

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



**“ESTIMACIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN ESPACIO-TEMPORAL  
EN ARROZALES PARA EL DISTRITO DE CHONGOYAPE, CHICLAYO  
USANDO IMÁGENES SATELITALES”**

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

**BACH. CESAR FRANCISCO VILCA GAMARRA**

**LIMA - PERÚ**

**2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**“ESTIMACIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN  
ESPACIO-TEMPORAL EN ARROZALES PARA EL DISTRITO  
DE CHONGOYAPE, CHICLAYO USANDO IMÁGENES  
SATELITALES”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

Presentado por:

**BACH. CESAR FRANCISCO VILCA GAMARRA**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

_____	_____
Dr. ...	Dr. Mg. Sc. Ing. ...
<b>Presidente</b>	<b>Asesora</b>

_____	_____
Mg. Sc. ...	Mg. Sc. ...
<b>Miembro</b>	<b>Miembro</b>

_____
Ing. ...
<b>Co-Asesor</b>

**LIMA - PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

*Dedicado a toda mi familia, en especial a mis padres y papitos, mamá Teodora y papá Murillo, gran parte de mi infancia viví con ellos y siempre los tendré presente en mi corazón. También a esa persona que tanto me ayudo emocionalmente e intelectualmente.*

## **AGRADECIMIENTO**

A mis profesores, compañeros, amigos, padres, novia, etc

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	<b>VIII</b>
<b>NOMENCLATURA</b>	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>XII</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS</b>	<b>2</b>
2.1    Objetivos generales . . . . .	2
2.2    Objetivos específicos . . . . .	2
<b>III. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>3</b>
3.1    Balance de Energía para Estimar la ET a partir de Imágenes de Satélite . . . .	3
3.2    Balance de energía para estimar la ET a partir de imágenes de un VANT . . . .	3
3.2.1    SEBAL . . . . .	4
3.2.2    METRIC . . . . .	12
3.2.2.1    Los datos medidos de la ET . . . . .	13
3.2.2.2    Las datos Meteorológicos . . . . .	14

3.2.2.3 Datos de la Cubierta Terrestre . . . . .	15
<b>IV. METODOLOGÍA</b>	<b>17</b>
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>19</b>
<b>VI. CONCLUSIONES</b>	<b>20</b>
6.1 Funcionamiento de muros de contención . . . . .	20
<b>VII. RECOMENDACIONES</b>	<b>22</b>
7.1 Funcionamiento de muros de contención . . . . .	22
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>24</b>
<b>VIII. ANEXOS</b>	<b>24</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

3.1	Características de la torre de flujo CFK ubicada al centro de arrozales . . . . .	9
3.2	Descripción de los sitios utilizados en este estudio . . . . .	14
3.3	Estaciones meteorológicas . . . . .	15
4.1	Clasificación de suelos . . . . .	17
4.2	Estaciones meteorológicas . . . . .	17
4.3	Estaciones meteorológicas . . . . .	17
4.4	Sample ANOVA table . . . . .	18

## ÍNDICE DE FIGURAS

3.1	UNALM . . . . .	5
3.2	Variación temporal de los componentes del balance energético en la torre de flujo ubicada al centro de arrozales . . . . .	10
3.3	UNALM . . . . .	10
3.4	UNALM . . . . .	11
3.5	UNALM . . . . .	11
3.6	Diagrama de modelos . . . . .	16
4.1	Comparación entre $Q_{disponible}$ y $Q_{demanda}$ . . . . .	18
4.2	Volúmenes medios mensuales acumulados . . . . .	18



## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Mapas de la zona de estudio . . . . .	24
ANEXO 2: Mapas de la zona de estudio . . . . .	24
ANEXO 3: Mapas de la zona de estudio . . . . .	24

## NOMENCLATURA

$R_n$	Radiación neta
$LE_s$	Evaporación del agua del suelo
$LE_v$	Transpiración del dosel
$R_l$	Radiación de onda larga entrante
$R_s$	Radiación de onda corta entrante
ANN	Neuronales artificiales
BRDF	Función de distribución de reflectancia bidireccional
DL	Deep learning
DTD	Diferencia de temperatura dual
ET	Evapotranspiración
Etc	Evapotranspiración real o del cultivo
ETo	Evapotranspiración de referencia
G	Flujo de calor del suelo
H	Flujo de calor sensible
IAF	Índice de área foliar
LE	Flujo de calor latente
METRIC	Mapeo de la evapotranspiración a alta resolución con calibración internalizada
METRIC-HR	METRIC de alta resolución
ML	Machine learning
NDVI	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
NDVIc	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada para el canopy
NDVIss	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada para el suelo

RSEB	Balance energético con información de teledetección
SAVI	Índice de vegetación ajustado al suelo
SEB	Componentes del balance de energía
SEBAL	Algoritmo de balance de energía superficial para tierra
STSEB	Salancce energético simplificado existente de dos fuentes
TSEB	Balance de energía de dos fuentes
VANT	Vehículo Aéreo No Tripulado

## RESUMEN

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

**Palabras claves:** Zonificación Agroecológica, Duraznero, Proceso Analítico Jerarquizado, Sistemas de Información Geográfica, San Pablo de Pillao, Sequías.

## **ABSTRACT**

In this part I will explain the details of my research during the quarantine.

**Key Words:** Agroecological Zoning, Peach, Hierarchical Analytical Process, Geographic Information Systems, San Pablo de Pillao, Droughts.

## I. INTRODUCCIÓN

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos generales**

Caracterizar los recursos hídricos e identificar las zonas vulnerables en el ámbito del Proyecto Especial Tambo Ccaracocha mediante el modelamiento geoespacial y presentar alternativas de aprovechamiento de los recursos hídricos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar la oferta y demanda hídrica en el ámbito de influencia del Proyecto Especial Tambo-Ccaracocha.
- Presentar alternativas de proyectos, para contribuir a la asegurar el afianzamiento hídrico para el valle de Ica.
- Generar una base de datos geoespacial, para caracterizar e identificar el grado de vulnerabilidad en el ámbito del Proyecto Tambo Ccaracocha.
- Desarrollar el modelo geoespacial para identificación del grado de vulnerabilidad en el ámbito del Proyecto.

### **III. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **3.1 Balance de Energía para Estimar la ET a partir de Imágenes de Satélite**

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

#### **3.2 Balance de energía para estimar la ET a partir de imágenes de un VANT**

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras



viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

### **3.2.1 SEBAL**

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis

natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris. (Lee & Kim, 2016).

En la Figura 1 se observa los pasos a seguir en el procesamiento de las imágenes de satélite según el algoritmo SEBAL y modificacion propuesta por (Lee & Kim, 2016).

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscin- scing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa. (Lee & Kim, 2016).

$$\lambda ET = R_n - G - h \quad (3.1)$$

donde  $\lambda ET$  es el flujo de calor latente ( $w \times m^{-2}$ ),  $R_n$  es la radiación neta en la superficie ( $w \times m^{-2}$ ),  $G$  es el flujo de calor del suelo ( $w \times m^{-2}$ ), y  $h$  es el flujo de calor sensible al aire ( $w \times m^{-2}$ ). La evapotranspiración se calcula utilizando la siguiente ecuación  $[\lambda ET \times (R_n - G)^{-1}]$ .



**Figura 3.1: UNALM**  
**FUENTE:** (Lee & Kim, 2016)

Al aplicar el modelo SEBAL, es importante la selección de dos píxeles “ancla” (píxel “caliente” y “frío”) sobre el área de interés, que se utilizan para determinar las diferencias de temperatura entre la temperatura de la superficie ( $T_s$ ) y la temperatura del aire ( $dT$ ). Se supone que existe una relación lineal entre  $T_s$  y  $dT$  en forma de:

$$dT = aT_s + b \quad (3.2)$$

donde  $a$  y  $b$  son las constantes de relación lineal. Para determinar estas constantes, SEBAL utiliza los dos píxeles “ancla” para los cuales se puede estimar confiablemente un valor para  $h$ .  $T_s$  se estima a partir de la temperatura de la superficie terrestre (LST) para cada píxel;  $dT$  se calcula para el píxel “caliente” o “frío” utilizando la siguiente relación:

$$dT_{\frac{cold}{hot}} = h_{\frac{cold}{hot}} r_{ah \frac{cold}{hot}} / \left( \rho_{\frac{cold}{hot}} c_p \right) \quad (3.3)$$

donde  $h$  puede calcularse para los píxeles de anclaje utilizando datos meteorológicos,  $\rho$  es la densidad del aire ( $kg \times m^{-3}$ ),  $C_p$  es el calor específico del aire ( $1004J \times kgK^{-1}$ ),  $dT$  es la diferencia de temperatura entre dos alturas ( $K$ ), y  $rah$  es la resistencia aerodinámica al transporte de calor ( $s \times m^{-1}$ ) para cada píxel “frío” y “caliente”. La anterior relación lineal entre  $dT$  y  $T_s$  es una presunción importante en el SEBAL.

El píxel frío se utiliza para definir la cantidad de evapotranspiración. Para identificar los píxeles fríos en la zona de interés se suele utilizar un cultivo o una masa de agua que cubra toda la superficie. Sin embargo, la temperatura de la superficie que se utiliza debe ajustarse uniformemente a una elevación de referencia común para una predicción precisa de  $dT$ . De lo contrario, las altas elevaciones que parecen “frías” pueden interpretarse erróneamente como que tienen una alta evaporación. Por ello se procede a realizar una corrección de la temperatura. En el procedimiento se utilizaron los datos del MED para este cálculo. La temperatura superficial corregida por el MED es calculada por la siguiente ecuación:

$$T_{0\_dem} = T_0 + 0.0065\Delta z \quad (3.4)$$

donde  $\Delta z$  es la diferencia de la elevación de un píxel con respecto al dato ( $m$ ).

A partir del residuo en la ecuación de balance energético instantáneo y la fracción de evaporación ( $\Lambda$ ), se estimó el ET diario ( $ET_{24}$ ),  $mm \times d^{-1}$ .  $\Lambda$  es notablemente regular y relativamente constante en los días sin nubes. Por lo tanto, su valor instantáneo puede tomarse como el valor medio diario, de modo que la variabilidad espacial en la ET diaria puede predecirse a gran escala.

$$\Lambda = \frac{\lambda ET}{R_n - G} \quad (3.5)$$

$$ET_{24} = \frac{86500\Lambda(R_{n,24} - G_{24})}{\lambda} \quad (3.6)$$

donde  $R_{n,24}$  es la radiación neta diaria;  $G_{24}$  es el flujo de calor diario del suelo; 86.400 es el número de segundos en un período de 24 h; y  $\Lambda$  es el calor latente de vaporización ( $J \times kg^{-1}$ ). El calor latente de vaporización permite la expresión de  $ET_{24}$  en  $mm \times d^{-1}$ . El parámetro  $G_{24}$  puede ser aproximado para las superficies vegetativas y del suelo como cero en la superficie del suelo. Esto se debe a que, en promedio, la energía almacenada en el suelo durante el día se libera en el aire durante la noche. La vaporización de calor latente y  $R_{n,24}$  se definen como:

$$\lambda = \left(2.501 - 0.00236(T_0 - 273) \times 10^6\right) (J \times kg^{-1}) \quad (3.7)$$

$$R_{n,24} = (1 - \alpha)Rs_{24} - a\tau_{sw} \quad (3.8)$$

donde  $Rs_{24}$  es la radiación solar entrante de 24 horas; alfa es el albedo;  $a$  es un coeficiente de regresión de la relación entre la radiación de onda larga neta y la transmisibilidad atmosférica a escala diaria; y  $\tau_{sw}$  es la de transmisión unidireccional en un cielo claro y puede predecirse para condiciones atmosféricas claras y relativamente secas utilizando la elevación sobre el nivel del mar en  $m$ . El coeficiente  $a$  puede aplicarse de manera diferente según a la región.

(Lee & Kim, 2016) estimaron la evapotranspiración espacial diaria utilizando el algoritmo SEBAL modificado con una selección automática mejorada para el píxel de ancla y datos mensuales para mejorar los resultados, utilizando los datos del Terra MODIS para Corea del Sur. Los mismos que constan de 36 canales espectrales discretos con una resolución espacial de 250

m para bandas visibles, 500 m para bandas de infrarrojo cercano y 1000 m para las bandas de infrarrojos térmicos restantes. Los resultados espaciales de la ET obtenidos mediante el modelo SEBAL se validaron utilizando dos años (2012-2013) de datos de ET de torres de flujo medidos en tres lugares (dos en un bosque y uno en un arrozal).

Para píxeles<sup>1</sup> fríos, se selecciono el 5% superior del NDVI más alto y, entre ellos, se selecciono el 15% más frío de la Ts dentro de un área agrícola del área según el uso de la tierra. Para píxeles calientes, se selecciono el 10% más bajo del NDVI y luego se selecciono el 15% más caliente de la Ts dentro de un campo desnudo o un área urbana de acuerdo con el uso de la tierra. Se hace referencia al estándar para los candidatos a píxeles de anclaje, sin embargo, el porcentaje se ajusta ligeramente de 20% a 15% porque hay muchos píxeles en el área de interés y puede afectar el tiempo de ejecución total del modelo. Durante el período de este estudio (2012-2013), el valor máximo de la temperatura superficial de la tierra (LST) mostró el rango de aproximadamente 279.2 K a 321.0 K, mientras que el valor mínimo de LST indicó el rango de aproximadamente 252,1 K a 295,4 K. Generalmente, los píxeles calientes se seleccionaron en el rango de 277,1 K a 319,1 K, y los píxeles fríos se incluyeron en el rango de 253,6 K a 296,4 K. El LST fue el factor clave, además de los datos de los satélites, para estimar la variabilidad temporal diaria de la ET (Lee & Kim, 2016).

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

---

<sup>1</sup>Medida de cada cuadrante del espectro.

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscine semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

**Tabla 3.1: Características de la torre de flujo CFK ubicada al centro de arrozales**

Sitio	Cheongmicheon (CFK)
Latitud (N)	37° 09' 35"
Longitud (E)	127° 39' 10"
Elevación (m)	141
Temperatura media anual (°C)	11.5
Precipitación media anual (mm)	1107
Velocidad del viento media (m/s)	1.97
Tierra usada	Arrozal

**FUENTE:** (Lee & Kim, 2016)

La Figura 3.2 muestra la variación diurna de los componentes de balance energético sobre la superficie transpirante bien regado en un día despejado en un arrozal. El flujo de calor del suelo se encuentra en el rango de 0 a  $100 \text{ W} \times \text{m}^{-2}$  y el flujo de calor sensible se encuentra en el rango de aproximadamente 50 a  $400 \text{ W} \times \text{m}^{-2}$ .



**Figura 3.2: Variación temporal de los componentes del balance energético en la torre de flujo ubicada al centro de arrozales**

**FUENTE:** (Lee & Kim, 2016)

En condiciones climáticas casi nubladas, la radiación solar ( $R_s$ ) en lugar de  $R_a(24)t(sw)$ , mejoró los resultados del  $r^2$  del SEBAL en arrozales de 0,52 a 0,77, es decir se debe utilizar un valor medido local (en tierra) para la radiación solar ( $R_s$ ) de 24 horas en lugar de  $R_a(24)\tau(sw)$ . Esto depende del porcentaje de nubosidad del lugar de estudio. Ver Figura 3.3.



**Figura 3.3: UNALM**

**FUENTE:** (Lee & Kim, 2016)

La Figura 3.4 se muestra la ET en arrozales obtenida por (Lee & Kim, 2016) con ET total de 496,1 y 467,8 mm para el 2012 y 2013 respectivamente (torre de flujo) y  $5,2$  y  $5,3 \text{ mm} \times d^{-1}$  según la torre de flujo y SEBAL, respectivamente; con mejor ajuste de la ET para el año 2013 con valores de Índice de Nash de 0.73 y  $r^2$  de 0.80.



**Figura 3.4: UNALM**  
**FUENTE:** (Lee & Kim, 2016)

La Figura 3.5 muestra los datos mensuales del NDVI, el albedo y ET según las torres de flujo. El NDVI de la zona de arrozales muestra el patrón de crecimiento y desarrollo de la planta de mayo a septiembre, el NDVI de las zonas de bosques mixtos muestra un patrón diferente, con valor superior a 0,5 de abril a noviembre. En la temporada de invierno (particularmente en diciembre), el NDVI del bosque tiende a ser más bajo que el de arrozales, esto debido a que está situado a una mayor altitud. Es decir, SEBAL refleja las características geográficas, con ET en las zonas bajas, mayores que en zonas de mayor altitud.



**Figura 3.5: UNALM**  
**FUENTE:** (Lee & Kim, 2016)



Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

### **3.2.2 METRIC**

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed

accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

(Bhattarai et al., 2017) estimaron la ET en tres sitios del USA con sitios de flujo EC en FL y un sitio llamado Ameriflux, Medición de la Radiación Atmosférica en las Grandes Llanuras del Sur (ARM SGP), en OKLAHOMA (OK), información que se utilizaron para demostrar el modelo automatizado desarrollado en este estudio. La estación de Blue Cypress cubre un gran sistema de humedales de llanura de inundación en la cabecera del río St. Johns en el condado de Indian River en el centro-oeste. El sitio de Citrus cubre una arboleda de 22 ha de cítricos de bosque plano. La Ferris está situado en zona de pastos (*Paspalum notatum*) y los campos de fresas. El sitio ARM-SGP es una gran estación agrícola experimental (periódica rotación del trigo, el maíz y la soja) con un clima más seco.

#### **3.2.2.1 Los datos medidos de la ET**

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

**Tabla 3.2: Descripción de los sitios utilizados en este estudio**

Descripciones del sitio	ARM SGP
Latitud (°N)	36.6058
Longitud (°W)	97.4888
Tipo de cobertura	Cultivos
Periodo de medición de la ET <sup>a</sup>	2000-2015
Tiempo medio anual (°C)	15
Precipitación media anual (mm)	383
La media diaria de la ET (mm día)	1.3
Altura del dosel (m)	Variante
Altura de la torre (m)	60
Fuente para más información	ARM Climate Research Facility

**FUENTE:** (Bhattarai et al., 2017)

Diseñamos específicamente nuestro algoritmo de automatización para trabajar con imágenes térmicas de Landsat. El tamaño de 30 m de píxeles - la banda térmica es remuestreada a 30 m para igualar las bandas multiespectrales. Landsat permite el mapeo de la ET a escalas de campo, por lo que los datos de Landsat son ampliamente utilizados en la gestión de los recursos hídricos. Las imágenes Landsat de la superficie se procesaron por el Sistema de Procesamiento Adaptativo de Perturbaciones (LEDAPS) reflectancia (Masek et al., 2006) (bandas 1-5 y 7), la imagen termal Landsat y los metadatos de la imagen se obtuvieron del USGS ([www.glovis.usgs.gov](http://www.glovis.usgs.gov) y [http://landsat.usgs.gov/lsrc\\_sw.php](http://landsat.usgs.gov/lsrc_sw.php); último acceso 06/10/2015). Las ortoimágenes a nivel estatal con un tamaño de 1 m de píxel se obtuvieron del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

### 3.2.2.2 Las datos Meteorológicos

Datos meteorológicos de intervalo temporal de 15 minutos disponibles gratuitamente desde la plataforma de la Red Meteorológica Automatizada de la Florida (FAWN) (Figura 6; [http://fawn.ifas.ufl.edu/about\\_index.php](http://fawn.ifas.ufl.edu/about_index.php) y Oklahoma Mesonet <https://www.mesonet.org/> se utilizaron en este estudio. Un mapa ráster para cada estación instantánea y los parámetros meteorológicos

diarios (es decir, velocidad del viento, temperatura, la radiación solar, y la humedad relativa).

### 3.2.2.3 Datos de la Cubierta Terrestre

Datos disponibles de 30 m de cobertura terrestre del USGS National Land Cover Base de datos (NLCD; <http://www.mrlc.gov/index.php>) se utilizaron para identificar las tierras agrícolas tanto para el manual como para los enfoques automatizados de selección de píxeles de los miembros. Las tierras agrícolas incluían ambos cultivos y los pastos. Las descripciones e implementación de los modelos SEBAL y MÉTRIC, se basan en que la ET puede ser estimada a partir del término residual del balance energético de la superficie ecuación (Ec. (1)).  $R_n$  se calcula para las condiciones de cielo despejado (Ec. (9))  $G$  se calcula como la fracción de  $R_n$  (Ec. (10)).

**Tabla 3.3: Estaciones meteorológicas**

Estaciones	Este (m)	Norte (m)	Latitud	Longitud
Tunel cero	490680.81	8534186.15	13°15'33.54"	75°5'8"
Ocucaje	426464.86	8410316.41	14°22'42.2"	75°40'0"

**FUENTE:** Elaboración propia

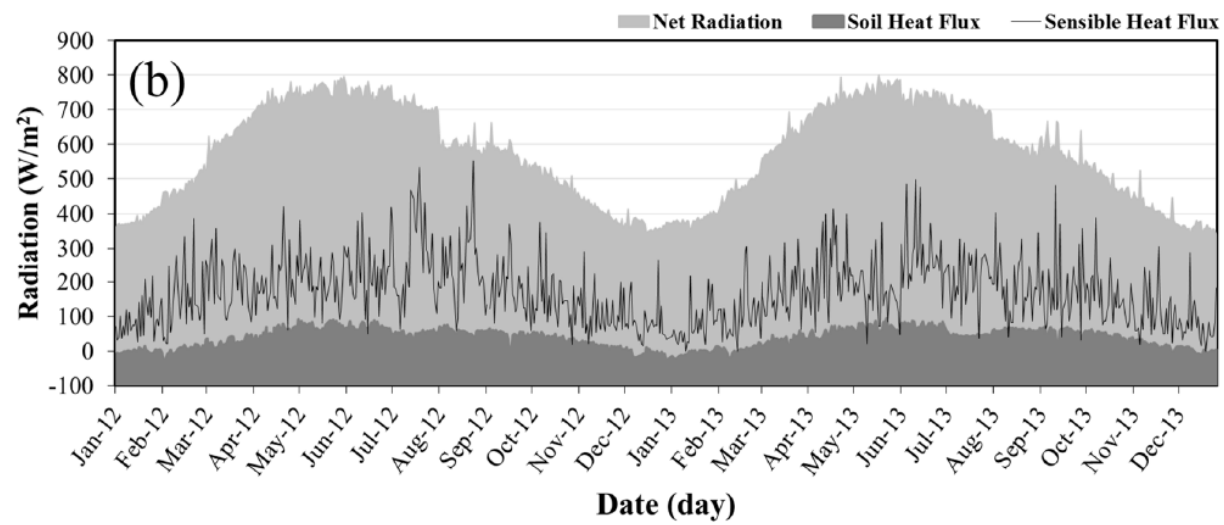


Figura 3.6: Diagrama de modelos

## IV. METODOLOGÍA

- La siguiente Tabla 4.1 es de clasificación de suelos:

**Tabla 4.1: Clasificación de suelos para determinarlo en el laboratorio del departamento de ordenamiento territorial**

SISTEMAS	BRITÁNICO	AASHTO	ASTM	SUCS
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Grava	60 - 2	75 - 2	>2	75 - 4,75
Arena	2 - 0,006	2 - 0,05	2 - 0,075	4,75 - 0,075
Limo	0,06 - 0,002	0,05 - 0,002	0,075 - 0,005	<0,075 FINOS
Arcilla	<0,002	<0,002	<0,005	

**FUENTE:** Elaboración propia

**Tabla 4.2: Estaciones meteorológicas**

Estaciones	Este (m)	Norte (m)	Latitud	Longitud
Tunel cero	490680.81	8534186.15	13°15'33.54"	75°5'8"
Ocucaje	426464.86	8410316.41	14°22'42.2"	75°40'0"

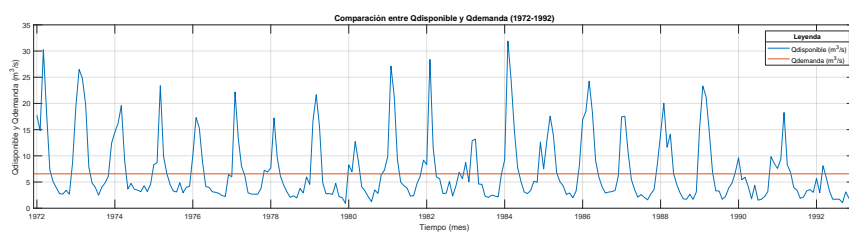
**FUENTE:** Elaboración propia

**Tabla 4.3: Estaciones meteorológicas**

Estaciones	Este (m)	Norte (m)	Latitud	Longitud
Tunel cero	490680.81	8534186.15	13°15'33.54"	75°5'8"
Ocucaje	426464.86	8410316.41	14°22'42.2"	75°40'0"

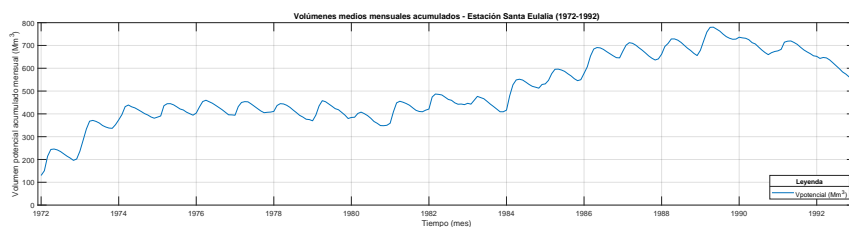
**FUENTE:** Elaboración propia

**Figura 4.1: Comparación entre Qdisponible y Qdemanda**



**FUENTE:** Elaboración propia

- En la Figura 4.2, se muestran los volúmenes medios mensuales acumulados de la estación Santa Eulalia (1972-1992).



**Figura 4.2: Volúmenes medios mensuales acumulados**

**FUENTE:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI

**Tabla 4.4: Sample ANOVA table**

Stubhead	$df$	$f$	$\eta$	$p$
Spanning text				
Row 1	1	0.67	0.55	0.41
Row 2	2	0.02	0.01	0.39
Row 3	3	0.15	0.33	0.34
Row 4	4	1.00	0.76	0.54

**FUENTE:** Elaboración propia

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.
- Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.



## VI. CONCLUSIONES

### 6.1 Funcionamiento de muros de contención

- Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.
- Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.
- Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar

lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

- Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

## VII. RECOMENDACIONES

### 7.1 Funcionamiento de muros de contención

- Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

(Niu et al., 2020).

(see Niu et al., 2020, p10)

Niu et al., 2020 hola

Niu et al. (2020)

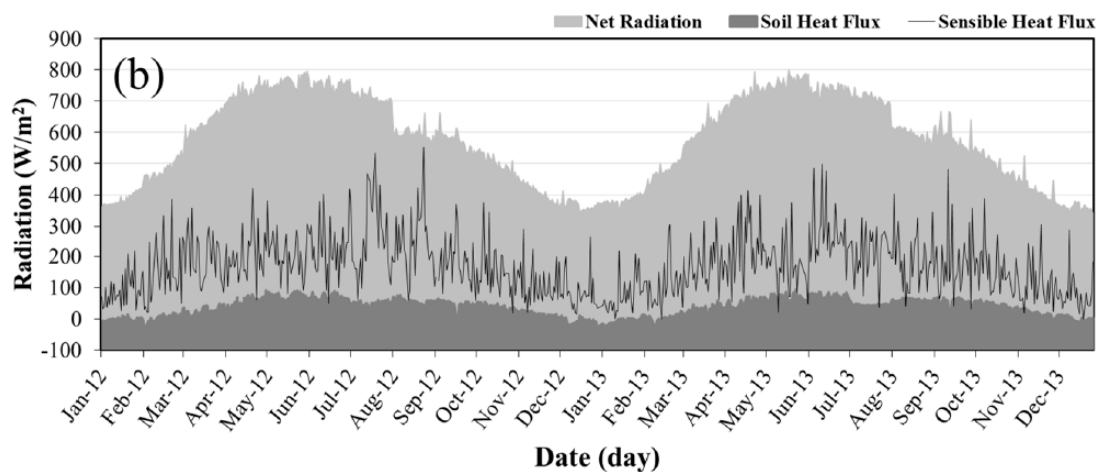
## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bhattarai, N., Quackenbush, L. J., Im, J., & Shaw, S. B. (2017). A new optimized algorithm for automating endmember pixel selection in the SEBAL and METRIC models. *Remote Sensing of Environment*, 196, 178–192. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.05.009>
- De Castro, A. I., Peña, J. M., Torres-Sánchez, J., Jiménez-Brenes, F. M., & López-Granados, F. (2017). Mapping *Cynodon dactylon* in vineyards using UAV images for site-specific weed control, 267–271. <https://doi.org/10.1017/S2040470017000826>
- De Castro, A. I., Torres-Sánchez, J., Peña, J. M., Jiménez-Brenes, F. M., Csillik, O., & López-Granados, F. (2018). An automatic random forest-OBIA algorithm for early weed mapping between and within crop rows using UAV imagery. *Remote Sensing*, 10(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/rs10020285>
- 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 Sensing*, 8(12), 983. <https://doi.org/10.3390/rs8120983>
- Monteith, J. L. (1972). Solar Radiation and Productivity in Tropical Ecosystems. *The Journal of Applied Ecology*, 9(3), 747. <https://doi.org/10.2307/2401901>
- Nhamo, L., Magidi, J., Nyamugama, A., Clulow, A. D., Sibanda, M., Chimonyo, V. G. P., & Mabhaudhi, T. (2020). Prospects of Improving Agricultural and Water Productivity through Unmanned Aerial Vehicles. *Agriculture*, 10(7), 18. <https://doi.org/10.3390/agriculture10070256>
- Niu, H., Hollenbeck, D., Zhao, T., Wang, D., & Chen, Y. (2020). Evapotranspiration estimation with small uavs in precision agriculture. *Sensors (Switzerland)*, 20(22), 1–28. <https://doi.org/10.3390/s20226427>
- Niu, H., Zhao, T., Wang, D., & Chen, Y. (2019). Estimating Evapotranspiration with UAVs in Agriculture: A Review. *2019 Boston, Massachusetts July 7- July 10, 2019*, 2–8. <https://doi.org/10.13031/aim.201901226>

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1: Mapas de la zona de estudio

...(contents of appendix one)...



**Anexo 1.1: Variación temporal de los componentes del balance energético en la torre de flujo ubicada al centro de arrozales**

**FUENTE:** (Lee & Kim, 2016)

### ANEXO 2: Mapas de la zona de estudio

### ANEXO 3: Mapas de la zona de estudio