0.3	0.5	4.0
2018-03-25 00:00:00	25	32.5	20.9	72	87	45	0.4	0.6	4.9
2018-03-26 00:00:00	22.9	31.1	18.3	76	91	48	0.6	0.9	6.2
2018-03-27 00:00:00	21.7	28.8	18.1	83	94	0	0.5	0.9	5.4
2018-03-28 00:00:00	23.3	30.6	19.6	78	90	0	0.4	0.7	5.6
2018-03-29 00:00:00	23.7	30.7	19.5	77	89	53	0.5	0.7	4.6

«continuación»

2018-03-30 00:00:00	22.9	31.2	19.3	80	91	47	0.5	0.8	6.2
2018-03-31 00:00:00	23	30.6	19.8	78	89	52	0.5	0.7	4.7
2018-04-01 00:00:00	22.4	28.5	19.4	82	93	59	0.4	0.6	5.0
2018-04-02 00:00:00	23.2	32.2	20.1	78	89	0	0.4	0.6	5.0
2018-04-03 00:00:00	22.7	28.9	19.2	79	90	0	0.4	0.6	4.1
2018-04-04 00:00:00	23.6	31.3	19.5	77	91	48	0.5	0.7	5.9
2018-04-05 00:00:00	23	30.5	19.9	80	92	0	0.6	0.9	6.2
2018-04-06 00:00:00	22.3	28.2	19.8	84	91	69	0.6	0.8	4.5
2018-04-07 00:00:00	22.7	30.5	19.4	78	90	0	0.5	0.7	4.8
2018-04-08 00:00:00	23.1	29.9	18.1	75	92	0	0.5	0.7	5.1
2018-04-09 00:00:00	23.4	30.5	20.2	75	87	0	0.4	0.6	4.1
2018-04-10 00:00:00	24.5	32.6	19.6	68	88	0	0.4	0.6	5.3
2018-04-11 00:00:00	24.1	32.5	19.9	72	87	0	0.8	1.1	6.0
2018-04-12 00:00:00	23.1	28.6	19.2	73	85	56	1.4	1.6	7.0
2018-04-13 00:00:00	22.1	28.8	17.6	78	93	56	0.6	1.1	7.5
2018-04-14 00:00:00	22.8	29.2	19.8	77	86	57	0.2	0.7	4.5
2018-04-15 00:00:00	23	30.3	18.8	72	87	43	0.5	0.8	5.7
2018-04-16 00:00:00	21.6	30.3	16.9	77	93	0	0.4	0.7	4.8
2018-04-17 00:00:00	21	28.6	16.5	77	92	52	0.4	0.7	4.9
2018-04-18 00:00:00	22.3	30.5	16.2	72	92	44	0.7	0.9	5.9
2018-04-19 00:00:00	21.8	28.9	16.6	75	91	51	0.5	0.8	5.9
2018-04-20 00:00:00	22.5	29.6	16.2	71	92	46	0.5	0.8	5.4
2018-04-21 00:00:00	23.1	30.5	17	68	88	43	0.7	1.0	6.5
2018-04-22 00:00:00	23.1	30.5	16.5	69	91	46	0.6	0.9	5.0
2018-04-23 00:00:00	22.5	29.8	16.9	74	92	0	0.4	0.6	4.7
2018-04-24 00:00:00	24.1	32.3	19	72	90	44	0.4	0.8	5.1
2018-04-25 00:00:00	23.6	30.8	19.6	74	88	0	0.5	0.8	5.6
2018-04-26 00:00:00	23.2	30.6	19.8	77	90	53	0.4	0.7	4.8
2018-04-27 00:00:00	23.9	31.7	19.5	72	88	46	0.6	0.9	6.1
2018-04-28 00:00:00	24.1	31.6	17.7	70	90	0	0.6	0.9	5.5
2018-04-29 00:00:00	23.3	30	19.8	76	89	51	0.3	0.6	4.7
2018-04-30 00:00:00	22.4	25.1	21.2	77	83	0	1.0	1.2	5.8
2018-05-01 00:00:00	22.7	29.7	18.7	77	90	53	0.6	0.8	6.6
2018-05-02 00:00:00	21.4	29.1	17.8	80	92	0	0.4	0.7	5.3
2018-05-03 00:00:00	22	30.3	17.7	77	91	50	0.5	0.7	5.6
2018-05-04 00:00:00	21.1	29	17.3	80	94	55	0.5	0.8	5.8
2018-05-05 00:00:00	22.2	29.4	18.6	74	88	52	0.5	0.8	5.1
2018-05-06 00:00:00	22.1	29.4	17.2	71	90	0	0.5	0.8	6.0
2018-05-07 00:00:00	21.9	29.6	18.4	76	90	52	0.5	0.7	5.7
2018-05-08 00:00:00	21.3	28.8	18.3	80	91	55	0.4	0.7	4.3
2018-05-09 00:00:00	22.3	31.2	18.3	75	90	47	0.5	0.7	5.2
2018-05-10 00:00:00	22.8	30.1	19.1	74	89	49	0.6	1.0	7.5
2018-05-11 00:00:00	21	28.3	17.9	81	91	0	1.0	1.3	6.7
2018-05-12 00:00:00	20.6	27.4	17.9	82	91	59	0.8	1.1	5.9
2018-05-13 00:00:00	20.9	27.1	17.6	80	90	59	0.8	1.1	5.4

«continuación»

2018-05-14 00:00:00	20.3	26.6	17	81	92	0	0.5	0.8	4.9
2018-05-15 00:00:00	21.3	28.8	17.6	77	90	0	0.5	0.9	4.4
2018-05-16 00:00:00	19.6	20.1	19	86	89	84	0.8	0.9	5.2
2018-05-17 00:00:00	21.2	28	17.9	81	93	56	0.6	0.9	6.0
2018-05-18 00:00:00	20.6	27.1	17.2	81	93	0	0.6	0.9	6.0
2018-05-19 00:00:00	20.4	26.9	16.8	79	93	0	0.7	0.9	5.5
2018-05-20 00:00:00	20.6	27.5	17.3	77	89	54	0.6	0.9	5.2
2018-05-21 00:00:00	20.2	26.3	15.6	80	94	59	0.6	0.9	5.2
2018-05-22 00:00:00	21	27.7	17.6	80	94	0	0.5	0.7	5.0
2018-05-23 00:00:00	20.5	27.4	17.1	80	92	55	0.8	1.1	5.7
2018-05-24 00:00:00	19.5	26.1	16.5	84	95	61	0.4	0.7	5.5
2018-05-25 00:00:00	20	27.2	15.4	81	96	57	0.7	0.9	5.5
2018-05-26 00:00:00	19.8	26.4	15.4	81	95	59	0.7	1.0	6.3
2018-05-27 00:00:00	19.7	26	16.4	81	93	58	1.0	1.3	5.5
2018-05-28 00:00:00	19.9	27.2	15	80	95	56	0.6	0.9	6.0
2018-05-29 00:00:00	20.3	25.8	16.2	81	94	63	1.2	1.4	6.6
2018-05-30 00:00:00	20.7	27.1	17.6	81	92	59	1.0	1.3	6.0
2018-05-31 00:00:00	19.2	24.1	17.1	86	93	66	0.7	1.0	4.8
2018-06-01 00:00:00	16.8	18	15.7	92	93	89	0.5	0.5	3.3
2018-06-02 00:00:00	20.1	24.7	15.6	78	93	63	0.9	1.1	5.2
2018-06-03 00:00:00	19.2	25.1	15	83	94	63	0.4	0.6	5.3
2018-06-04 00:00:00	19.6	26.3	14.7	81	94	0	0.8	1.0	6.9
2018-06-05 00:00:00	19.9	26.2	16.6	84	93	0	1.1	1.4	6.9
2018-06-06 00:00:00	19.3	24	16	87	93	68	0.8	1.0	5.6
2018-06-07 00:00:00	19.2	23.8	17.2	87	93	70	0.9	1.1	5.5
2018-06-08 00:00:00	19.7	25.2	16.9	85	92	0	0.5	0.8	5.4
2018-06-09 00:00:00	19.2	25.9	13.8	84	95	61	0.6	0.9	4.8
2018-06-10 00:00:00	19.9	25.8	16.7	84	93	0	0.3	0.5	4.3
2018-06-11 00:00:00	19.8	27.9	14.6	82	94	0	0.7	0.9	5.2
2018-06-12 00:00:00	19.6	24.7	17.6	86	93	65	1.0	1.2	5.9
2018-06-13 00:00:00	19.3	25	16.9	85	93	0	1.2	1.4	6.1
2018-06-14 00:00:00	19.8	25.9	16.7	83	93	0	1.4	1.7	6.9
2018-06-15 00:00:00	18.7	21.3	16.3	89	93	0	0.6	0.7	4.0
2018-06-16 00:00:00	18.9	22.6	17.4	89	93	74	0.7	0.9	4.5
2018-06-17 00:00:00	19.1	25.2	15.9	86	94	0	1.0	1.2	6.0
2018-06-18 00:00:00	18.8	25.3	13.9	84	94	65	0.6	0.9	5.5
2018-06-19 00:00:00	18.4	23.9	15.1	88	93	66	0.6	0.7	4.8
2018-06-20 00:00:00	17.8	23	14.5	88	93	70	0.8	0.9	6.1
2018-06-21 00:00:00	18.6	22.7	16.9	88	93	0	0.5	0.8	4.8
2018-06-22 00:00:00	18.9	23.7	16.2	86	93	69	0.4	0.7	3.7
2018-06-23 00:00:00	18.9	23.6	16	86	93	0	0.9	1.0	4.6
2018-06-24 00:00:00	17.9	18	17.8	90	92	0	0.9	0.9	3.0
2018-06-25 00:00:00	19.2	25.7	17	85	94	59	1.2	1.3	5.4
2018-06-26 00:00:00	19.2	26.1	16.4	84	94	59	0.8	1.1	6.1
2018-06-27 00:00:00	18.8	24.9	16.6	85	94	61	1.3	1.5	6.6

«continuación»

2018-06-28 00:00:00	19.6	25.1	15	78	95	61	0.6	0.9	5.4
2018-06-29 00:00:00	20.2	24.9	16.6	76	94	57	1.2	1.5	5.0
2018-06-30 00:00:00	19	25.6	15.5	84	94	58	0.4	0.8	5.0
2018-07-01 00:00:00	18.8	25.4	15.5	86	95	63	0.9	1.1	5.1
2018-07-02 00:00:00	19.3	26	16.8	84	94	57	0.8	1.0	5.6
2018-07-03 00:00:00	17.7	21.4	13.9	88	94	76	0.6	0.8	4.4
2018-07-04 00:00:00	18.7	23.8	16.5	87	95	68	0.7	0.9	4.7
2018-07-05 00:00:00	18.6	25	14.7	83	95	63	0.7	0.9	5.7
2018-07-06 00:00:00	17.9	22.5	14.4	87	94	70	0.4	0.7	4.7
2018-07-07 00:00:00	18.3	23.3	15.8	87	96	65	0.7	0.9	4.8
2018-07-08 00:00:00	18.1	22.8	14.3	88	96	66	0.5	0.6	4.1
2018-07-09 00:00:00	18.1	23.8	14	85	95	62	0.7	0.8	5.0
2018-07-10 00:00:00	18.5	24.5	15	86	96	63	0.7	0.9	5.6
2018-07-11 00:00:00	18.1	25.2	13.8	84	95	61	0.5	0.7	5.3
2018-07-12 00:00:00	19	25.3	14.6	81	94	60	0.6	0.8	5.8
2018-07-13 00:00:00	16.5	17.3	15.8	92	93	0	0.4	0.5	2.6
2018-07-14 00:00:00	18.4	26.2	14.6	83	94	60	0.5	0.7	4.3
2018-07-15 00:00:00	19.2	25	16.4	86	95	63	0.9	1.1	6.3
2018-07-16 00:00:00	18.7	25.1	14.3	88	97	61	0.6	0.8	5.6
2018-07-17 00:00:00	17.3	23.9	12	84	94	0	0.5	0.7	4.2
2018-07-18 00:00:00	18.5	21.7	16	89	97	74	0.7	0.8	4.5
2018-07-19 00:00:00	19.2	26.8	17.2	84	96	56	1.6	1.8	5.3
2018-07-20 00:00:00	19.5	25.7	17.1	84	97	57	1.3	1.5	5.9
2018-07-21 00:00:00	19.9	26.4	16.3	83	97	56	1.1	1.3	6.4
2018-07-22 00:00:00	20.2	27	17.4	84	97	56	1.1	1.3	6.6
2018-07-23 00:00:00	19.7	26	16.3	85	97	60	0.6	0.8	6.1
2018-07-24 00:00:00	20.1	25.5	16.6	82	97	62	0.9	1.1	4.6
2018-07-25 00:00:00	19.5	27	16.3	85	96	56	0.7	1.0	5.6
2018-07-26 00:00:00	19.1	25.9	16.8	88	97	59	0.9	1.1	4.9
2018-07-27 00:00:00	20.2	25.2	16.3	82	97	62	1.0	1.2	4.7
2018-07-28 00:00:00	18.6	25.5	15.5	88	97	62	0.8	1.0	4.8
2018-07-29 00:00:00	18.8	25.7	15.2	87	97	59	0.7	0.9	5.4
2018-07-30 00:00:00	20.4	24.7	16.5	79	96	0	1.1	1.4	5.7
2018-07-31 00:00:00	18.6	23.8	15.3	86	96	67	0.5	0.7	5.0

Data Time	Dirección viento			Precipitación	Energía	Evapotranspiración
	Resultante	Med	Max	Acumulada (mm)	Energía	ET0 (mm/d)
2018-01-01 00:00:00	221	234	218	0	4761.6	5.210405
2018-01-02 00:00:00	218	223	208	0	3727.9	5.197292
2018-01-03 00:00:00	208	215	198	0	5531.9	4.970952
2018-01-04 00:00:00	214	221	182	0	5282.5	5.062796
2018-01-05 00:00:00	214	224	242	0	4440.1	5.08469
2018-01-06 00:00:00	220	223	227	0.1	4558.2	4.784302
2018-01-07 00:00:00	225	239	226	2.2	4436.2	5.014696
2018-01-08 00:00:00	215	222	215	0	5267.1	4.91839
2018-01-09 00:00:00	210	210	191	0	4017.8	4.950978
2018-01-10 00:00:00	229	237	195	0	4898.7	4.966548
2018-01-11 00:00:00	220	232	174	0.1	5311.2	4.9906
2018-01-12 00:00:00	217	228	206	0	5422.9	4.932098
2018-01-13 00:00:00	224	235	194	0	4642.1	5.07142
2018-01-14 00:00:00	220	219	232	0	5150.8	5.122424
2018-01-15 00:00:00	233	244	210	0	5478.5	5.230085
2018-01-16 00:00:00	216	237	193	0	4657.7	5.135021
2018-01-17 00:00:00	218	229	202	0	5336	4.901458
2018-01-18 00:00:00	212	224	200	0.8	3731	4.819542
2018-01-19 00:00:00	207	214	206	3	4723.9	4.932399
2018-01-20 00:00:00	217	228	214	0.5	4580.5	5.100884
2018-01-21 00:00:00	228	233	231	0	3949.2	5.237203
2018-01-22 00:00:00	229	236	176	0	5081.2	5.307257
2018-01-23 00:00:00	229	236	239	0	4646.3	5.174328
2018-01-24 00:00:00	244	266	213	0	4542.1	5.126997
2018-01-25 00:00:00	233	236	304	0	5136.3	4.866451
2018-01-26 00:00:00	229	233	194	0	4750.8	4.931619
2018-01-27 00:00:00	220	221	182	0	5398.4	4.928852
2018-01-28 00:00:00	226	236	222	0	5218.9	4.952297
2018-01-29 00:00:00	232	246	217	0	5392.2	5.099362
2018-01-30 00:00:00	240	247	195	0	5224.7	5.157995
2018-01-31 00:00:00	214	219	276	0	4812.8	5.064875
2018-02-01 00:00:00	232	241	209	0	5375	5.077419
2018-02-02 00:00:00	236	238	202	0	5397.9	5.134389
2018-02-03 00:00:00	233	245	205	0	4732.9	5.108277
2018-02-04 00:00:00	230	243	216	0	3070.6	5.176832
2018-02-05 00:00:00	228	243	186	0	4626.4	5.205473
2018-02-06 00:00:00	226	236	221	0	5513.5	5.149467
2018-02-07 00:00:00	216	227	214	0.1	2961.4	4.809233
2018-02-08 00:00:00	223	226	177	0	4330	4.852662
2018-02-09 00:00:00	220	230	197	0	3385.5	4.885696
2018-02-10 00:00:00	232	255	192	0	4822.9	4.973843
2018-02-11 00:00:00	236	255	224	0	4642.1	5.069613
2018-02-12 00:00:00	218	224	200	0	5420	5.031131

«continuación»

2018-02-13 00:00:00	219	226	192	0	4084.7	5.089927
2018-02-14 00:00:00	220	219	281	0	5044.9	4.950858
2018-02-15 00:00:00	220	224	221	0	5213.1	4.886845
2018-02-16 00:00:00	229	211	257	0	2202.8	4.42428
2018-02-17 00:00:00	200	198	220	0.5	2879	4.658779
2018-02-18 00:00:00	221	221	241	0.3	3213.7	4.58699
2018-02-19 00:00:00	235	246	218	0	2085.5	4.709972
2018-02-20 00:00:00	232	227	259	0	4253	4.781235
2018-02-21 00:00:00	246	252	222	0	5275	4.95274
2018-02-22 00:00:00	242	254	287	0	5354.7	4.990101
2018-02-23 00:00:00	237	242	161	0	5179.3	5.037134
2018-02-24 00:00:00	232	238	268	0	4872.3	5.121622
2018-02-25 00:00:00	250	261	222	0	5137.2	5.0163
2018-02-26 00:00:00	238	260	257	0	4564.9	5.052394
2018-02-27 00:00:00	240	245	259	0	4793.9	5.081785
2018-02-28 00:00:00	238	250	201	0	4535.1	5.067471
2018-03-01 00:00:00	232	250	191	0	4348.3	5.013752
2018-03-02 00:00:00	223	231	276	0	5199.6	4.887873
2018-03-03 00:00:00	248	250	219	0	4286.6	4.898126
2018-03-04 00:00:00	252	257	250	0	3822.8	5.096339
2018-03-05 00:00:00	248	253	295	0	3544.2	5.237742
2018-03-06 00:00:00	254	258	282	0	5198.1	5.273315
2018-03-07 00:00:00	256	258	259	0	3769.5	5.560227
2018-03-08 00:00:00	236	245	202	0	5315.1	5.489575
2018-03-09 00:00:00	224	237	230	0	4739.3	5.322806
2018-03-10 00:00:00	247	249	190	0	5279.1	5.256876
2018-03-11 00:00:00	249	255	269	0	5370.5	5.315248
2018-03-12 00:00:00	252	257	231	0	4716.2	5.071478
2018-03-13 00:00:00	269	271	196	0	4785.6	5.105141
2018-03-14 00:00:00	261	276	270	0	4327.9	4.915078
2018-03-15 00:00:00	259	264	237	0	5129.1	3.947138
2018-03-16 00:00:00	262	265	256	0	3893.4	5.418978
2018-03-17 00:00:00	257	262	189	0	4927.5	5.128206
2018-03-18 00:00:00	244	251	214	0	3510.9	4.961968
2018-03-19 00:00:00	249	255	196	0	2661.9	4.992679
2018-03-20 00:00:00	246	246	230	0	3752.2	5.07002
2018-03-21 00:00:00	239	243	258	0	4889.7	5.073683
2018-03-22 00:00:00	243	250	291	0	4830.6	4.988326
2018-03-23 00:00:00	268	284	200	0	5042	4.854721
2018-03-24 00:00:00	276	269	243	0.2	2224.2	5.060791
2018-03-25 00:00:00	257	275	244	0	4333.5	5.103283
2018-03-26 00:00:00	241	240	223	0	5138	4.953532
2018-03-27 00:00:00	238	254	210	0	3528.7	4.946901
2018-03-28 00:00:00	250	257	226	0	4710.3	4.921891
2018-03-29 00:00:00	254	260	311	0	4518.4	4.967187

«continuación»

2018-03-30 00:00:00	242	245	280	0.2	4261.5	4.997465
2018-03-31 00:00:00	250	246	245	0	3907	4.88939
2018-04-01 00:00:00	246	257	220	2.2	4269.3	4.932574
2018-04-02 00:00:00	249	250	199	0	3087.6	5.013595
2018-04-03 00:00:00	250	264	262	0	2847.5	5.019606
2018-04-04 00:00:00	244	250	249	0.9	4787.3	4.882665
2018-04-05 00:00:00	231	242	200	0	4448.8	4.72464
2018-04-06 00:00:00	214	216	247	4.6	3512.6	4.967529
2018-04-07 00:00:00	242	252	264	0	4932.5	5.100867
2018-04-08 00:00:00	245	253	270	0	4923.7	5.067444
2018-04-09 00:00:00	250	268	189	0	3198.4	5.367285
2018-04-10 00:00:00	238	242	198	0	3871.6	5.164791
2018-04-11 00:00:00	223	225	230	0	4918.7	5.057119
2018-04-12 00:00:00	212	217	232	0	754.2	5.035663
2018-04-13 00:00:00	238	264	206	0	4758.2	5.043401
2018-04-14 00:00:00	267	251	267	0	3550.5	5.255684
2018-04-15 00:00:00	244	251	241	0	4951.6	5.195005
2018-04-16 00:00:00	261	253	271	0	5034.8	5.252142
2018-04-17 00:00:00	257	261	206	0	4534.2	5.351633
2018-04-18 00:00:00	225	240	200	0	4594.1	5.258196
2018-04-19 00:00:00	243	248	229	0	4853.2	5.380045
2018-04-20 00:00:00	241	251	196	0	4908.2	5.414262
2018-04-21 00:00:00	230	247	242	0	4911.1	5.434443
2018-04-22 00:00:00	227	238	237	0	4887.8	5.256239
2018-04-23 00:00:00	252	268	299	0	4654.5	5.123411
2018-04-24 00:00:00	249	261	209	0.6	4236.8	5.044845
2018-04-25 00:00:00	242	248	218	0	4963.8	4.918558
2018-04-26 00:00:00	267	271	238	0	4020.3	5.164915
2018-04-27 00:00:00	225	233	208	0	3964.8	5.211078
2018-04-28 00:00:00	228	235	252	0	4727.5	4.942049
2018-04-29 00:00:00	253	251	4	1.3	3368.9	5.158359
2018-04-30 00:00:00	200	202	191	0	21.2	5.03781
2018-05-01 00:00:00	245	251	199	0	4795.4	5.070646
2018-05-02 00:00:00	246	263	269	0	3657.4	5.121648
2018-05-03 00:00:00	234	240	208	0	4407.5	5.127062
2018-05-04 00:00:00	237	242	196	0	4237	5.246876
2018-05-05 00:00:00	231	233	206	0	3966.7	5.416019
2018-05-06 00:00:00	236	253	200	0	4312.8	5.209952
2018-05-07 00:00:00	231	240	227	0.4	3769.4	5.091156
2018-05-08 00:00:00	246	256	251	0.1	3683	5.234529
2018-05-09 00:00:00	229	241	253	0	3308	5.144032
2018-05-10 00:00:00	227	239	193	0	4415.2	5.083878
2018-05-11 00:00:00	215	221	199	0.3	4501.3	5.145666
2018-05-12 00:00:00	215	222	197	0	2449.7	5.133555
2018-05-13 00:00:00	216	218	205	0	3952.9	5.206657



«continuación»

2018-05-14 00:00:00	227	248	183	0	3055.6	5.245141
2018-05-15 00:00:00	216	229	227	0	3513.4	5.183619
2018-05-16 00:00:00	202	212	201	0	0	5.044207
2018-05-17 00:00:00	224	233	267	0.2	3976.5	5.106619
2018-05-18 00:00:00	231	235	246	0	4320.1	5.229541
2018-05-19 00:00:00	223	245	222	0.3	3911.4	5.322123
2018-05-20 00:00:00	225	235	228	0	4097.6	5.253682
2018-05-21 00:00:00	223	236	225	0	3884.5	5.10605
2018-05-22 00:00:00	223	231	214	2.9	3761.1	5.202946
2018-05-23 00:00:00	218	225	189	0	4522.7	5.16814
2018-05-24 00:00:00	229	234	255	0	3697.4	5.211679
2018-05-25 00:00:00	217	216	191	0	4504.1	5.258057
2018-05-26 00:00:00	218	223	185	0	3938.4	5.246498
2018-05-27 00:00:00	207	211	186	0	3848.8	5.262003
2018-05-28 00:00:00	219	227	250	0	4450.5	5.166099
2018-05-29 00:00:00	209	219	201	0	4268.7	5.139984
2018-05-30 00:00:00	210	209	192	0	4077.3	5.116522
2018-05-31 00:00:00	217	222	186	0	2222.7	5.170979
2018-06-01 00:00:00	203	220	207	0	0	5.245003
2018-06-02 00:00:00	210	216	197	0	2461.9	5.226792
2018-06-03 00:00:00	224	229	216	0	2916.2	5.236176
2018-06-04 00:00:00	215	215	202	0	4131.9	5.083062
2018-06-05 00:00:00	212	217	198	0	3797.3	5.075965
2018-06-06 00:00:00	211	212	295	0	2234.6	5.084427
2018-06-07 00:00:00	211	218	207	0	2013.7	5.129023
2018-06-08 00:00:00	220	235	336	0	2768.1	5.180377
2018-06-09 00:00:00	218	216	227	0	3981.6	5.134757
2018-06-10 00:00:00	238	235	196	0	1821	5.054832
2018-06-11 00:00:00	213	215	205	0	4103.4	5.113011
2018-06-12 00:00:00	206	209	193	0	1987.1	5.139156
2018-06-13 00:00:00	209	211	192	0	2886.9	5.142242
2018-06-14 00:00:00	209	210	201	0	4132.2	5.116449
2018-06-15 00:00:00	209	215	264	0	1112.1	5.11522
2018-06-16 00:00:00	208	211	210	0	1416.4	5.154705
2018-06-17 00:00:00	207	209	202	0	2821	5.212308
2018-06-18 00:00:00	218	221	182	0	4397.4	5.155593
2018-06-19 00:00:00	208	212	182	0	1742.1	5.188252
2018-06-20 00:00:00	203	192	250	0	1745.1	5.12267
2018-06-21 00:00:00	225	237	216	0	1907.4	5.166227
2018-06-22 00:00:00	221	218	275	0	1638.3	5.200307
2018-06-23 00:00:00	195	197	199	0	1321.2	5.248442
2018-06-24 00:00:00	202	208	206	0	0	5.220417
2018-06-25 00:00:00	204	206	196	0	2746.3	5.242793
2018-06-26 00:00:00	209	215	211	0.2	3214.9	5.211704
2018-06-27 00:00:00	206	209	202	0	2793.1	5.336867

«continuación»

2018-06-28 00:00:00	228	213	277	0	2393.9	5.375432
2018-06-29 00:00:00	211	211	210	0	3007.8	5.231125
2018-06-30 00:00:00	229	229	219	0	3462.7	5.188527
2018-07-01 00:00:00	211	213	185	0	3541	5.184936
2018-07-02 00:00:00	207	211	196	0	3177.2	5.267955
2018-07-03 00:00:00	210	205	201	0	1454.3	5.145579
2018-07-04 00:00:00	214	222	213	0	2361.5	5.290282
2018-07-05 00:00:00	214	210	202	0	4282.1	5.229519
2018-07-06 00:00:00	228	230	181	0	2310.3	5.214899
2018-07-07 00:00:00	208	207	243	0	2285.4	5.226305
2018-07-08 00:00:00	215	225	347	0	1639.5	5.296139
2018-07-09 00:00:00	206	210	187	0	2072.7	5.207061
2018-07-10 00:00:00	206	212	199	0	2863	5.320955
2018-07-11 00:00:00	216	212	215	0	3343.3	5.335364
2018-07-12 00:00:00	214	211	194	0	4024.7	5.288283
2018-07-13 00:00:00	203	216	201	0	0	5.319005
2018-07-14 00:00:00	210	207	205	0	2818.6	5.119307
2018-07-15 00:00:00	208	208	200	0	3501.2	5.119991
2018-07-16 00:00:00	206	206	179	0	2280.8	5.387616
2018-07-17 00:00:00	209	205	213	0	2124.7	5.14341
2018-07-18 00:00:00	208	209	197	0	1182.6	5.241699
2018-07-19 00:00:00	205	207	209	0	3034	5.263902
2018-07-20 00:00:00	205	205	204	0	3025.3	5.208239
2018-07-21 00:00:00	205	205	203	0	4198.5	5.13001
2018-07-22 00:00:00	213	215	205	0	4295.6	5.107355
2018-07-23 00:00:00	226	225	196	0	4296.5	5.135234
2018-07-24 00:00:00	216	214	318	0	1377.5	5.159216
2018-07-25 00:00:00	214	214	226	0	3807.6	5.091256
2018-07-26 00:00:00	202	203	198	0	2616	5.052017
2018-07-27 00:00:00	216	215	231	0	2460.5	5.139094
2018-07-28 00:00:00	212	212	218	0	2637.2	5.133361
2018-07-29 00:00:00	213	215	267	0	2804.9	5.314648
2018-07-30 00:00:00	220	219	253	0	3352.6	5.213253
2018-07-31 00:00:00	216	218	193	0	2254.4	5.264842
2018-08-01 00:00:00	212	210	201	0	3224.6	5.124729
2018-08-02 00:00:00	214	218	214	0	2582.9	5.227316
2018-08-03 00:00:00	213	213	199	0	3757.7	5.143431
2018-08-04 00:00:00	213	218	196	0	3600.6	5.324087
2018-08-05 00:00:00	219	221	280	0	4370	5.381939
2018-08-06 00:00:00	222	218	214	0	3641	5.370863
2018-08-07 00:00:00	206	206	208	0	2293.7	5.33867
2018-08-08 00:00:00	209	207	216	0	3165.9	5.43534
2018-08-09 00:00:00	229	237	210	0	3582.4	5.279791
2018-08-10 00:00:00	210	210	245	0	3895.1	5.308484
2018-08-11 00:00:00	211	208	193	0	3525.5	5.322801

«continuación»

2018-08-12 00:00:00	221	216	294	0	3858.8	5.256884
2018-08-13 00:00:00	208	202	234	0	4310.2	5.149366
2018-08-14 00:00:00	215	215	208	0	2515.7	

**ANEXO 3: DATOS NDVI DE CAMPO CON EQUIPO GREENSEEKER**

N°	DATOS CAMPO - PARCELA 240-B				
	i	ii	iii	iv	v
1	0.60	0.70	0.55	0.62	0.56
2	0.73	0.77	0.72	0.78	0.71
3	0.72	0.70	0.67	0.84	0.75
4	0.68	0.76	0.57	0.83	0.75
5	0.72	0.80	0.70	0.79	0.80
6	0.75	0.77	0.78	0.84	0.80
7	0.78	0.77	0.82	0.74	0.80
8	0.73	0.71	0.82	0.82	0.82
9	0.69	0.76	0.82	0.79	0.84
10	0.68	0.76	0.77	0.79	0.85
11	0.72	0.77	0.78	0.87	0.85
12	0.69	0.79	0.73	0.81	0.85
13		0.75	0.79	0.80	0.86
14		0.76	0.78	0.77	0.85
15		0.78	0.83	0.72	0.84
16		0.73	0.82		0.86
17		0.58	0.83		0.84
18			0.84		0.84
19			0.84		0.84
20			0.83		0.84
21			0.80		0.84
22					0.83
23					0.86
24					0.84
25					0.84
26					0.86
27					0.86
28					0.85
29					0.86
30					0.86
31					0.86
32					0.85
33					0.86
34					0.86
35					0.89
36					0.86
37					0.86
38					0.86
39					0.86
40					0.86
41					0.80
42					0.86
43					0.86
44					0.85
45					0.86

«continuación»

---

46	0.86
47	0.85
48	0.85
49	0.86
50	0.86
51	0.86
52	0.87
53	0.86
54	0.86
55	0.86
56	0.86
57	0.86
58	0.85
59	0.86
60	0.85
61	0.82
62	0.84
63	0.83
64	0.83
65	0.81
66	0.82
67	0.82
68	0.80

---

DATOS CAMPO - PARCELA 360-C					
Nº	i	ii	iii	iv	v
1	0.72	0.61	0.68	0.79	0.72
2	0.78	0.69	0.70	0.83	0.79
3	0.80	0.76	0.71	0.84	0.79
4	0.80	0.79	0.77	0.85	0.85
5	0.73	0.81	0.75	0.85	0.83
6	0.73	0.79	0.79	0.87	0.83
7	0.79	0.75	0.79	0.88	0.87
8	0.72	0.75	0.79	0.84	0.86
9	0.76	0.60	0.78	0.79	0.86
10	0.60	0.71	0.76	0.82	0.82
11	0.75	0.76	0.73	0.84	0.80
12	0.75	0.74	0.77	0.84	0.87
13	0.76	0.76	0.76	0.84	0.84
14	0.74	0.75	0.71	0.83	0.82
15	0.76	0.68	0.76	0.85	0.85
16	0.73	0.64	0.72	0.83	0.80
17	0.76	0.63	0.75	0.79	0.86
18	0.78		0.73	0.77	0.87
19	0.77		0.75		0.87
20	0.73		0.77		0.87
21	0.68		0.72		0.86
22			0.73		0.88
23			0.73		0.88
24			0.77		0.87
25			0.75		0.84
26			0.75		0.86
27			0.79		0.87
28					0.84
29					0.86
30					0.88
31					0.87
32					0.83
33					0.85
34					0.81
35					0.85
36					0.84
37					0.84
38					0.86
39					0.82
40					0.85
41					0.83
42					0.82
43					0.84
44					0.80
45					0.84
46					0.85

«continuación»

---

47	0.81
48	0.75
49	0.67

---

<b>DATOS CAMPO - PARCELA 240-D</b>					
<b>Nº</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>
1	0.65	0.58	0.62	0.58	0.68
2	0.73	0.65	0.68	0.78	0.81
3	0.76	0.75	0.64	0.77	0.83
4	0.77	0.76	0.72	0.82	0.85
5	0.75	0.73	0.70	0.77	0.83
6	0.80	0.75	0.77	0.77	0.87
7	0.77	0.72	0.75	0.82	0.84
8	0.79	0.77	0.75	0.78	0.83
9	0.75	0.71	0.74	0.76	0.79
10	0.77	0.75	0.68	0.74	0.78
11	0.78	0.77	0.75	0.82	0.81
12	0.77	0.76	0.72	0.79	0.81
13	0.75	0.75	0.75	0.77	0.82
14	0.82	0.78	0.75	0.82	0.78
15	0.81	0.71	0.72	0.75	0.80
16	0.78	0.75	0.70	0.78	0.84
17	0.83	0.72	0.70	0.79	0.84
18	0.76	0.65	0.68	0.79	0.83
19	0.75	0.56	0.69	0.80	0.86
20	0.55	0.60	0.71	0.73	0.86
21		0.64	0.69	0.67	0.80
22		0.68	0.70		0.84
23		0.58	0.74		0.86
24			0.67		0.85
25					0.85
26					0.87
27					0.84
28					0.83
29					0.83
30					0.87
31					0.87
32					0.85
33					0.83
34					0.77
35					0.80
36					0.84
37					0.87
38					0.84
39					0.83
40					0.87
41					0.85
42					0.86
43					0.84
44					0.85
45					0.85
46					0.82



«continuación»

---

47	0.84
48	0.82
49	0.80
50	0.77
51	0.70
52	0.62

---

DATOS CAMPO - PARCELA 360-E					
Nº	i	ii	iii	iv	v
1	0.65	0.57	0.52	0.63	0.73
2	0.70	0.62	0.71	0.71	0.81
3	0.75	0.61	0.71	0.73	0.80
4	0.73	0.66	0.72	0.67	0.84
5	0.74	0.62	0.75	0.77	0.85
6	0.71	0.67	0.70	0.72	0.81
7	0.72	0.70	0.73	0.77	0.85
8	0.73	0.71	0.75	0.75	0.82
9	0.73	0.70	0.73	0.74	0.81
10	0.75	0.72	0.78	0.77	0.85
11	0.74	0.63	0.69	0.69	0.82
12	0.73	0.55	0.69	0.74	0.87
13	0.74	0.58	0.70	0.78	0.85
14	0.71	0.62	0.75	0.72	0.78
15	0.76	0.63	0.68	0.71	0.84
16	0.74	0.66	0.73	0.75	0.83
17	0.76	0.62	0.71	0.81	0.79
18	0.73	0.61	0.72	0.83	0.87
19	0.67	0.64	0.73	0.82	0.86
20	0.57	0.58	0.70	0.79	0.86
21		0.52	0.64	0.71	0.86
22		0.56	0.71	0.76	0.75
23		0.61	0.71	0.65	0.85
24		0.54	0.72		0.84
25			0.63		0.85
26					0.86
27					0.68
28					0.86
29					0.86
30					0.85
31					0.87
32					0.84
33					0.85
34					0.83
35					0.84
36					0.87
37					0.81
38					0.73
39					0.73
40					0.74
41					0.75
42					0.75
43					0.80
44					0.85
45					0.86
46					0.88

«continuación»

---

47	0.78
48	0.85
49	0.85
50	0.87
51	0.83
52	0.84
53	0.83
54	0.81
55	0.86
56	0.80
57	0.85
58	0.84
59	0.81
60	0.83
61	0.82
62	0.80
63	0.81
64	0.77
65	0.71
66	0.64

---

DATOS CAMPO - PARCELA 360-A					
Nº	i	ii	iii	iv	v
1	0.78	0.50	0.60	0.71	0.73
2	0.78	0.69	0.82	0.76	0.78
3	0.71	0.76	0.78	0.75	0.81
4	0.69	0.79	0.78	0.77	0.81
5	0.75	0.81	0.80	0.76	0.79
6	0.77	0.80	0.78	0.76	0.81
7	0.77	0.78	0.77	0.79	0.83
8	0.65	0.76	0.76	0.77	0.86
9	0.55	0.73	0.76	0.81	0.87
10	0.69	0.76	0.78	0.81	0.84
11	0.61	0.74	0.74	0.79	0.87
12	0.55	0.71	0.79	0.74	0.85
13	0.56	0.70	0.79	0.73	0.84
14	0.59	0.65	0.76	0.77	0.86
15	0.66	0.71	0.70	0.75	0.88
16	0.49	0.64	0.65	0.73	0.87
17		0.66	0.72	0.70	0.85
18		0.68		0.76	0.85
19		0.62		0.75	0.85
20				0.78	0.87
21				0.76	0.86
22				0.76	0.83
23				0.81	0.86
24				0.78	0.87
25				0.80	0.85
26				0.78	0.87
27				0.80	0.83
28				0.80	0.88
29				0.78	0.85
30					0.86
31					0.86
32					0.85
33					0.87
34					0.83
35					0.85
36					0.79
37					0.83
38					0.81
39					0.80
40					0.82
41					0.81
42					0.84
43					0.85
44					0.87
45					0.86
46					0.87

«continuación»

---

47	0.88
48	0.87
49	0.84
50	0.87
51	0.84
52	0.79
53	0.82
54	0.74
55	0.72
56	0.73
57	0.72
58	0.72
59	0.74
60	0.69
61	0.74
62	0.65
63	0.74
64	0.72
65	0.72

---

DATOS CAMPO - PARCELA 000-F					
Nº	i	ii	iii	iv	v
1	0.60	0.42	0.35	0.35	0.58
2	0.61	0.38	0.45	0.50	0.57
3	0.60	0.35	0.51	0.52	0.58
4	0.59	0.33	0.51	0.54	0.65
5	0.58	0.36	0.52	0.52	0.60
6	0.64	0.38	0.53	0.56	0.58
7	0.66	0.40	0.55	0.55	0.60
8	0.60	0.38	0.50	0.60	0.57
9	0.57	0.41	0.55	0.54	0.50
10	0.62	0.40	0.51	0.56	0.56
11	0.67	0.33	0.50	0.48	0.61
12	0.63	0.35	0.48	0.49	0.60
13	0.62	0.45	0.42	0.54	0.59
14	0.65	0.36	0.57	0.60	0.55
15	0.63	0.43	0.41	0.57	0.70
16	0.55	0.37	0.45	0.48	0.58
17	0.56		0.46	0.46	0.61
18	0.58		0.58	0.63	0.56
19	0.55		0.42	0.65	0.70
20	0.52		0.38	0.63	0.53
21	0.56		0.35	0.60	0.59
22	0.47		0.34		0.60
23	0.51		0.35		0.45
24	0.51		0.42		0.51
25	0.53		0.38		0.65
26	0.40		0.44		0.56
27			0.45		0.48
28			0.38		0.70
29			0.35		0.60
30			0.33		0.58
31					0.61
32					0.62
33					0.55
34					0.57
35					0.56
36					0.54
37					0.57
38					0.65
39					0.51
40					0.67
41					0.58
42					0.58
43					0.55
44					0.54
45					0.47
46					0.48

<b>DATOS CAMPO - PARCELA 000-F</b>					
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>
47					0.44
48					0.38

<b>DATOS DE CAMPO - SEMILLERO</b>						
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
1	0.77	0.73	0.78	0.83	0.76	0.77
2	0.83	0.69	0.77	0.84	0.75	0.76
3	0.81	0.67	0.73	0.87	0.78	0.80
4	0.80	0.63	0.72	0.86	0.77	0.80
5	0.82	0.66	0.76	0.85	0.80	0.80
6	0.80	0.66	0.72	0.84	0.78	0.74
7	0.83	0.7	0.73	0.84	0.77	0.78
8	0.79	0.67	0.75	0.81	0.78	0.81
9	0.77	0.66	0.74	0.81	0.80	0.80
10	0.75	0.66	0.75	0.85	0.77	0.79
11	0.73	0.65	0.76	0.84	0.76	0.80
12	0.74	0.64	0.76	0.82	0.78	0.82
13	0.70	0.65	0.74	0.80	0.79	0.77
14	0.75	0.67	0.72	0.82	0.78	0.75
15	0.75	0.67	0.70	0.82	0.76	0.79
16	0.78	0.66	0.66	0.81	0.75	0.78
17	0.76	0.66	0.70	0.80	0.77	0.73
18	0.78	0.67	0.65	0.81	0.76	0.81
19	0.76	0.64	0.71	0.80	0.78	0.77
20	0.74	0.66	0.68	0.79	0.75	0.79
21	0.71	0.67	0.71	0.83	0.78	0.75
22	0.70	0.66	0.74	0.82	0.78	0.75
23	0.72	0.68	0.75	0.81	0.77	0.76
24	0.79	0.67	0.76	0.82	0.75	0.79
25	0.75	0.64	0.75	0.82	0.76	0.80
26	0.75	0.63	0.76	0.80	0.76	0.76
27	0.79	0.66	0.77	0.81	0.77	0.77
28	0.70	0.66	0.73	0.81	0.76	0.79
29	0.70	0.66	0.71	0.81	0.77	0.75
30	0.75	0.64	0.73	0.81	0.78	0.78
31	0.74	0.64	0.74	0.80	0.76	0.75
32	0.71	0.66	0.73	0.80	0.77	0.80
33	0.70	0.61	0.75	0.78	0.78	0.80
34	0.70	0.64	0.79	0.77	0.78	0.78
35	0.66	0.65	0.77	0.80	0.78	0.77
36	0.65	0.63	0.75	0.79	0.77	0.79
37	0.66	0.66	0.78	0.77	0.78	0.81
38	0.72	0.63	0.77	0.80	0.78	0.76
39	0.77	0.65	0.70	0.84	0.72	0.80
40	0.72	0.64	0.73	0.80	0.72	0.75
41	0.64	0.62	0.71	0.81	0.72	0.74
42	0.67	0.63	0.72	0.81	0.72	0.76
43	0.78	0.65	0.70	0.80	0.71	0.78
44	0.80	0.63	0.70	0.79	0.70	0.73
45	0.82	0.66	0.65	0.79	0.71	0.76
46	0.81	0.65	0.68	0.80	0.70	0.75



<b>DATOS DE CAMPO - SEMILLERO</b>						
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
47	0.84	0.69	0.70	0.81	0.71	0.79
48	0.85	0.76	0.72	0.80	0.70	0.75
49	0.84	0.85	0.74	0.78	0.68	0.77
50	0.82	0.80	0.74	0.77	0.70	0.78
51	0.80	0.78	0.73	0.82	0.70	0.75
52	0.85	0.76	0.70	0.80	0.72	0.79
53	0.79	0.79	0.75	0.78	0.70	0.73
54	0.80	0.80	0.75	0.79	0.70	0.78
55	0.83	0.74	0.70	0.80	0.72	0.70
56	0.83	0.80	0.72	0.81	0.70	0.79
57	0.80	0.82	0.70	0.80	0.70	0.78
58	0.84	0.83	0.70	0.79	0.70	0.80
59	0.84	0.78	0.67	0.80	0.71	0.75
60	0.85	0.75	0.67	0.83	0.72	0.73
61	0.82	0.71	0.69	0.80	0.71	0.79
62	0.75	0.76	0.70	0.76	0.70	0.80
63	0.80	0.81	0.77	0.79	0.72	0.81
64	0.81	0.80	0.75	0.81	0.72	0.81
65	0.76	0.69	0.75	0.77	0.70	0.85
66	0.78	0.74	0.76	0.78	0.70	0.81
67	0.80	0.78	0.74	0.79	0.72	0.80
68	0.77	0.75	0.73	0.80	0.68	0.80
69	0.79	0.78	0.75	0.80	0.70	0.81
70	0.77	0.80	0.75	0.78	0.71	0.80
71	0.78	0.82	0.78	0.80	0.70	0.81
72	0.79	0.81	0.77	0.82	0.71	0.85
73	0.80	0.83	0.75	0.80	0.71	0.81
74	0.80	0.78	0.78	0.81	0.72	0.83
75	0.75	0.70	0.76	0.80	0.74	0.75
76	0.77	0.71	0.77	0.82	0.72	0.78
77	0.77	0.77	0.75	0.80	0.73	0.70
78	0.78	0.81	0.75	0.76	0.73	0.74
79	0.73	0.80	0.76	0.82	0.74	0.78
80	0.75	0.75	0.75	0.81	0.74	0.77
81	0.82	0.69	0.73	0.79	0.72	0.78
82	0.80	0.77	0.73	0.81	0.71	0.75
83	0.80	0.76	0.74	0.77	0.72	0.73
84	0.83	0.75	0.77	0.82	0.73	0.75
85	0.78	0.77	0.78	0.82	0.76	0.78
86	0.77	0.75	0.78	0.85	0.74	0.74
87	0.76	0.73	0.74	0.86	0.72	0.79
88	0.74	0.80	0.76	0.79	0.72	0.78
89	0.77	0.81	0.75	0.79	0.75	0.81
90	0.74	0.78	0.70	0.78	0.75	0.79
91	0.79	0.78	0.78	0.81	0.75	0.81
92	0.81	0.80	0.77	0.80	0.78	0.79

<b>DATOS DE CAMPO - SEMILLERO</b>						
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
93	0.78	0.81	0.75	0.82	0.76	0.78
94	0.77	0.80	0.78	0.80	0.78	0.76
95	0.72	0.78	0.78	0.79	0.80	0.76
96	0.75	0.77	0.77	0.78	0.78	
97	0.76	0.80	0.79	0.82	0.76	
98	0.79	0.74	0.75	0.80	0.75	
99	0.75	0.73	0.70	0.83	0.76	
100	0.75	0.76	0.78	0.77	0.77	
101	0.74	0.82	0.76	0.78	0.75	
102	0.76	0.78	0.76	0.81	0.78	
103	0.77	0.82	0.76	0.79	0.76	
104	0.76	0.77	0.75	0.76	0.75	
105	0.73	0.76	0.72	0.78	0.79	
106	0.75	0.80	0.75	0.80	0.74	
107	0.78	0.78	0.74	0.80	0.75	
108	0.78	0.75	0.76	0.81	0.75	
109	0.81	0.73	0.75	0.80	0.75	
110	0.81	0.75	0.78	0.79	0.76	
111	0.83	0.77	0.76	0.78	0.71	
112	0.78	0.74	0.72	0.80	0.73	
113	0.78	0.73	0.70	0.78	0.74	
114	0.75	0.79	0.75	0.78	0.73	
115	0.78	0.78	0.75	0.80	0.75	
116	0.83	0.79	0.76	0.75	0.74	
117	0.80	0.77	0.78	0.78	0.73	
118	0.80	0.79	0.79	0.82	0.75	
119	0.75	0.75	0.80	0.80	0.75	
120	0.84	0.73	0.75	0.80	0.76	
121	0.77	0.75	0.70	0.81	0.75	
122	0.76	0.78	0.67	0.82	0.73	
123	0.76	0.80	0.66	0.78	0.74	
124	0.80	0.73	0.68	0.79	0.76	
125	0.78	0.72	0.68	0.77	0.77	
126	0.76	0.78	0.70	0.80	0.79	
127	0.78	0.73	0.75	0.81	0.78	
128	0.82	0.75	0.70	0.80	0.77	
129	0.82	0.75	0.70	0.84	0.75	
130	0.81	0.71	0.69	0.80	0.78	
131	0.79	0.76	0.70	0.79	0.80	
132	0.78	0.75	0.73	0.77	0.77	
133	0.75	0.70	0.75	0.75	0.78	
134	0.73	0.72	0.75	0.78	0.80	
135	0.72	0.73	0.74	0.73	0.78	
136	0.78	0.75	0.72	0.83	0.79	
137	0.79	0.76	0.71	0.82	0.80	
138	0.74	0.77	0.75	0.76	0.78	

<b>DATOS DE CAMPO - SEMILLERO</b>						
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
139	0.77	0.78	0.79	0.78	0.76	
140	0.69		0.78	0.80	0.77	
141	0.68		0.80	0.82	0.79	
142			0.79	0.78	0.75	
143			0.78	0.77	0.80	
144			0.76	0.78	0.81	
145			0.75	0.80	0.75	
146			0.80	0.81	0.74	
147			0.81	0.79	0.76	
148			0.80	0.79	0.78	
149			0.81	0.76	0.76	
150			0.80	0.78	0.80	
151			0.83	0.80	0.79	
152			0.84	0.80	0.78	
153			0.81	0.79	0.75	
154			0.80	0.76	0.80	
155			0.82	0.78	0.76	
156			0.85	0.76	0.78	
157			0.80	0.74	0.75	
158			0.78	0.80	0.78	
159			0.79	0.80	0.77	
160			0.76	0.81	0.75	
161			0.80	0.80	0.79	
162			0.78	0.78	0.76	
163			0.85	0.76	0.77	
164			0.80	0.82	0.79	
165			0.78	0.83	0.78	
166			0.84	0.80	0.75	
167			0.80	0.83	0.76	
168			0.82	0.76	0.75	
169			0,8	0.77	0.74	
170			0.80	0.79	0.71	
171			0.80	0.83	0.72	
172			0.82	0.81	0.75	
173			0.80	0.78	0.74	
174			0.81	0.82	0.71	
175			0.81	0.80	0.75	
176			0.83	0.76	0.78	
177			0.83	0.71	0.79	
178			0.80	0.75	0.80	
179			0.81	0.78	0.75	
180			0.82	0.79	0.76	
181			0.81	0.81	0.77	
182			0.80	0.82	0.75	
183			0.80	0.78	0.74	
184			0.81	0.78	0.78	

<b>DATOS DE CAMPO - SEMILLERO</b>						
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
185			0.80	0.75	0.75	
186			0.82	0.74	0.72	
187			0.82	0.81	0.70	
188			0.82	0.80	0.73	
189			0.82	0.79	0.72	
190			0.80	0.81	0.75	
191			0.78	0.80	0.78	
192			0.80	0.80	0.78	
193			0.78	0.75	0.77	
194			0.79	0.77	0.76	
195			0.80	0.79	0.76	
196			0.81	0.75	0.78	
197			0.81	0.83	0.78	
198			0.80	0.79	0.80	
199			0.80	0.82	0.75	
200			0.80	0.77	0.74	
201			0.78	0.80	0.78	
202			0.82	0.81	0.80	
203			0.83	0.80	0.76	
204			0.82	0.84	0.74	
205			0.80	0.82	0.78	
206			0.82	0.80	0.77	
207			0.80	0.79	0.76	
208			0.83	0.80	0.79	
209			0.84	0.85	0.73	
210			0.85	0.88	0.72	
211			0.80	0.87	0.78	
212			0.83	0.88	0.75	
213			0.80	0.84	0.77	
214			0.80	0.82	0.76	
215			0.82	0.86	0.71	
216			0.80	0.88	0.72	
217			0.79	0.82	0.77	
218			0.80	0.80	0.78	
219			0.82	0.78	0.79	
220			0.83	0.79	0.75	
221			0.80	0.75	0.75	
222			0.78	0.85	0.77	
223			0.79	0.76	0.76	
224			0.80	0.79	0.80	
225			0.82	0.81	0.77	
226			0.79	0.80	0.75	
227			0.83	0.81	0.74	
228			0.85	0.84	0.76	
229			0.83	0.82	0.79	
230			0.80	0.80		

<b>DATOS DE CAMPO - SEMILLERO</b>						
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
231			0.76	0.77		
232			0.80	0.74		
233			0.82	0.76		
234			0.83	0.77		
235			0.82	0.75		
236			0.80	0.76		
237			0.84	0.81		
238			0.83	0.86		
239			0.83	0.78		
240			0.84	0.83		
241			0.84	0.82		
242			0.83	0.83		
243			0.85	0.79		
244			0.83	0.75		
245			0.82	0.78		
246			0.85	0.76		
247			0.82	0.80		
248			0.84	0.81		
249			0.80	0.77		
250			0.83	0.74		
251			0.84	0.78		
252			0.80	0.77		
253			0.80	0.75		
254			0.78	0.72		
255			0.77	0.70		
256			0.80	0.75		
257			0.79	0.77		
258			0.81	0.71		
259			0.80	0.70		
260			0.81	0.72		
261			0.83	0.75		
262			0.80	0.75		
263			0.82	0.71		
264			0.81	0.68		
265			0.80	0.70		
266			0.83	0.76		
267			0.80	0.76		
268			0.82	0.80		
269			0.80	0.78		
270			0.85	0.79		
271			0.85	0.80		
272			0.85	0.81		
273			0.84	0.78		
274			0.84			
275			0.82			
276			0.85			

<b>DATOS DE CAMPO - SEMILLERO</b>						
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
277			0.81			
278			0.80			
279			0.78			
280			0.85			
281			0.79			
282			0.80			
283			0.85			
284			0.82			
285			0.85			
286			0.74			
287			0.83			

**ANEXO 4: DATOS IAF DE CAMPO CON CEPTÓMETRO**

<b>360-A</b>	<b>240-B</b>	<b>360-C</b>	<b>240-D</b>	<b>360-E</b>
1.75	1.95	1.85	1.92	2.47
1.28	1.91	1.86	1.93	2.61
1.58	1.86	1.87	1.97	2.78
1.99	1.86	1.88	1.98	2.71
2.37	1.87	1.8	2.00	2.48
2.55	1.86	1.81	2.02	2.53
2.64	1.87	1.83	2.03	2.53
2.61	1.84	1.83	2.03	2.51
2.04	1.84	1.84	2.03	2.47
2.11	1.81	1.86	2.04	2.47
2.08	1.82	1.87	2.02	2.43
2.06	1.83	1.87	2.02	2.33
2.07	1.82	1.89	2.02	2.34
2.71	1.81	1.91	2.01	2.33
2.67	1.83	1.9	2.01	2.33
2.65	1.83	1.9	2.01	2.30
2.55				
2.03				
2.01				
1.96				
1.92				
2.51				
2.49				
2.45				
2.43				
1.96				
1.99				
2.00				
2.00				
1.99				
2.44				
2.46				
2.48				
2.45				

### ANEXO 5: DATOS NDVI CON DRONE

DATOS DRONE - PARCELA 240-B					
N°	i	ii	iii	iv	v
1	0.59	0.69	0.62	0.66	0.59
2	0.71	0.79	0.70	0.78	0.71
3	0.73	0.79	0.68	0.84	0.76
4	0.68	0.77	0.61	0.83	0.79
5	0.72	0.79	0.69	0.79	0.80
6	0.77	0.78	0.77	0.84	0.80
7	0.76	0.76	0.82	0.83	0.80
8	0.76	0.79	0.83	0.82	0.82
9	0.70	0.77	0.82	0.80	0.84
10	0.68	0.78	0.78	0.79	0.85
11	0.72	0.79	0.78	0.81	0.85
12	0.69	0.78	0.81	0.83	0.85
13		0.77	0.79	0.81	0.85
14		0.78	0.78	0.77	0.85
15		0.76	0.82	0.72	0.85
16		0.73	0.82		0.85
17		0.62	0.83		0.84
18			0.84		0.84
19			0.83		0.84
20			0.82		0.84
21			0.79		0.85
22					0.86
23					0.86
24					0.85
25					0.85
26					0.86
27					0.86
28					0.86
29					0.86
30					0.86
31					0.86
32					0.85
33					0.86
34					0.86
35					0.87
36					0.86
37					0.86
38					0.86
39					0.86
40					0.86
41					0.86
42					0.86
43					0.86
44					0.86
45					0.86



<b>DATOS DRONE - PARCELA 240-B</b>					
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>
46					0.86
47					0.85
48					0.86
49					0.86
50					0.86
51					0.86
52					0.86
53					0.85
54					0.86
55					0.86
56					0.86
57					0.86
58					0.85
59					0.85
60					0.84
61					0.84
62					0.84
63					0.83
64					0.82
65					0.82
66					0.82
67					0.82
68					0.80

<b>DATOS DRONE - PARCELA 360-C</b>					
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>
1	0.72	0.63	0.68	0.79	0.72
2	0.79	0.68	0.73	0.83	0.80
3	0.80	0.76	0.72	0.84	0.84
4	0.76	0.80	0.77	0.85	0.85
5	0.73	0.81	0.78	0.85	0.86
6	0.74	0.79	0.79	0.86	0.86
7	0.79	0.81	0.78	0.86	0.85
8	0.77	0.75	0.80	0.85	0.85
9	0.77	0.68	0.79	0.80	0.86
10	0.77	0.71	0.73	0.80	0.86
11	0.75	0.76	0.73	0.84	0.86
12	0.77	0.74	0.77	0.85	0.86
13	0.76	0.76	0.76	0.84	0.87
14	0.73	0.75	0.70	0.83	0.87
15	0.76	0.63	0.77	0.83	0.87
16	0.73	0.64	0.78	0.82	0.87
17	0.76	0.68	0.75	0.79	0.87
18	0.78		0.72	0.72	0.87
19	0.77		0.75		0.87
20	0.73		0.75		0.86
21	0.68		0.73		0.87
22			0.73		0.87
23			0.76		0.88
24			0.77		0.87
25			0.74		0.86
26			0.79		0.87
27			0.79		0.86
28					0.86
29					0.85
30					0.86
31					0.86
32					0.86
33					0.86
34					0.86
35					0.85
36					0.85
37					0.85
38					0.86
39					0.86
40					0.87
41					0.86
42					0.85
43					0.84
44					0.84
45					0.84
46					0.83

<b>DATOS DRONE - PARCELA 360-C</b>					
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>
47					0.81
48					0.77
49					0.68

<b>DATOS DRONE - PARCELA 240-D</b>					
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>
1	0.69	0.57	0.62	0.68	0.69
2	0.75	0.69	0.70	0.79	0.80
3	0.76	0.72	0.64	0.78	0.83
4	0.79	0.75	0.70	0.79	0.85
5	0.79	0.75	0.72	0.80	0.85
6	0.81	0.76	0.75	0.82	0.86
7	0.79	0.75	0.75	0.82	0.86
8	0.80	0.76	0.74	0.81	0.86
9	0.82	0.72	0.74	0.81	0.86
10	0.81	0.76	0.69	0.76	0.86
11	0.80	0.76	0.70	0.81	0.86
12	0.77	0.75	0.73	0.80	0.86
13	0.76	0.75	0.75	0.78	0.85
14	0.80	0.76	0.74	0.81	0.84
15	0.80	0.74	0.73	0.78	0.85
16	0.79	0.73	0.71	0.79	0.86
17	0.80	0.77	0.70	0.81	0.86
18	0.76	0.67	0.72	0.81	0.87
19	0.76	0.55	0.73	0.80	0.87
20	0.57	0.61	0.71	0.79	0.87
21		0.63	0.70	0.69	0.87
22		0.66	0.72		0.87
23		0.62	0.73		0.87
24			0.68		0.86
25					0.86
26					0.86
27					0.86
28					0.86
29					0.86
30					0.86
31					0.86
32					0.86
33					0.86
34					0.86
35					0.86
36					0.86
37					0.86
38					0.86
39					0.86
40					0.87
41					0.86
42					0.85
43					0.85
44					0.86
45					0.86
46					0.86

<b>DATOS DRONE - PARCELA 240-D</b>					
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>
47					0.85
48					0.84
49					0.82
50					0.79
51					0.73
52					0.62

<b>DATOS DRONE - PARCELA 360-E</b>					
<b>Nº</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>
1	0.67	0.58	0.54	0.62	0.77
2	0.71	0.61	0.70	0.72	0.80
3	0.77	0.65	0.71	0.72	0.82
4	0.75	0.64	0.73	0.75	0.83
5	0.76	0.61	0.73	0.76	0.84
6	0.77	0.69	0.71	0.73	0.85
7	0.75	0.69	0.74	0.78	0.85
8	0.76	0.69	0.75	0.79	0.85
9	0.72	0.71	0.73	0.77	0.86
10	0.77	0.71	0.74	0.78	0.86
11	0.76	0.68	0.70	0.75	0.86
12	0.72	0.58	0.71	0.74	0.86
13	0.73	0.58	0.74	0.77	0.86
14	0.70	0.61	0.74	0.74	0.86
15	0.75	0.64	0.72	0.73	0.86
16	0.76	0.66	0.73	0.77	0.86
17	0.78	0.62	0.72	0.80	0.86
18	0.78	0.61	0.71	0.80	0.86
19	0.68	0.64	0.74	0.81	0.87
20	0.58	0.58	0.72	0.80	0.87
21		0.53	0.66	0.76	0.87
22		0.57	0.70	0.77	0.87
23		0.62	0.72	0.68	0.87
24		0.54	0.72		0.87
25			0.62		0.87
26					0.87
27					0.87
28					0.87
29					0.87
30					0.87
31					0.87
32					0.86
33					0.86
34					0.86
35					0.86
36					0.86
37					0.86
38					0.86
39					0.86
40					0.87
41					0.87
42					0.87
43					0.87
44					0.87
45					0.87
46					0.87

<b>DATOS DRONE - PARCELA 360-E</b>					
<b>Nº</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>
47					0.87
48					0.87
49					0.87
50					0.87
51					0.87
52					0.86
53					0.85
54					0.85
55					0.85
56					0.85
57					0.85
58					0.84
59					0.84
60					0.83
61					0.83
62					0.82
63					0.81
64					0.79
65					0.72
66					0.64

<b>DATOS DRONE - PARCELA 360-A</b>					
<b>Nº</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>
1	0.77	0.50	0.61	0.73	0.73
2	0.79	0.69	0.80	0.78	0.77
3	0.71	0.77	0.79	0.77	0.80
4	0.68	0.78	0.80	0.77	0.80
5	0.75	0.81	0.81	0.77	0.80
6	0.79	0.81	0.82	0.77	0.82
7	0.76	0.79	0.78	0.78	0.84
8	0.64	0.77	0.76	0.78	0.85
9	0.51	0.72	0.76	0.80	0.86
10	0.70	0.75	0.78	0.80	0.86
11	0.62	0.73	0.75	0.80	0.86
12	0.55	0.72	0.78	0.75	0.86
13	0.55	0.69	0.81	0.76	0.86
14	0.58	0.65	0.77	0.77	0.86
15	0.65	0.71	0.71	0.74	0.87
16	0.50	0.65	0.63	0.73	0.87
17		0.67	0.73	0.69	0.86
18		0.68		0.76	0.86
19		0.61		0.76	0.87
20				0.78	0.88
21				0.74	0.88
22				0.77	0.89
23				0.80	0.88
24				0.79	0.88
25				0.79	0.87
26				0.79	0.86
27				0.81	0.86
28				0.81	0.87
29				0.77	0.87
30				0.73	0.87
31					0.87
32					0.87
33					0.87
34					0.87
35					0.88
36					0.88
37					0.88
38					0.87
39					0.86
40					0.86
41					0.86
42					0.87
43					0.87
44					0.87
45					0.87
46					0.87



<b>DATOS DRONE - PARCELA 360-A</b>					
<b>Nº</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>
47					0.87
48					0.87
49					0.87
50					0.87
51					0.86
52					0.86
53					0.86
54					0.85
55					0.85
56					0.85
57					0.85
58					0.85
59					0.84
60					0.84
61					0.84
62					0.84
63					0.82
64					0.78
65					0.72

<b>DATOS DRONE - PARCELA 000-F</b>					
<b>Nº</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>
1	0.64	0.38	0.37	0.36	0.64
2	0.62	0.36	0.48	0.53	0.64
3	0.63	0.41	0.50	0.57	0.62
4	0.61	0.40	0.52	0.57	0.61
5	0.60	0.35	0.53	0.53	0.61
6	0.65	0.39	0.52	0.55	0.60
7	0.65	0.39	0.50	0.57	0.61
8	0.60	0.38	0.51	0.57	0.59
9	0.59	0.38	0.53	0.56	0.52
10	0.62	0.37	0.51	0.58	0.55
11	0.66	0.32	0.51	0.52	0.60
12	0.63	0.31	0.50	0.51	0.62
13	0.61	0.34	0.50	0.55	0.62
14	0.64	0.38	0.50	0.59	0.61
15	0.62	0.38	0.49	0.55	0.61
16	0.56	0.37	0.44	0.50	0.61
17	0.56		0.45	0.53	0.60
18	0.57		0.50	0.65	0.61
19	0.56		0.47	0.64	0.61
20	0.52		0.41	0.65	0.60
21	0.54		0.39	0.64	0.60
22	0.49		0.38		0.61
23	0.50		0.36		0.59
24	0.50		0.41		0.58
25	0.50		0.40		0.59
26	0.38		0.44		0.60
27			0.46		0.62
28			0.44		0.58
29			0.41		0.54
30			0.36		0.56
31					0.58
32					0.59
33					0.59
34					0.58
35					0.57
36					0.56
37					0.57
38					0.55
39					0.46
40					0.48
41					0.55
42					0.56
43					0.56
44					0.55
45					0.54
46					0.53

<b>DATOS DRONE - PARCELA 000-F</b>					
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>
47					0.46
48					0.37

<b>DATOS DE DRONE - SEMILLERO</b>						
<b>Nº</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
1	0.79	0.69	0.75	0.83	0.76	0.77
2	0.84	0.80	0.75	0.83	0.75	0.76
3	0.83	0.82	0.72	0.84	0.75	0.79
4	0.83	0.81	0.73	0.84	0.78	0.80
5	0.79	0.79	0.73	0.85	0.77	0.78
6	0.80	0.78	0.73	0.84	0.78	0.76
7	0.83	0.78	0.74	0.83	0.76	0.79
8	0.81	0.81	0.75	0.82	0.78	0.80
9	0.78	0.78	0.75	0.82	0.79	0.79
10	0.77	0.79	0.75	0.84	0.78	0.79
11	0.73	0.79	0.75	0.84	0.78	0.80
12	0.73	0.80	0.75	0.82	0.77	0.79
13	0.74	0.79	0.75	0.81	0.79	0.78
14	0.75	0.77	0.71	0.81	0.78	0.79
15	0.77	0.77	0.72	0.82	0.76	0.79
16	0.77	0.79	0.69	0.82	0.74	0.78
17	0.77	0.80	0.70	0.82	0.75	0.77
18	0.76	0.80	0.66	0.81	0.77	0.77
19	0.77	0.79	0.70	0.81	0.77	0.79
20	0.74	0.79	0.69	0.81	0.76	0.79
21	0.72	0.78	0.70	0.81	0.78	0.77
22	0.72	0.78	0.73	0.82	0.78	0.78
23	0.75	0.79	0.77	0.81	0.78	0.79
24	0.77	0.78	0.78	0.81	0.74	0.78
25	0.77	0.79	0.77	0.82	0.75	0.79
26	0.75	0.81	0.74	0.82	0.77	0.78
27	0.73	0.80	0.76	0.82	0.76	0.79
28	0.72	0.81	0.74	0.82	0.77	0.78
29	0.73	0.78	0.75	0.82	0.78	0.78
30	0.75	0.79	0.75	0.80	0.78	0.78
31	0.74	0.79	0.75	0.80	0.77	0.77
32	0.72	0.78	0.74	0.81	0.78	0.78
33	0.72	0.80	0.77	0.79	0.77	0.79
34	0.72	0.79	0.78	0.78	0.78	0.78
35	0.66	0.80	0.77	0.79	0.78	0.78
36	0.68	0.78	0.77	0.79	0.79	0.78
37	0.68	0.79	0.74	0.79	0.77	0.78
38	0.71	0.79	0.75	0.80	0.77	0.79
39	0.76	0.78	0.73	0.82	0.72	0.77
40	0.71	0.78	0.73	0.80	0.72	0.75
41	0.66	0.78	0.70	0.80	0.72	0.76
42	0.67	0.78	0.72	0.81	0.72	0.78
43	0.78	0.77	0.73	0.81	0.71	0.78
44	0.84	0.79	0.71	0.80	0.71	0.77
45	0.84	0.78	0.67	0.80	0.72	0.78
46	0.84	0.80	0.70	0.79	0.71	0.78

<b>DATOS DE DRONE - SEMILLERO</b>						
<b>Nº</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
47	0.83	0.80	0.72	0.80	0.72	0.76
48	0.84	0.79	0.73	0.80	0.71	0.76
49	0.83	0.79	0.73	0.79	0.69	0.77
50	0.84	0.78	0.73	0.79	0.69	0.77
51	0.82	0.79	0.73	0.80	0.71	0.75
52	0.81	0.78	0.71	0.80	0.72	0.77
53	0.82	0.77	0.74	0.79	0.71	0.76
54	0.82	0.79	0.74	0.80	0.71	0.76
55	0.82	0.80	0.71	0.81	0.71	0.77
56	0.83	0.79	0.72	0.81	0.71	0.76
57	0.83	0.80	0.71	0.81	0.70	0.78
58	0.83	0.78	0.70	0.81	0.70	0.79
59	0.82	0.79	0.68	0.81	0.70	0.78
60	0.82	0.80	0.68	0.82	0.72	0.78
61	0.82	0.79	0.68	0.82	0.71	0.79
62	0.78	0.79	0.72	0.82	0.71	0.80
63	0.79	0.78	0.79	0.80	0.71	0.81
64	0.81	0.77	0.76	0.80	0.71	0.81
65	0.79	0.77	0.75	0.80	0.71	0.82
66	0.78	0.76	0.75	0.79	0.70	0.81
67	0.81	0.75	0.73	0.80	0.70	0.80
68	0.81	0.77	0.74	0.81	0.69	0.80
69	0.80	0.76	0.76	0.80	0.69	0.80
70	0.79	0.78	0.75	0.79	0.70	0.81
71	0.78	0.77	0.75	0.80	0.70	0.82
72	0.80	0.76	0.72	0.81	0.70	0.82
73	0.81	0.75	0.75	0.81	0.71	0.82
74	0.79	0.72	0.75	0.82	0.73	0.78
75	0.78	0.75	0.76	0.83	0.71	0.77
76	0.80	0.77	0.77	0.82	0.72	0.73
77	0.79	0.78	0.76	0.82	0.72	0.71
78	0.79	0.76	0.74	0.82	0.72	0.74
79	0.79	0.78	0.77	0.82	0.73	0.78
80	0.76	0.79	0.74	0.81	0.73	0.78
81	0.79	0.73	0.72	0.82	0.72	0.77
82	0.80	0.76	0.74	0.81	0.71	0.76
83	0.80	0.75	0.75	0.80	0.72	0.73
84	0.81	0.72	0.76	0.80	0.73	0.78
85	0.80	0.74	0.77	0.82	0.74	0.78
86	0.79	0.71	0.76	0.83	0.72	0.77
87	0.78	0.74	0.75	0.83	0.71	0.78
88	0.79	0.74	0.74	0.82	0.72	0.76
89	0.79	0.73	0.74	0.80	0.74	0.80
90	0.79	0.74	0.74	0.81	0.74	0.79
91	0.78	0.74	0.77	0.81	0.75	0.80
92	0.79	0.76	0.77	0.80	0.76	0.80

<b>DATOS DE DRONE - SEMILLERO</b>						
<b>Nº</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
93	0.78	0.77	0.76	0.81	0.74	0.78
94	0.79	0.78	0.77	0.81	0.74	0.75
95	0.80	0.79	0.78	0.79	0.75	0.75
96	0.78	0.79	0.78	0.79	0.76	
97	0.79	0.75	0.77	0.80	0.76	
98	0.77	0.72	0.74	0.80	0.76	
99	0.76	0.76	0.77	0.80	0.75	
100	0.78	0.74	0.77	0.80	0.75	
101	0.77	0.75	0.76	0.79	0.75	
102	0.78	0.75	0.77	0.80	0.76	
103	0.77	0.73	0.76	0.78	0.75	
104	0.77	0.72	0.75	0.78	0.74	
105	0.77	0.73	0.73	0.79	0.76	
106	0.77	0.70	0.73	0.80	0.75	
107	0.77	0.70	0.74	0.80	0.75	
108	0.78	0.73	0.76	0.80	0.74	
109	0.80	0.74	0.76	0.80	0.75	
110	0.82	0.74	0.76	0.78	0.74	
111	0.81	0.74	0.76	0.79	0.72	
112	0.79	0.75	0.71	0.81	0.73	
113	0.80	0.74	0.70	0.79	0.73	
114	0.79	0.74	0.74	0.79	0.73	
115	0.79	0.75	0.76	0.80	0.75	
116	0.80	0.74	0.76	0.79	0.74	
117	0.78	0.72	0.77	0.79	0.73	
118	0.79	0.70	0.80	0.80	0.74	
119	0.80	0.70	0.78	0.80	0.75	
120	0.81	0.74	0.75	0.80	0.75	
121	0.82	0.74	0.70	0.81	0.74	
122	0.79	0.74	0.66	0.81	0.75	
123	0.80	0.74	0.68	0.79	0.76	
124	0.81	0.70	0.68	0.79	0.76	
125	0.80	0.76	0.68	0.80	0.78	
126	0.79	0.77	0.71	0.81	0.78	
127	0.79	0.74	0.74	0.81	0.78	
128	0.80	0.68	0.71	0.81	0.78	
129	0.81	0.72	0.71	0.81	0.78	
130	0.81	0.72	0.70	0.81	0.78	
131	0.78	0.72	0.71	0.80	0.79	
132	0.77	0.71	0.70	0.79	0.78	
133	0.78	0.62	0.76	0.80	0.78	
134	0.79	0.66	0.75	0.79	0.80	
135	0.77	0.71	0.73	0.81	0.78	
136	0.77	0.75	0.72	0.81	0.78	
137	0.78	0.75	0.73	0.80	0.79	
138	0.79	0.73	0.76	0.79	0.78	

<b>DATOS DE DRONE - SEMILLERO</b>						
<b>Nº</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
139	0.79	0.75	0.78	0.79	0.78	
140	0.79		0.78	0.80	0.77	
141	0.75		0.80	0.80	0.77	
142			0.78	0.78	0.78	
143			0.78	0.79	0.79	
144			0.77	0.79	0.78	
145			0.76	0.79	0.78	
146			0.79	0.80	0.78	
147			0.80	0.79	0.76	
148			0.81	0.79	0.77	
149			0.81	0.79	0.77	
150			0.81	0.79	0.79	
151			0.80	0.79	0.78	
152			0.80	0.79	0.78	
153			0.82	0.79	0.76	
154			0.81	0.79	0.79	
155			0.82	0.78	0.77	
156			0.83	0.78	0.78	
157			0.80	0.79	0.75	
158			0.80	0.79	0.78	
159			0.80	0.78	0.77	
160			0.81	0.80	0.76	
161			0.82	0.80	0.77	
162			0.82	0.81	0.75	
163			0.83	0.82	0.76	
164			0.82	0.81	0.76	
165			0.79	0.81	0.78	
166			0.81	0.81	0.77	
167			0.82	0.82	0.76	
168			0.82	0.79	0.76	
169			0.82	0.78	0.74	
170			0.81	0.79	0.72	
171			0.81	0.81	0.72	
172			0.82	0.80	0.73	
173			0.80	0.79	0.74	
174			0.80	0.80	0.72	
175			0.81	0.80	0.75	
176			0.82	0.80	0.77	
177			0.82	0.78	0.77	
178			0.82	0.77	0.77	
179			0.81	0.79	0.76	
180			0.82	0.80	0.75	
181			0.81	0.79	0.75	
182			0.81	0.80	0.75	
183			0.81	0.79	0.77	
184			0.81	0.78	0.78	

<b>DATOS DE DRONE - SEMILLERO</b>						
<b>Nº</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
185			0.81	0.77	0.77	
186			0.81	0.77	0.76	
187			0.81	0.79	0.74	
188			0.81	0.78	0.74	
189			0.81	0.78	0.74	
190			0.80	0.79	0.75	
191			0.79	0.79	0.76	
192			0.81	0.79	0.77	
193			0.80	0.77	0.77	
194			0.80	0.77	0.77	
195			0.80	0.79	0.77	
196			0.80	0.80	0.77	
197			0.81	0.80	0.78	
198			0.80	0.80	0.79	
199			0.82	0.80	0.77	
200			0.82	0.79	0.77	
201			0.82	0.80	0.78	
202			0.83	0.80	0.77	
203			0.83	0.81	0.77	
204			0.82	0.81	0.77	
205			0.83	0.81	0.76	
206			0.82	0.80	0.78	
207			0.82	0.79	0.75	
208			0.84	0.80	0.78	
209			0.84	0.81	0.76	
210			0.84	0.81	0.76	
211			0.83	0.81	0.75	
212			0.83	0.81	0.74	
213			0.81	0.80	0.75	
214			0.80	0.79	0.75	
215			0.82	0.80	0.75	
216			0.82	0.81	0.72	
217			0.83	0.80	0.76	
218			0.82	0.80	0.76	
219			0.82	0.80	0.76	
220			0.83	0.80	0.75	
221			0.83	0.81	0.74	
222			0.83	0.81	0.76	
223			0.81	0.79	0.76	
224			0.82	0.79	0.79	
225			0.82	0.80	0.77	
226			0.81	0.80	0.75	
227			0.82	0.81	0.74	
228			0.82	0.82	0.77	
229			0.82	0.82	0.78	
230			0.83	0.82		



<b>DATOS DE DRONE - SEMILLERO</b>						
<b>Nº</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
231			0.82	0.82		
232			0.83	0.81		
233			0.84	0.81		
234			0.83	0.81		
235			0.83	0.81		
236			0.83	0.81		
237			0.83	0.81		
238			0.83	0.81		
239			0.83	0.81		
240			0.83	0.81		
241			0.84	0.81		
242			0.84	0.81		
243			0.84	0.79		
244			0.84	0.79		
245			0.83	0.79		
246			0.84	0.79		
247			0.84	0.79		
248			0.84	0.79		
249			0.83	0.79		
250			0.83	0.77		
251			0.83	0.77		
252			0.83	0.77		
253			0.83	0.73		
254			0.83	0.71		
255			0.83	0.71		
256			0.83	0.73		
257			0.82	0.73		
258			0.82	0.71		
259			0.82	0.68		
260			0.82	0.73		
261			0.83	0.75		
262			0.83	0.75		
263			0.83	0.71		
264			0.81	0.66		
265			0.82	0.71		
266			0.81	0.76		
267			0.81	0.78		
268			0.82	0.79		
269			0.82	0.79		
270			0.83	0.79		
271			0.83	0.80		
272			0.84	0.79		
273			0.84	0.77		
274			0.84			
275			0.84			
276			0.84			

<b>DATOS DE DRONE - SEMILLERO</b>						
<b>N°</b>	<b>i</b>	<b>ii</b>	<b>iii</b>	<b>iv</b>	<b>v</b>	<b>vi</b>
277			0.82			
278			0.81			
279			0.83			
280			0.84			
281			0.84			
282			0.84			
283			0.83			
284			0.82			
285			0.83			
286			0.84			
287			0.83			

### ANEXO 6: DATOS LAI CON DRONE

<b>Parcela 360-A</b>	<b>Parcela 240-B</b>	<b>Parcela 360-C</b>	<b>Parcela 240-D</b>	<b>Parcela 360-E</b>
1.72	1.95	1.87	1.91	2.46
1.30	1.91	1.88	1.92	2.60
1.45	1.84	1.88	1.97	2.77
2.03	1.83	1.88	1.98	2.71
2.34	1.87	1.79	2.02	2.47
2.52	1.84	1.82	2.02	2.53
2.61	1.87	1.82	2.04	2.53
2.61	1.85	1.84	2.05	2.52
2.02	1.85	1.84	2.03	2.49
2.08	1.81	1.86	2.05	2.48
2.05	1.83	1.87	2.02	2.43
2.08	1.84	1.87	2.02	2.33
2.07	1.84	1.89	2.02	2.34
2.14	1.81	1.92	2.05	2.34
2.11	1.84	1.93	2.01	2.34
1.99	1.83	1.91	2.00	2.31
1.85				
2.05				
2.03				
1.89				
1.78				
2.43				
2.29				
2.21				
2.18				
1.96				
1.98				
2.09				
2.02				
1.94				
2.31				
2.35				
2.44				
2.31				