

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA

TESIS



**“EVALUACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ET<sub>p</sub>) DEL CULTIVO DE HABA (*Vicia faba* L.) EN LISÍMETRO SUPERFICIAL EN EL DISTRITO Y PROVINCIA DE ACOBAMBA-HUANCAVELICA”**

**LINEA DE INVESTIGACION**

**TECNOLOGIA DE RIEGO**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. VIRGINIA ENRIQUEZ LAPA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRONOMO**

**HUANCAVELICA- PERU**

**2018**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA**  
(Creada por ley N° 25265)  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS**

En la ciudad de común era, se llevó la sustentación, a los **17** días de mes de **DICIEMBRE** del año **2018**, a horas **9:00** am, se reunieron; los miembros del jurado calificador, que está conformado de la siguiente manera:

**PRESIDENTE** : Dr. Ruggerths Neil, DE LA CRUZ MARCOS  
**SECRETARIO** : M. Sc. Julián Leonardo, MANTARI MALLQUI  
**VOCAL** : Mg. Isaac Norberto, ALIAGA BARRERA

Designado con resolución **N° 242-2017-D-FCA-UNH**; como miembro de jurado calificador del proyecto de investigación Titulado. **"EVALUACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL ETp, DEL CULTIVO DE HABA (*Vicia faba* L.) EN LISÍMETROS SUPERFICIAL EN EL DISTRITO Y PROVINCIA DE ACOBAMBA-HUANCAVELICA"**.

Cuyo autor es graduada:

**BACHILLER** : Virginia, ENRIQUEZ LAPA  
**ASESORADO POR** : Mtro. Jesús Antonio JAIME PIÑAS

A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del: proyecto de investigación, antes citado.

Finalizado la evaluación; se invitó al público presente y al sustentante abandonar el paraninfo; y, luego de una amplia deliberación por parte del jurado, se llegó al siguiente resultado:

**APROBADO**  : POR MAYORIA

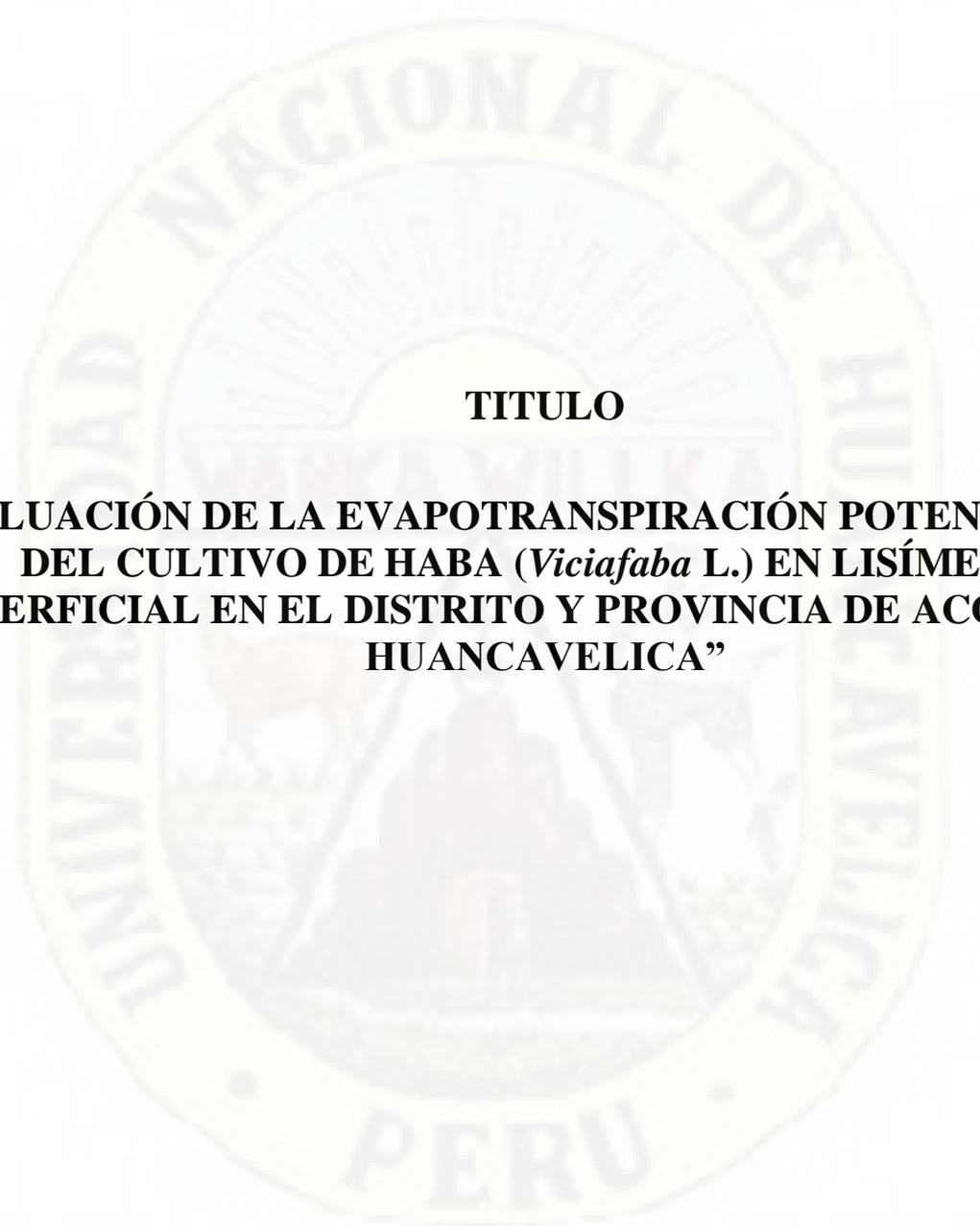
**DESAPROBADO**

En conformidad a lo actuado firmamos al pie.

Dr. Ruggerths Neil, DE LA CRUZ MARCOS  
Presidente

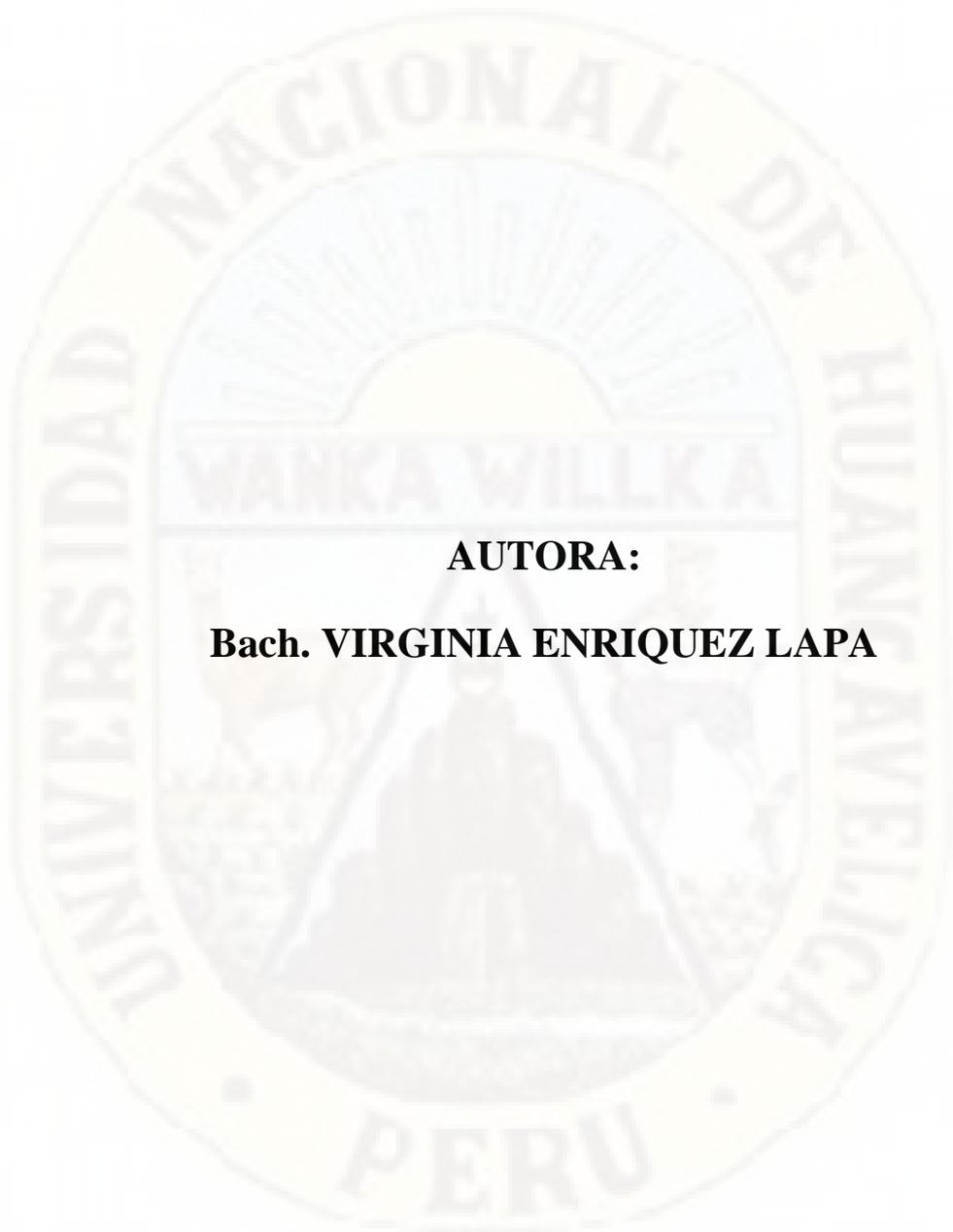
M. Sc. Julián Leonardo, MANTARI MALLQUI  
Secretario

Mg. Isaac Norberto, ALIAGA BARRERA  
Vocal



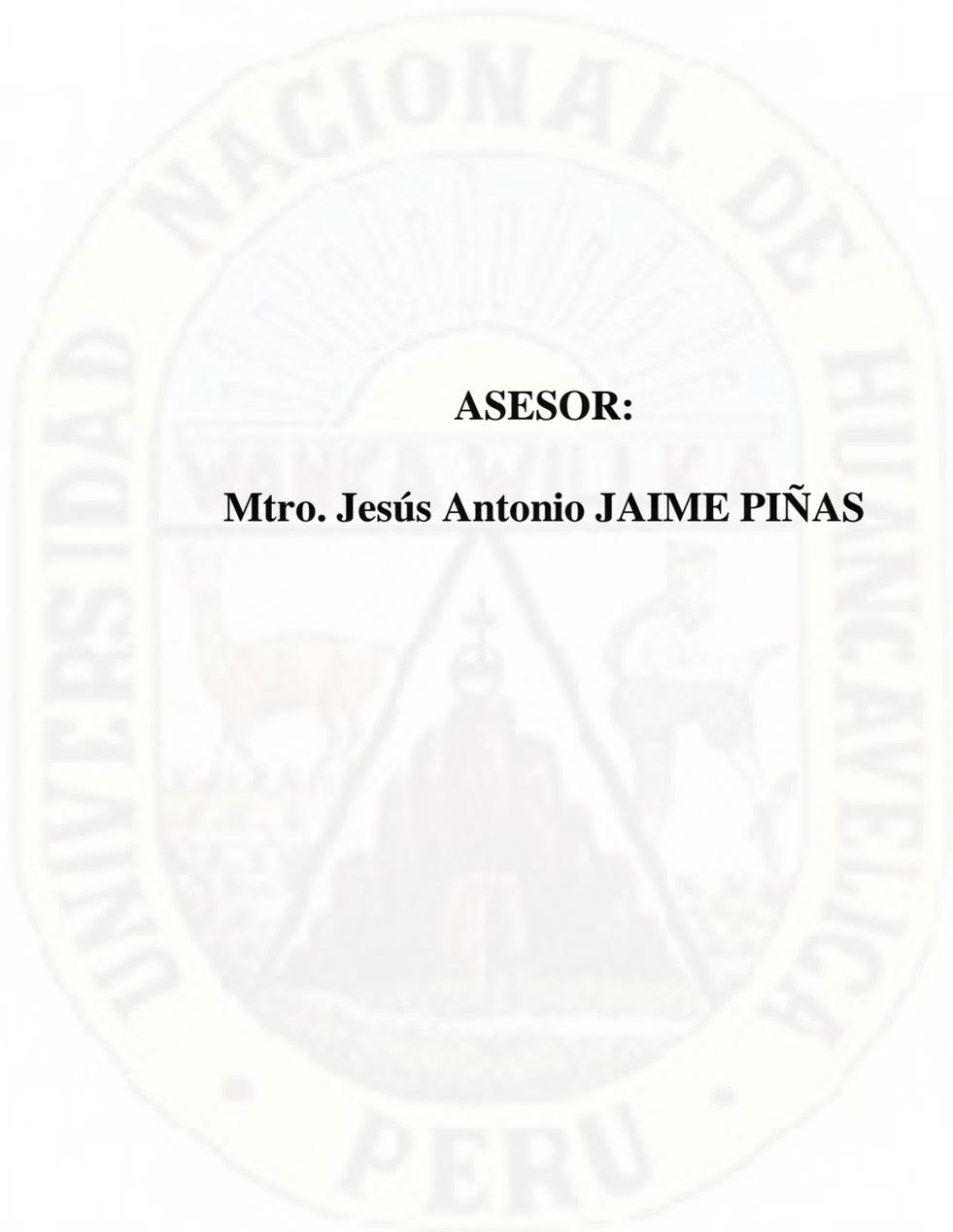
**TITULO**

**“EVALUACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ET<sub>p</sub>)  
DEL CULTIVO DE HABA (*Vicia faba* L.) EN LISÍMETRO  
SUPERFICIAL EN EL DISTRITO Y PROVINCIA DE ACOBAMBA-  
HUANCAVELICA”**



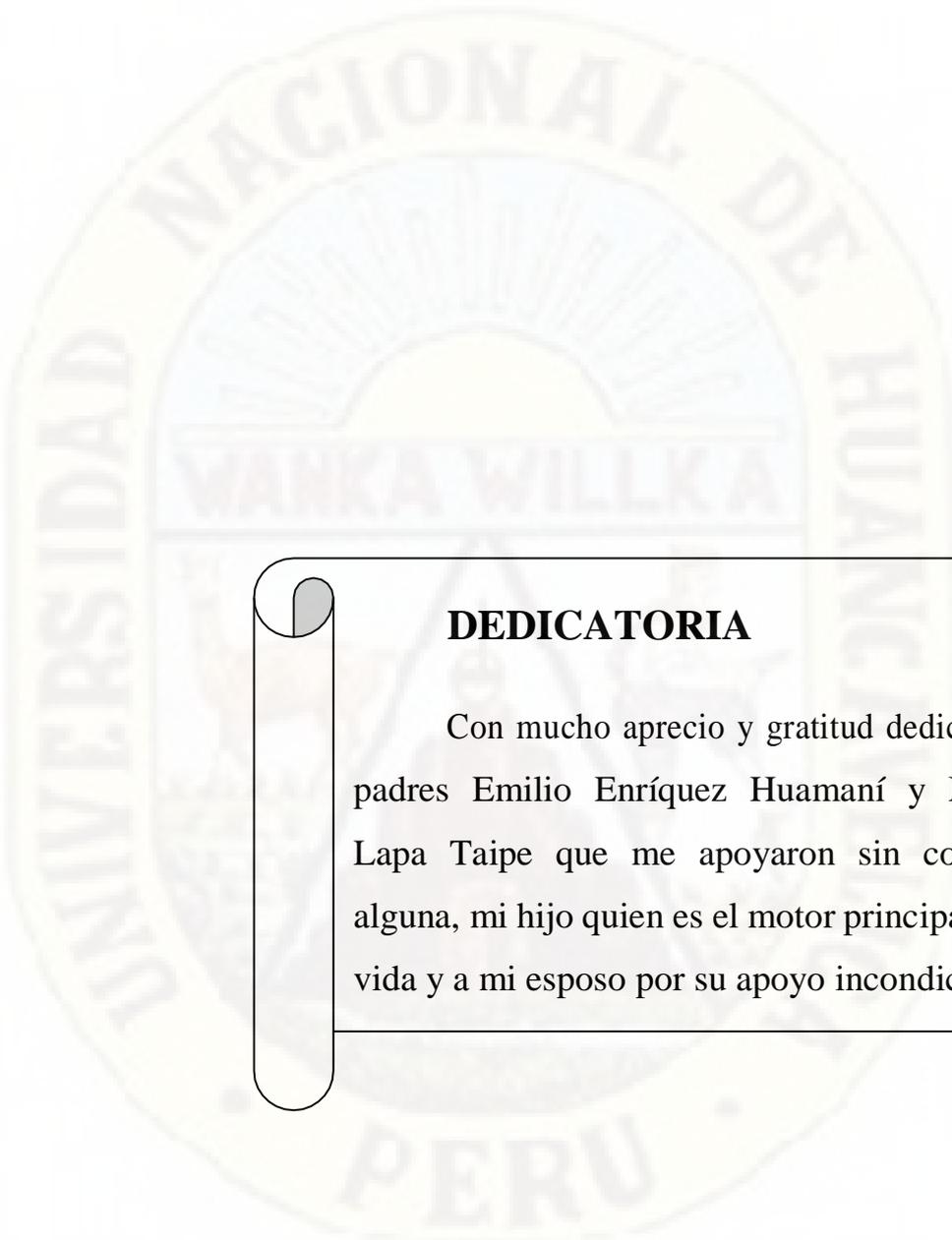
**AUTORA:**

**Bach. VIRGINIA ENRIQUEZ LAPA**



**ASESOR:**

**Mtro. Jesús Antonio JAIME PIÑAS**

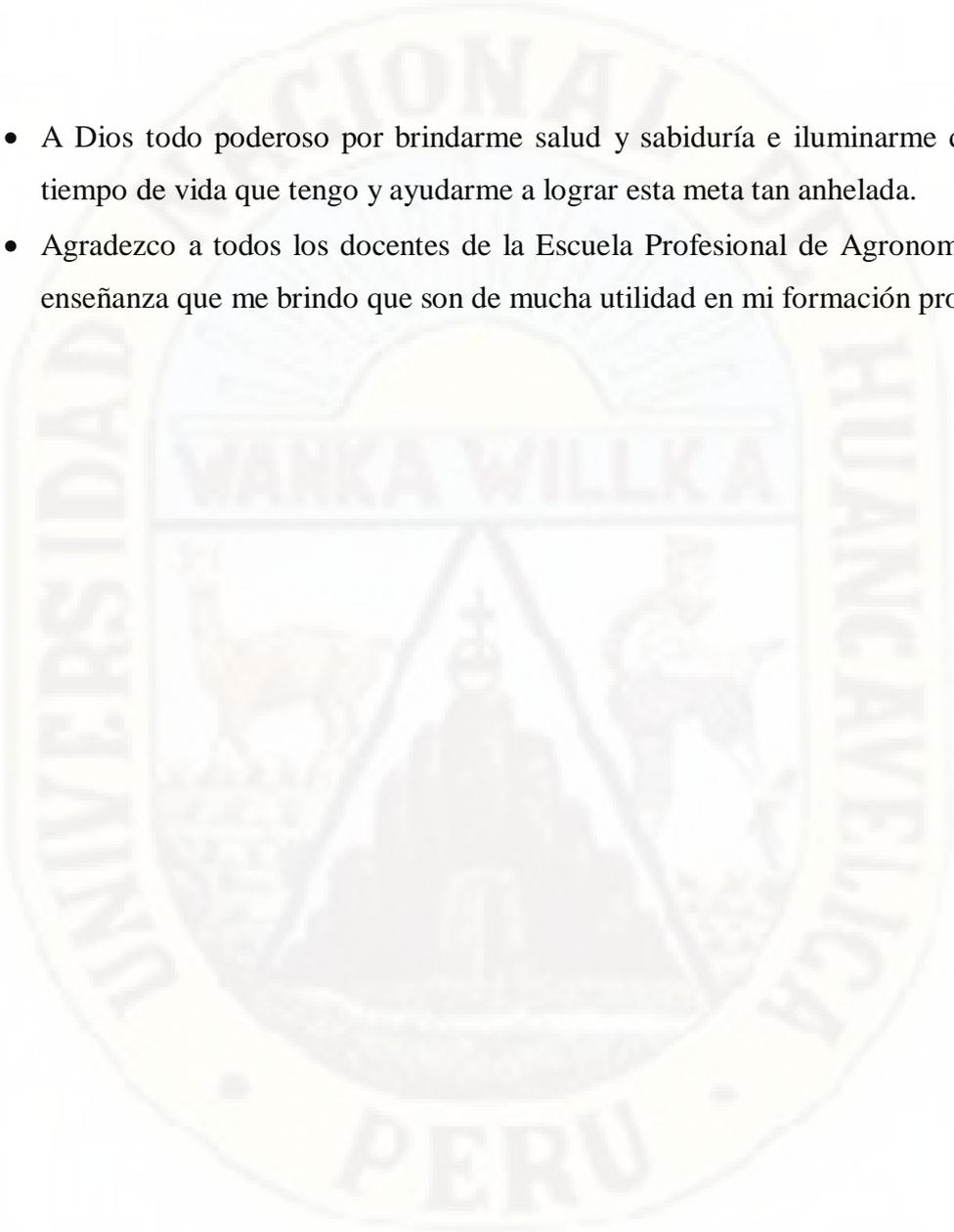


## **DEDICATORIA**

Con mucho aprecio y gratitud dedico a mis padres Emilio Enríquez Huamaní y Marcela Lapa Taipe que me apoyaron sin condición alguna, mi hijo quien es el motor principal en mi vida y a mi esposo por su apoyo incondicional.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A Dios todo poderoso por brindarme salud y sabiduría e iluminarme durante el tiempo de vida que tengo y ayudarme a lograr esta meta tan anhelada.
- Agradezco a todos los docentes de la Escuela Profesional de Agronomía, por la enseñanza que me brindo que son de mucha utilidad en mi formación profesional.



## **TABLA DE CONTENIDO**

Título .....	<b>¡ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
Autor .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
Asesor .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
Dedicatoria .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.i</b>
Agradecimiento .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
Índice .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
Índice de tablas .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.iv</b>
Índice de figuras .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
Resumen .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
Abstract .....	<b>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</b>
Introducción.....	19
<b>1. CAPITULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>21</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	21
1.2. Formulación del problema.....	22
1.3. Objetivos de la investigación.....	22
1.3.1. Objetivo general .....	22
1.3.2. Objetivos específicos .....	23

1.4. Justificación e importancia .....	23
1.4.1. Científico.....	23
1.4.2. Social.....	24
1.4.3. Económico.....	24
<b>2. CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>25</b>
2.1. Antecedentes de la investigación.....	25
2.1.1. Nivel Internacional.....	25
2.1.2. Nivel Nacional.....	26
2.1.3. Nivel Local.....	27
2.2. Bases teóricas.....	29
2.2.1. Necesidad de agua de los cultivos .....	29
2.3. Evapotranspiración .....	33
2.4. Uso consuntivo .....	34
2.5. Lisímetro .....	37
2.6. Cultivo de haba .....	37
2.6.1. Origen e historia .....	37
2.7. Taxonomía de la planta .....	37
2.8. Morfología de la planta .....	38
2.8.1. Sistema de raíces.....	38
2.8.2. Tallo principal y ramas .....	38
2.8.3. Los nudos vegetativos y reproductivos.....	39

2.8.4. Las hojas.....	39
2.8.5. Las flores e inflorescencia.....	40
2.8.6. Las etapas de floración.....	41
2.8.7. El fruto .....	41
2.8.8. La etapa de llenado de granos.....	42
2.8.9. Las semillas .....	42
2.9. Fisiología de la floración, la formación de vainas y factores de la caída de flores .....	43
2.9.1. Fisiología del boro en las plantas .....	43
2.10. Formulación de hipótesis.....	44
2.10.1. Hipótesis nula.....	44
2.10.2. Hipótesis alterna .....	44
2.11. Definición de términos .....	44
2.11.1. Año agrícola.....	44
2.11.2. Capacidad de campo.....	45
2.11.3. Cédula de cultivos .....	45
2.11.4. Ciclos vegetativos y fechas de siembra y cosecha de los cultivos .....	45
2.11.5. Coeficiente de uso consuntivo (Kc) .....	46
2.11.6. Déficit de humedad, ETDF.....	46
2.11.7. Evaporación .....	46
2.11.8. Evapotranspiración (ET).....	46

2.11.9. Evapotranspiración potencial (ETp).....	46
2.11.10. Evapotranspiración del cultivo de referencia ETo. 47	
2.11.11. Evapotranspiración de un cultivo en condiciones estándar ETc.....	47
2.11.12. Evapotranspiración de un cultivo en condiciones no estándar.....	47
2.11.13. Evapotranspiración real (ETR).....	47
2.11.14. Grado de humedad.....	47
2.11.15. Lisímetro.....	48
2.11.16. Índice de disponibilidad de humedad, MAI.....	48
2.11.17. Punto de marchitez.....	48
2.11.18. Plan de cultivo y riego.....	48
2.11.19. Precipitación confiable o dependiente, PD.....	48
2.11.20. Radiación incidente.....	49
2.11.21. Requerimientos de riego de los cultivos propuestos.....	49
2.11.22. Sub cuenca.....	50
2.11.23. Transpiración.....	50
2.11.24. Uso consuntivo del agua.....	50
2.12. Identificación de variables.....	50
2.12.1. Variables a evaluar.....	50
2.12.2. Variables independientes.....	50
2.12.3. Variable Dependiente.....	51
2.12.4. Variable interviniente.....	51

2.13. Definición operativa de variables e indicadores .....	51
<b>CAPÍTULO III : MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>53</b>
3.1. Ámbito de estudio .....	53
3.2. Tipo de investigación .....	53
3.3. Nivel de investigación.....	54
3.4. Método de investigación .....	54
3.4.1. Plan de ejecución para determinar ETp, utilizando lisímetro superficial.....	55
3.4.2. Procedimiento de la conducción del experimento .....	56
3.4.3. Confección de lisímetros .....	57
3.4.4. Abonamiento.....	58
3.4.5. Siembra.....	58
3.4.6. Emergencia de plantas.....	58
3.4.7. Desahije .....	58
3.4.8. Riegos.....	58
3.4.9. Registro de datos.....	59
3.5. Diseño de investigación .....	64
3.6. Población, muestra y muestreo .....	65
3.6.1. Población.....	65
3.6.2. Muestra.....	65
3.6.3. Muestreo.....	65
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	65

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	66
3.9. Descripción de la prueba de hipótesis.....	66
<b>CAPÍTULO IV : DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>67</b>
4.1. Presentación de resultados.....	67
4.1.1. Emergencia y desarrollo inicial del cultivo de haba.....	67
4.1.2. Altura de planta de haba.....	67
4.1.3. Número de vainas por planta de haba.....	68
4.1.4. Rendimiento de plantas de haba por tratamiento.....	68
4.1.5. Cosecha biológica de haba conducida en lisímetro superficial.....	69
4.1.6. Evapotranspiración de haba conducida en lisímetro superficial.....	69
4.1.1. Cálculos de programación de riego del cultivo de haba para un suelo franco.....	70
4.2. Prueba de hipótesis.....	71
4.3. Conclusiones.....	79
4.4. Recomendaciones.....	81
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>82</b>

## CONTENIDO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Coeficiente de uso consuntivo ( $Kc^*$ ) de los principales cultivos de los Andes centrales del Perú, determinados para variar etapas de crecimiento.....	36
Tabla 2. Definición operativa de variables e indicadores .....	51
Tabla 3. Análisis mecánico del suelo.....	56
Tabla 4. Análisis químico del suelo.....	56
Tabla 5. Técnicas e instrumentos de evaluación de datos.....	66
Tabla 6. Promedio altura de planta de haba en días.....	67
Tabla 7. Promedio número de macollos de haba/lisímetro .....	68
Tabla 8. Índice de evapotranspiración potencial en $m^3 / mes/ha$ .....	69
Tabla 9. Cálculos de programación de riego del cultivo de haba para un suelo franco.....	70
Tabla 10. Resultados de prueba de hipótesis.....	71
Tabla 11. Índice de evapotranspiración potencial en $mm / día$ .....	72
Tabla 12. Índice de evapotranspiración actual en $mm / día$ .....	73
Tabla 13. Comparativo determinación $E_{tp}$ $mm / día$ & $E_{Ta}$ haba lisímetro.....	74
Tabla 14. Comparativo $Kc$ del cultivo de habas.....	75
Tabla 15. Test chi cuadrada de bondad de ajuste .....	87
Tabla 16. Distribución de “t” de Students probabilidad de dos colas.....	88

Tabla 17. Registro de humedad relativa media mensual.....	89
Tabla 18. Registro de temperatura media mensual en °C .....	90
Tabla 19. Registro de radiación solar media mensual .....	91
Tabla 20. Factor de Evapotranspiración Potencial MF en mm por mes .....	91
Tabla 21. Radiación Extraterrestre, RMD, Expresado en Evaporación equivalente en mm/día .....	92
Tabla 22. Cálculo de la evapotranspiración potencial Hargreaves .....	93
Tabla 23. Cálculo de la evapotranspiración potencial Hargreaves: ETp .....	94
Tabla 24. Cálculo de la evapotranspiración potencial Hargreaves Etp mm/mes =0,0023*Rad.Extrat. (mm/día)*(TM°C + 17.8)* Dif. T °C ^ 0.5.....	95
Tabla 25. Cálculo de riego del cultivo de habas (Vicia faba L) Hargreaves: 0.0023*Rad Extrat (mm/día)*TM °C + 17.8)* Dif. T °C ^0.5 .....	96
Tabla 26. Cálculos de riego del cultivo de Haba (Vicia faba L) Hargreaves RS .....	97
Tabla 27. Cálculos de riego del cultivo de Haba (Vicia faba L) Cropwat .....	98
Tabla 28. Cálculos de riego del cultivo de Haba (Vicia faba L) Cropwat .....	99

## CONTENIDO DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Diseño de lisímetros (Fuente: Elaboración propia: 2017).....	58
<b>Figura 2.</b> Riego capilar en lisímetro con haba.....	59
<b>Figura 3.</b> Germinación haba en el lisímetro. ....	60
<b>Figura 4.</b> Plantas de habas en crecimiento, antes del desahije .....	60
<b>Figura 5.</b> Medición altura de planta de haba .....	61
<b>Figura 6.</b> Planta de haba en plena floración. ....	62
<b>Figura 7.</b> Etapa de floración – fructificación del cultivo de Haba.....	62
<b>Figura 8.</b> Determinación de peso de cosecha biológica de haba .....	63
<b>Figura 9.</b> Determinación materia seca total haba .....	63
<b>Figura 10.</b> Representación de la evapotranspiración en m <sup>3</sup> /ha. ....	70
<b>Figura 11.</b> Representación de la evapotranspiración en m <sup>3</sup> /ha.....	73
<b>Figura 12.</b> Representación de ETa mm/día en lisímetro superficial.....	74
<b>Figura 13.</b> Comparativo Etp mm /día & ETa haba lisímetro.Etp mm /día .....	75
<b>Figura 14.</b> Comparativo del uso consuntivo Kc mm /día .....	76
<b>Figura 15.</b> Comparativo ETp mm /día Tesis Alex R. J. Jaime M: Hargreaves = M.F x T°F x CH. x 1,1 & ETa haba lisímetro. ETp mm /día .....	77
<b>Figura 16.</b> Evapotranspiración potencial haba según etapas de desarrollo del cultivo de haba., en m <sup>3</sup> /ha .....	78

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en “Vista Hermosa Casa Blanca” Acobamba – Huancavelica, siendo el objetivo general: Evaluar los parámetros de requerimiento hídrico del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), obtener los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) de haba a través de la relación  $ET_a / ET_p$ . La investigación fue de tipo exploratorio y explicativo utilizando el método deductivo directo y cuantitativo, los resultados indican que la tasa de  $ET_p$  para el cultivo de haba conducido en lisímetro superficial es: Fase inicial 1.51 mm / día; Fase de desarrollo: 3.07 mm / día; Fase de fructificación: 24.70 mm / día; Fase de madurez: 18.38 mm / día correspondiendo como nivel óptimo de capa freática para este tipo de estudio una profundidad de 27.50 cm. Los coeficientes de  $K_c$  calculados con los datos de la  $ET_p$  utilizando el factor de latitud MF del cultivo de haba con relación al cultivo de referencia Rye grass, esgrimando las fórmulas de Hargreaves en base a temperatura y factor de latitud MF realizada con la investigación para condiciones de Acobamba resultaron: Fase inicial:  $K_c = 0.24$ ; Fase de desarrollo:  $K_c = 0.55$ ; Fase de fructificación:  $K_c = 1.87$ ; Fase de madurez:  $K_c = 1.11$ . Se concluye que  $ET_a$  del cultivo de haba depende, entre otros aspectos, las condiciones climáticas, tipo y estado de desarrollo del cultivo. Se concluye que la metodología propuesta de  $ET_p$  mediante el uso de lisímetro superficial en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.), no es diferente de la información que se obtiene mediante el cálculo de  $ET_p$ , propuesto por: Hargreaves =  $0,0075 \times T \text{ } ^\circ\text{F} \times R_s \text{ (mm/día)} \times 1,2$  y FAO - CROPWAT., con 95% y 99% de probabilidad.

**Palabras claves:** evapotranspiración, lisimétrico superficial, requerimiento hídrico

## ABSTRACT

The present investigation was carried out in "Vista Hermosa Casa Blanca" Acobamba - Huancavelica, with the general objective being the following: Evaluate the parameters of water requirement of bean cultivation (*Vicia faba* L.), obtain the crop coefficients (Kc) of bean through the relation  $ET_a / ET_p$ . The research was exploratory and explanatory using the direct and quantitative deductive method, the results indicate that the rate of  $ET_p$  for the cultivation of bean conducted in superficial lysimeter is: Initial phase 1.51 mm / day; Development phase: 3.07 mm / day; Fruiting phase: 24.70 mm / day; Maturity phase: 18.38 mm / day, with a depth of 27.50 cm corresponding as optimum water table level for this type of study. The Kc coefficients calculated from the PTS data using the latitude factor MF of the bean crop in relation to the reference crop Rey grass, using the Hargreaves formula based on temperature and latitude factor MF made with the research for Acobamba conditions resulted in: Initial phase:  $K_c = 0.24$ ; Development phase:  $K_c = 0.55$ ; Fruiting phase:  $K_c = 1.87$ ; Maturity phase:  $K_c = 1.11$ . It is concluded that  $ET_a$  of the bean crop depends, among other aspects, on the climatic conditions, type and stage of development of the crop. It is concluded that the methodology proposed by  $ET_p$  through the use of a surface lysimeter in bean cultivation (*Vicia faba* L.) is not different from the information obtained through the calculation of  $ET_p$  proposed by: Hargreaves =  $0.0075 \times T^{\circ} F \times R_s$  (mm/day) x 1.2 and FAO - CROPWAT. with 95% and 99% probability.

**Keys words:** evapotranspiration, surface lysimetric, water requirement

## INTRODUCCIÓN

La producción agrícola bajo riego a nivel de toda la sierra peruana manifiesta variaciones sustanciales en cuanto a rendimiento por área cultivada, en la provincia de Acobamba - Huancavelica las unidades productivas empresariales manifiestan rendimientos pobres y distantes del promedio nacional, sin embargo estos podrían incrementarse con buenas prácticas agrícolas y, mediante cálculos de requerimientos de demanda de agua de los cultivos realistas al plantearse proyectos de riego en esta parte del país. Los diferentes factores de la producción agrícola a fin de incrementar las cosechas son cada vez más estudiados y/o controlados por el hombre sin embargo aún son insuficientes tal es así que el proceso de reconversión productiva agrícola para el incremento de la producción y productividad agrícola se ha convertido en la actualidad en una necesidad prioritaria que pueda reflejar mejores cosechas de los diferentes cultivos a fin de mejorar las actuales condiciones productivas para que la población satisfaga sus necesidades de alimentación y por ende el desarrollo económico de las familias, el desarrollo social de los involucrados como estrategia de un modelo de desarrollo integral de los territorios rurales.

Es por esta razón que teniendo conocimiento que el cultivo de haba es un componente imprescindible de la cedula de cultivo en esta zona y, contando con poca información referido a la evapotranspiración en lisímetro superficial considerando que esta información es de importancia para el cálculo del manejo de riego, la presente investigación trata del “Evaluación de la Evapotranspiración Potencial ETp, del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), en lisímetro superficial en el Distrito y Provincia de Acobamba Huancavelica.” Siendo el objetivo general: Evaluar los parámetros de requerimiento hídrico del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), obtenido mediante estudio lisimétrico en Acobamba Huancavelica y, los objetivos específicos: comparar entre lisímetros para las condiciones ambientales del territorio geográfico del distrito y provincia de Acobamba, las tasas de evapotranspiración potencial (ETp) reportados para otras latitudes, obtener los coeficientes de cultivo (Kc) de haba a través de la relación  $ETa/ETp$ ., determinar el consumo de agua o lámina de riego que debe aplicarse durante todo el ciclo vegetativo para el cultivo objeto de estudio como es el

caso del haba, establecer la demanda de agua para el riego de haba y comprobar la relación existente entre la producción de haba y el volumen de agua consumida y mediante estudio en lisímetro en las condiciones de Acobamba y, finalmente llegar a otros corolarios que puestos en práctica favorezcan a acrecentar la producción del cultivo de haba y, sea útil a la comunidad académica y científica de la región Huancavelicana, además de investigadores, ingenieros agrónomos, graduando en el campo de las ciencias agrarias y nuestros hermanos agricultores.



# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

El uso del agua en los sistemas de cultivos agrícolas también conocido como manejo de agua para riego sea del tipo tradicional como el tipo tecnificado, requiere de acciones previas de estimaciones de los volúmenes requerido para el efectuar los riegos de los cultivos, lo cual nos conduce a que se tiene que conocer con precisión el uso adecuado del recurso agua. A pesar de no contarse con suficiente disponibilidad de los recursos hídricos a nivel de la provincia de Acobamba, se le ha dado poca importancia tanto por las autoridades de turno como por los profesionales involucrados en realizar investigación no se han ejecutado o llevado a cabo estudios sobre la determinación de los requerimientos de riego bajo las condiciones geográficas adversas para desarrollar agricultura, como el clima y suelo. A pesar que a nivel de Acobamba se tiene en pie un proyecto de inversión para la irrigación, sueño desde muchas décadas, se hace difícil el dimensionamiento de los sistemas de riego, el cual resulta en solo conocer errores que pueden ser significativos al momento de realizar o estimar el cálculo de los requerimientos de agua para los diferentes cultivos en nuestras condiciones, entre los que se encuentra el caso del cultivo de habas y otros cultivos andinos ya que presentan particularidades en sus dinámicas relacionadas al sistema de relación de agua-suelo-planta-atmósfera. Adicionalmente, el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) de haba son raramente disponibles a nivel de estudios en pisos ecológicos similares de la sierra peruana y, su sensibilidad y respuesta a la adición de agua no ha sido numéricamente definida.

El cultivo de haba (*Vicia faba* L.), económicamente es un cultivo importante para los agricultores de Acobamba que en las condiciones locales indica un cultivo bien adaptado a ambientes de baja disponibilidad de agua y a variaciones intensas de la temperatura. Sin embargo, para las condiciones de la sierra las necesidades hídricas para un sistema de riego para las habas aún no han sido determinadas, tampoco se han determinado la curva de sensibilidad o estrés al

déficit o carencia hídrica, el cual nos da luces para realizar propuestas sobre el adecuado y eficiente manejo de los escasos recursos hídricos que se disponen a nivel del territorio de Acobamba en sistemas de riego.

Para calcular los requerimientos de riego de cualquier cultivo bajo las condiciones prevalentes de lluvia de una localidad dada, se debe: determinar la demanda de agua mantenido a niveles óptimos (ETa) y, la demanda del cultivo de referencia (ETp) con la finalidad de calcular el coeficiente de uso consuntivo in situ y no utilizar información obtenida en otras latitudes que conlleva a casos errores para calcular la evapotranspiración cultivo (ETa) que relacionados con la precipitación confiable o dependiente (PD), no permite obtener los requerimientos netos de riego del cultivo; la inexactitud del cálculo con estos pasos hace que los valores determinados de la demanda de agua de riego sean deficientes, resultando en un sobre o sub dimensionamiento de los sistemas de riego. Por ello, percibimos estimar mediante estudios especiales la necesidad de determinar y contar con un método aceptable y concordante con las normas técnicas para calcular las necesidades de riego para el cultivo del haba y de otros, pero en las condiciones ambientales locales, es decir de Acobamba, que a pesar de contar con una estación meteorológica de SENAMHI no se dispone y no se encuentra disponible los datos meteorológicos muy importantes para tomar decisiones en la actividad agrícola y entre ellos el uso o requerimientos de agua del cultivo.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles son las diferencias de la utilización de parámetros de riego de otras latitudes en la determinación de la demanda de agua de riego del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en condiciones de Acobamba Huancavelica?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar los parámetros de requerimiento hídrico del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), obtenido mediante estudio lisimétrico superficial en Acobamba Huancavelica.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a. Comparar entre sí, para las condiciones locales, las tasas de evapotranspiración potencial (ETp) obtenido en otras latitudes y mediante lisímetro en Acobamba.
- b. Obtener los coeficientes de cultivo (Kc) de haba a través de la relación  $ET_a / ET_p$ .
- c. Determinar la lámina de riego a aplicar durante todo el periodo vegetativo para el cultivo agrícola de haba en las condiciones de Acobamba, Huancavelica.
- d. Establecer la demanda volumétrica de agua para el riego de haba en Acobamba Huancavelica.
- e. Comprobar la relación existente entre la producción de haba y el volumen de agua consumida.

## **1.4. Justificación e importancia**

### **1.4.1. Científico:**

La investigación busca obtener información local de necesidades hídricas referidas a la evapotranspiración potencial del cultivo de haba mediante lisímetro controlado orientada de forma íntegra a solucionar problemas directos de la demanda de agua para uso en la formulación de proyectos de riego, puesto que la información referida a las necesidades hídricas de los cultivos son tomados actualmente de otras latitudes y, longitudes de nuestro planeta lo cual, conlleva a cometer casos errores en el cálculo de demanda de agua, programación de riego y elaborar cédulas de cultivo en doble campaña de producción cuyo resultado erróneo se manifiestan de manera categórica en la fase de diseño de la infraestructura mayor y menor del sistema de riego y operatividad futura del proyecto generando conflictos sociales serios entre los usuarios del sistema puesto que la dotación asignada por turno de riego resulta en su mayoría insuficiente para cubrir el riego racional y uniforme de la propiedad. El presente trabajo de investigación busco mediante una tecnología productiva sencilla del cultivo de haba conducido en un lisímetro superficial determinar el Uso Consuntivo del cultivo “Kc” in situ lo cual en el futuro se

constituya en una importante fuente del saber científico que debe ser incentivado, validado y sistematizado para su difusión en el planteamiento correcto de proyectos de riego.

#### **1.4.2. Social:**

La ejecución de la tesis corresponde a un trabajo de investigación científico, que permitió obtener datos de evapotranspiración potencial y coeficientes de cultivo ( $K_c$ ), verídicos del cultivo de haba para ser utilizados en lugares parecidos a la propuesta, ésta información es importante para el diseño agronómico de los sistemas de riego que permitan ampliar la frontera agrícola bajo riego de manera adecuada, confiable, certificada y, con ello brindar estabilidad, bienestar individual, familiar; mayor participación social y comunitaria de las organizaciones de usuarios de riego, rescatando y revalorando los valores ancestrales, finalmente, se promueven la capacitación y la creatividad del agricultor en las actividades agrícolas y especialmente tecnología de riego.

#### **1.4.3. Económico:**

El conocimiento adecuado de la evapotranspiración potencial del cultivo de haba permite una adecuada estimación del uso consuntivo del cultivo información que, a su vez afirma planificar una programación adecuada de riego del cultivo de haba, consecuentemente obtener mejores cosechas y créditos económicos en beneficio de las unidades productivas.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 1.5. Antecedentes de la investigación

##### 1.5.1. Nivel Internacional

Tras realizar el estudio “Determinación potencial (ETP) y de referencia (ETO) como indicador del balance hídrico del corazón agrícola de México”. Se llama Corazón agrícola de México a Sinaloa el objetivo de este trabajo fue conocer la dinámica de precipitaciones y determinar las evapotranspiraciones (potencial y de referencia), ya que son la fuente de recarga del acuífero del Río Sinaloa, el cual, es el motor de vida del sector agropecuario. Se utilizó el método de Thornwaite para la evapotranspiración potencial y el de Hargreaves para la de referencia. Los resultados muestran que los valores mayores de Evapotranspiración se registraron en la zona costera de Playa Las Glorias, así como también en las comunidades de La Entrada, El Cubilete y Laguna de Huyaqui con valores de 782 hasta 795.10 mm año<sup>-1</sup>. Se observa que los valores mínimos se presentaron en enero y diciembre con magnitudes de 4.16 mm día<sup>-1</sup> en la estación de Guasave y 4.21 mm día<sup>-1</sup> en la estación de Ruiz Cortines. Los valores máximos correspondieron a los meses de mayo y junio respectivamente con valores de 5.38 mm día<sup>-1</sup> en la estación de Casa Blanca y 5.21 mm día<sup>-1</sup> en la estación de Ruiz Cortines. La evapotranspiración es uno de los parámetros más importantes para conocer el comportamiento del balance hídrico, por tal, mediante este trabajo se proporciona información para el conocimiento de otros parámetros hidrogeológicos de interés particular (Llanes, Norzagaray, & Muñoz, 2014, p. 119 - 129).

Al realizarse el estudio “Evapotranspiración máxima del cultivo de quinua por lisímetro y su relación con la evapotranspiración potencial en el altiplano Boliviano” , cuyo objetivo fue determinar la evapotranspiración máxima (ETM) del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) mediante lisímetro de drenaje en Patacamaya, además de compara entre sí las tasas de evapotranspiración potencial (ETP) a partir de formulas basados en datos

meteorológicos. La metodología empleada en la determinación de la ETM por lisímetros de drenaje metálicos de 4 m<sup>2</sup> de superficie y 1 m de profundidad, instalados en el medio de una parcela de 1000 m<sup>2</sup> de quinua bajo riego, una sonda de neutrones y equipo de riego por surco. Se obtuvo como resultados concluyentes: LA evapotranspiración máxima (ETM) del cultivo de quinua variedad “sajama amarantiforme” por lisimetría en el Altiplano Central de Bolivia fue de 3.64 mm/día, con valores que evolucionan de acuerdo al desarrollo fenológico del cultivo, alcanzando sus más altos niveles durante la floración e inicio de grano lechosos con 4.54 y 4.71 mm/día. La ETM total acumulada a los 134 días fue de 488 mm. La evapotranspiración potencial (ETP) promedio anual para la zona de estudio según la fórmula de Penmann fue de 3.40 mm/día con su equivalente de 1241 mm/año. La fórmula empírica que mejor se aproximó a la Penmann fue la de Blaney Criddle original, en tanto que la menor precisa fue la de Thornthwaite que llegó a subestimar la ETP en 54% respecto a Penmann. El coeficiente de cultivo (kc) de la quinua fue de 0.87 promedio estacional, con valores que evolucionan de acuerdo al desarrollo fenológico del cultivo alcanzando sus más altos niveles durante la floración e inicio de grano lechoso con 1.08 y 1.14 respectivamente (Choquecallata, Vacher, Fellmann, & Imaña, 1992, p. 63 - 67).

### **1.5.2. Nivel Nacional**

En el estudio sobre el diseño y evaluación económica de un campo agrícola experimental para la aplicación de riego por el sistema de goteo para el cultivo agrícola de Melocotón en el Fundo experimental Cañasbamba de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. En el que se planteó como objetivo de estudio optimizar el uso del recurso agua. Se reporta como parte de los resultados alcanzados: la necesidad total de agua de riego que necesita cada planta melocotón fue de 3.83 mm/día. Asimismo, se concluye que el valor estimado fue muy útil para determinar el caudal hídrico necesario para atender con el sistema de riego a la totalidad de las plantas. Los conocimientos agronómicos identificados en el campo permitieron conocer la característica y la composición natural del suelo, es decir, se pudo ver como se relaciona el

suelo con el agua y además los fenómenos naturales que se producen en los cultivos permiten y garantizan que los cultivos presenten una necesidad casi constante en el consumo o demanda del recurso agua, asimismo, forman parte de los conocimientos hidráulicos que contribuido necesariamente desde el punto de vista positivo para realizar en forma eficiente la estimación del cálculo hidráulico en dicho proyecto. La programación formulada para la implementación del sistema de riego tecnificado por goteo para el caso del cultivo de Melocotón, consistió en aplicar riego hídrico focalizado para cada 10 horas en un volumen de 597 litros de agua /planta regada. La frecuencia de riego fue a razón de 9 días. Tras evaluar la Viabilidad Económica del proyecto se logró definir como económicamente viable, en consideración que el proyecto ofrecería beneficio y rentabilidad a momento de su ejecución y como también en el proceso de implementación y conducción del proyecto, con el cual se demuestra mediante resultados que los Indicadores Económicos revisados y evaluados con una tasa de actualización (i) del 14%, que tiene como resumen las siguientes ecuaciones y resultados: Razón Beneficio/Costo (B/C) = 2.48 > 1.00. Valor Actual Neto (VAN) = 235,098.29 > 0.00. Tasa Interna de Retorno (TIR) = 25.74% > 14.00% (Solorzano & Mejía, 2013, p. 8).

### **1.5.3. Nivel Local**

Se realizó el trabajo de investigación titulado Evaluación de la evapotranspiración potencial del cultivo de arveja con tres capas freáticas, que tuvo por objetivo de estudiar la evapotranspiración potencial del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.) y establecer el canon de evapotranspiración potencial para las condiciones locales de Acobamba con tres capas freáticas. En el estudio se hizo uso del Diseño Experimental: Bloques Completamente Randomizados, de 3 x 3, es decir tres repeticiones y tres tratamientos, asimismo se utilizó en el estudio los lisímetros como instrumentos experimentales, asimismo, se realizó la siembra en el borde del campo experimental con el cultivo de arveja con la finalidad de disminuir el efecto borde en las plantas del experimento, durante todo el proceso de estudio se realizó pruebas de contrastación con los datos referidos a los volúmenes de agua aplicados en cada

lisímetro experimental en función a las diferentes capas freáticas establecidas en el estudio. Se obtuvieron como resultados relevantes del experimento so siguientes: sobre el nivel óptimo de altura y profundidad de la napa freática para realizar los cálculos de riego se trabajó a una profundidad de 0.25 m de capa freática, la tasa estimada de la evapotranspiración potencial fue: en la fase inicial  $107.78 \text{ m}^3 / \text{ha}^{-1}$ ; en la siguiente fase de desarrollo:  $323.48 \text{ m}^3 / \text{ha}^{-1}$ ; posteriormente en la fase de la fructificación de las plantas:  $574.92 \text{ m}^3 / \text{ha}^{-1}$ ; asimismo en la fase de madurez:  $574.92 \text{ m}^3 / \text{ha}^{-1}$ . Por otra parte, los coeficientes de consumo del cultivo estimados fueron: en la fase inicial:  $K_c = 0.536$ ; también en la fase de desarrollo:  $K_c = 1.442$ ; asimismo en la fase de fructificación:  $K_c = 1.642$ ; finalmente en la fase de madurez:  $K_c = 0.692$ . La demanda estimada del recurso agua para el sistema de riego para el cultivo de arveja variedad Usui en las condiciones geográficas de Acobamba fue: fase inicial:  $121.43 \text{ m}^3 / \text{ha}^{-1}$ ; fase de desarrollo:  $285.88 \text{ m}^3 / \text{ha}^{-1}$ ; fase de fructificación:  $348.07 \text{ m}^3 / \text{ha}^{-1}$ ; fase de madurez:  $169.17 \text{ m}^3 / \text{ha}^{-1}$  (Cordero, 2017, p. 11).

Tras realizar el “Estudio de la Evapotranspiración potencial ETp del cultivo de haba (*Vicia faba* L) con tres niveles de capa freática en la provincia y distrito de Acobamba – Huancavelica” que tuvo por objetivo estudiar la evapotranspiración potencial del cultivo de haba y determinar la tasa de evapotranspiración poptencial para las condiciones locales, así como determinar el nivel óptimo de capa freática y compara las exigencias de agua para establecer las demandas de riego en periodos de mayor necesidad. El investigador hizo uso del diseño experimental de Bloques Completamente Randomizados del tipo 3 x 3, es decir consistente en tres tratamientos y tres repeticiones, se tuilizaron lisímetros superficiales. Culminado el estidio se reporta como resultados relevantes del estudio: el nivel óptimo de profundidad de la capa freática para el cultivo estudiado que fue el haba en las geografías de Acobamba, con los cuales se procedieron estimar los cálculos del recurso hídrico para el sistema tecnificado de riego, todos se presentaron a una profundidad estándar de 0.25m de capa freática y la tasa aplicada para la evapotranspiración potencial fueron: para la fase inicial  $107,291 \text{ m}^3/\text{ha}$ ;

mientras que en la fase de desarrollo: 252,604 m<sup>3</sup>/ha; asimismo, para la fase de fructificación: 307,552 m<sup>3</sup>/ha; de igual forma para la fase de madurez del cultivo: 149,479 m<sup>3</sup>/ha. Asimismo, los coeficientes de consumo hídrico del cultivo calculados para la zona climática de Acobamba fueron: para la fase inicial:  $K_c = 0.363$ ; en la siguiente fase de desarrollo:  $K_c = 0.735$ ; para la posterior fase de fructificación:  $K_c = 0.844$ ; y finalmente para la fase de madurez:  $K_c = 0.443$ . Por otro lado, la demanda de agua para riego del cultivo de haba variedad (Pacae jaspeado) en Acobamba Huancavelica es Fase inicial: 121.429 m<sup>3</sup>/ha; Fase de desarrollo: 285.889 m<sup>3</sup>/ha; Fase de fructificación: 348.077 m<sup>3</sup>/ha; Fase de madurez: 169.1175 m<sup>3</sup>/ha (Jaime, 2014, p. 9).

## **1.6. Bases teóricas**

### **1.6.1. Necesidad de agua de los cultivos**

Todos los cultivos agrícolas presentan requerimientos o necesidades particulares de agua para cumplir óptimamente con sus procesos fisiológicos en sus diferentes etapas de desarrollo de la planta, será menor en los primeros estadios y mayor en las siguientes como en las etapas de floración, fructificación y madurez. La programación de los sistemas de riegos para los cultivos agrícola en tiempo real; reportan que los riegos deben permitir determinar los momentos de aplicación del riego, para encontrar las precisiones es muy pertinente e imprescindible conocer en primer lugar las características del proceso de desarrollo y crecimiento del cultivo, asimismo, las características naturales entre ellas las físicas del suelo y las condiciones climáticas del territorio o zona en el que se instalará el cultivo. Puede ser una herramienta para conseguir diversos objetivos, como conseguir la máxima producción, mejorar la calidad de los productos, desarrollar todo el potencial de la instalación del sistema de riego, ahorrar abonos, reducir la contaminación ambiental, etc. Además, en regiones como Andalucía, con recursos hídricos escasos, el uso eficiente del agua deberá ser siempre un objetivo a conseguir. La cantidad de agua que supone la transpiración y la evaporación suele considerarse de forma conjunta simplemente porque es muy difícil calcularla por separado. Por lo tanto, se considera que las necesidades de agua de los

cultivos están representadas por la suma de la evaporación directa de agua desde el suelo más la transpiración de las plantas, en lo que se denomina evapotranspiración (ET). La evapotranspiración suele expresarse en milímetros de altura de agua evapotranspirada en cada día (mm/día) y es una cantidad que variará según el clima y el cultivo. Con relación a la Evapotranspiración de referencia expresa que para poder calcular la evapotranspiración (ET) se parte de un sistema ideado para este fin, consistente en medir el consumo de agua de una parcela de unas medidas concretas sembrada de hierba, con una altura de unos 10-15 centímetros, sin falta de agua y en pleno crecimiento, donde se ha colocado un instrumento de medida. Al dato obtenido se le denomina evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>). Como el cultivo es siempre el mismo, será mayor o menor según sean las condiciones del clima (radiación solar, temperatura, humedad, viento, etc.) y del entorno (según se mida en el exterior o dentro de invernadero). Con frecuencia, la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) no está dentro de las posibilidades del regante, que para obtenerla deberá recurrir a información proporcionada por entidades públicas o asociativas, centros de investigación y experimentación, etc. En relación a Programación y calendarios medios de riego infiere que las estrategias de riego son unos criterios generales, que se concretan elaborando un calendario medio de riegos en el que se precisa el momento del riego y la cantidad de agua que se aplica en cada uno de ellos. Contando con datos del cultivo, suelo y clima, se puede establecer un calendario medio de riegos asumiendo el caso más simple, en el que se supone que la lluvia es nula durante el ciclo del cultivo y que los valores de evapotranspiración de referencia son los de la media de los últimos años, lo que suele producirse en cultivos de primavera - verano en zonas semiáridas. Para ello es preciso contar con datos de:

- Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) en la zona.
- Coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) del cultivo a regar en distintas fases de desarrollo de éste.
- Profundidad radicular media en distintas fases del cultivo.
- Intervalo de humedad disponible del suelo.

- Nivel de agotamiento permisible para el cultivo en cuestión.
- Datos diversos del sistema de riego como por ejemplo la eficiencia.

Deberá elegirse una estrategia para determinar el criterio con el cual se calculará el momento de efectuar el riego. Usando parte de los datos anteriormente citados se calcularán el Déficit de agua en el suelo y el Nivel de agotamiento permisible que indicarán el momento de riego, mientras que la cantidad de agua a aplicar dependerá del criterio elegido, aunque lo más frecuente es que se apliquen las necesidades brutas. Con relación a los métodos de determinación de la evapotranspiración Potencial (Junta de Andalucía, 2017, p. 68).

Finalmente, la condición de humedad del suelo es un factor que también es decisivo en la magnitud del proceso, pues constituye la fuente de suministro hídrico, tanto para la transpiración vegetal como para la evaporación directa del agua del suelo. La distinta consideración de los factores que inciden en el proceso ha permitido el desarrollo de una serie de conceptos de gran importancia en el estudio y determinación de la evapotranspiración (Sánchez, 1999 y 2000). La noción de evapotranspiración potencial,  $ET_p$ , considera que el proceso sólo está controlado por las condiciones climáticas; en este caso, la  $ET_p$  se define como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones y en el supuesto caso de no existir limitaciones en el suministro de agua. Más tarde se introdujo la idea de evapotranspiración del cultivo de referencia,  $ET_o$ , muy similar al anterior al depender exclusivamente de las condiciones climáticas o meteorológicas, según el caso, pero distinto en la medida en que se considera un cultivo específico, estándar o de referencia, habitualmente gramínea o alfalfa (Doorenbos y Pruitt, 1990). Sin embargo, aclara que, la evapotranspiración que efectivamente ocurre es distinta a los límites máximos considerados en los conceptos anteriores, dado que en el proceso intervienen también las características de la vegetación y especialmente la humedad disponible en el suelo, factor que puede favorecer o limitar la intensidad, esta es la evapotranspiración que ocurre en las condiciones reales del terreno que se conoce como evapotranspiración real,

ETR. Menciona así mismo con relación a los métodos de estimación de evapotranspiración o métodos indirectos que a pesar de que los métodos directos son más precisos para determinar la evapotranspiración, éstos son difíciles de aplicar por las razones señaladas en el apartado inmediatamente anterior, por ello lo más común en estudios de grandes áreas (región o país en nuestro caso) es utilizar diversas fórmulas, ecuaciones o modelos basados en diferentes variables meteorológicas o climáticas de fácil disposición a partir de la red de estaciones meteorológicas convencionales. Los métodos *indirectos* son los más utilizados en los estudios geográficos y medioambientales. Se trata por lo general de simplificaciones de algunos de los métodos directos ya señalados, que a través de correlaciones entre medidas obtenidas por aquéllos y medidas de una o más variables climáticas o meteorológicas han permitido derivar fórmulas empíricas para estimar la capacidad evaporativa de un ambiente determinado. Generalmente la calibración de estos métodos se hace con mediciones realizadas con lisímetros o en parcelas experimentales. Se han propuesto cientos de ecuaciones empíricas, muy variables en cuanto a complejidad, lo que determina que los datos necesarios para aplicarlas sean de disposición también variable. Los datos requeridos son habitualmente proporcionados por estaciones meteorológicas completas. Los métodos indirectos se han empleado en todo el mundo para caracterizar grandes áreas. El período más habitual para el cual se realizan los cálculos de evapotranspiración con estos métodos ha sido tradicionalmente el anual y el mensual, en estudios geográficos o de carácter climático general; sin embargo, en la actualidad y con fines más bien agronómicos, forestales o hidrológicos aplicados, en términos generales de uso racional del agua, están ganando importancia los métodos aplicados a períodos diarios y horarios. Los métodos de estimación son empleados para determinar la evapotranspiración en sus límites máximos o potenciales, tal como es determinado por los conceptos de  $ET_p$  o  $ET_o$ , antes definidos, pero también entregan una aproximación sobre la magnitud efectiva o real del proceso, lo cual es considerado por el concepto de  $ET_r$ . Para determinar la  $ET_r$  con estos métodos, las características propias del cultivo y de humedad del suelo quedan incorporadas a través de la aplicación

de coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) con los cuales se ponderan los valores de  $ET_p$  o  $ET_o$  obtenidos. Este autor concluye su investigación afirmando que los métodos utilizados en los estudios consultados difieren según la disciplina que los realiza; en aquellos de carácter agronómico o forestal se emplean métodos de medición directa; mientras que los estudios que consideran áreas extensas utilizan métodos de estimación. Estos últimos entregan datos menos precisos, comparados con los métodos anteriores, pero de mayores posibilidades de uso dado que requieren como datos básicos de entrada, los proporcionados por observatorios meteorológicos o agroclimáticos. Son en general muy simples de aplicar y han llegado a ser los más utilizados en estudios climáticos, geográficos e hidrológico (Junta de Andalucía, 2017, p. 68).

## **1.7. Evapotranspiración**

En la Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos referido a la Evapotranspiración del cultivo menciona que la evapotranspiración (ET) es una combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo, complementa que la evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. Agrega así mismo con respecto a la Evaporación que este es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada, por lo que infiere que para cambiar el estado de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere

energía. La radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera circundante. A medida que ocurre la evaporación, el aire circundante se satura gradualmente y el proceso se vuelve cada vez más lento hasta detenerse completamente si el aire mojado circundante no se transfiere a la atmósfera o en otras palabras no se retira de alrededor de la hoja. El reemplazo del aire saturado por un aire más seco depende grandemente de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento son parámetros climatológicos a considerar al evaluar el proceso de la evaporación (FAO, 1990, p. 322).

## **1.8. Uso consuntivo**

Referido a estudios de uso consuntivo menciona que entre los años de 1980 y 1986, y en el marco de las acciones del Convenio Instituto de Investigación y Promoción Agraria – Proyecto Especial de Pequeñas y Medianas Irrigaciones (INIPA-PEPENMAN - MONTEITHI), se desarrolló un programa de investigación que buscó contribuir al mejoramiento de la práctica de riego en el país, principalmente en la sierra, mejorar la planificación agrícola, apoyar el desarrollo eficiente de las infraestructuras de riego y la planificación de sistemas mejorados (goteo, aspersión, etc.), tanto a nivel de fundos como de parcelas. Uno de los objetivos específicos del programa fue determinar el coeficiente de uso consuntivo ( $K_c$ ) de los principales cultivos de la sierra: papa, maíz, trigo, arvejas, habas y hortalizas. Los trabajos se efectuaron bajo condiciones del valle del Mantaro, cuya ejecución estuvo a cargo del CIPA XII (hoy INIA) Estación Experimental Huancayo y el Plan MERIS I (institución desactivada), infiere así mismo que los coeficientes de Uso consuntivo ( $K_c$ ), son datos muy valiosos que se usan para determinar la posible área de riego, de un proyecto, de una finca, etc. sobre la base de un volumen disponible de agua. Sus aplicaciones son múltiples, y se listan a continuación.

- Permite elaborar calendarios de riego para los cultivos, fijar láminas e intervalos de riego en función de la eficiencia de riego. Esto permite apoyar la planificación de cultivos y riegos por cultivos.
- En el caso de agua de riego con alto contenido de sales en solución, el uso consuntivo permite determinar las láminas de sobre riego, necesarias para prevenir problemas de salinización de los suelos.
- Estimar los volúmenes adicionales de agua que serán necesarios aplicar a los cultivos en el caso que la lluvia no aporte la cantidad suficiente de agua.
- Determinar en grandes áreas (cuencas) los posibles volúmenes de agua en exceso a drenar.
- Determinar en forma general la eficiencia con la que se está aprovechando el agua y por lo mismo, planificar debidamente el mejoramiento y superación de todo el conjunto de elementos que intervienen en el desarrollo de un distrito de riego.

Con relación a trabajos de investigación sobre el mismo tema el autor describe que los trabajos de investigación necesarios para determinar el coeficiente de uso consuntivo del agua en los Andes Centrales Peruanos se realizaron durante siete años (1980-1986) y en tres campañas para cada cultivo; a excepción del trigo, espinaca y acelga, ya que dichos cultivos sólo se trabajaron durante dos campañas. Estos trabajos se llevaron a cabo en dos zonas específicas: los campos de la Estación Experimental Santa Ana, ubicados en la localidad de Hualaoyo, provincia de Huancayo, Departamento de Junín, y en el Centro Demostrativo del Sub-Proyecto “La Huaycha” MERIS-I (desactivado), ubicado en el mismo departamento. La estación Experimental, se encuentra a unos 5 Kilómetros de la ciudad de Huancayo por la margen izquierda del río Mantaro, a una altitud de 3.313 msnm, Latitud de 12°02'18.1" S y Longitud de 75°19'22" W. El Centro Demostrativo se encuentra a 11 Kilómetros de la ciudad de Huancayo por la margen derecha en el Distrito de Orcotuna, ubicado a una altitud de 3238 msnm, Latitud de 11°56'00"S y Longitud 75°20'00"W. Ambos lugares se caracterizan por presentar temperaturas que fluctúan desde -8°C hasta 20°C, con una media de 12°C, y vientos ligeros durante el día y calmados durante la noche. Las

precipitaciones varían de 500 a 800 mm anuales, concentrándose éstas en los meses de diciembre, enero y febrero. Esta zona presenta humedad relativa de 56 a 77%, alta insolación (7- 10 horas al día) y evaporación promedio de 5,7 mm/día. Finalmente, en la Tabla 1 se presentan los diferentes valores del coeficiente de uso consuntivo (Kc) determinados por el método lisimétrico, para los cultivos propios del área de riego del valle del Mantaro. Todos los cultivos fueron manejados casi en un 90% en la campaña mayo- diciembre de cada año, evitando de esta manera la influencia que pudieron tener las lluvias, las mismas que se presentan en mayor intensidad durante los meses de diciembre a febrero (Garay, 2009, p. 34).

Tabla 1. Coeficiente de uso consuntivo (Kc\*) de los principales cultivos de los Andes centrales del Perú, determinados para variar etapas de crecimiento

Cultivos	Días desde siembra hasta cosecha														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Papa	0.18	0.23	0.30	0.40	0.53	0.70	0.84	0.94	1.01	1.05	1.07	1.04	0.95	0.80	0.50
Maíz choclo	0.26	0.30	0.35	0.42	0.51	0.62	0.73	0.83	0.91	0.97	1.01	1.02	1.00	0.93	0.80
Haba verde	0.24	0.30	0.36	0.44	0.54	0.67	0.77	0.86	0.93	0.96	0.99	1.00	0.96	0.88	0.76
Arveja verde	0.30	0.34	0.40	0.48	0.60	0.71	0.80	0.87	0.93	0.96	0.97	0.97	0.94	0.86	0.77
Trigo *	0.25	0.36	0.50	0.65	0.78	0.90	0.98	1.04	1.09	1.11	1.12	1.08	0.98	0.94	0.51
Col	0.18	0.23	0.31	0.41	0.53	0.66	0.76	0.85	0.93	0.96	0.98	0.97	0.94	0.85	0.72
Acelga (*)	0.17	0.21	0.28	0.38	0.51	0.64	0.82	0.91	0.97	1.01	1.02	0.99	0.91	0.78	
Cebolla	0.28	0.34	0.42	0.52	0.62	0.71	0.78	0.84	0.84	0.91	0.92	0.92	0.90	0.85	0.74
Espinaca(*)	0.18	0.22	0.32	0.48	0.71	0.92	1.04	1.06	1.06	0.94	0.73				
Lechuga	0.21	0.28	0.37	0.50	0.67	0.82	0.91	0.96	0.96	0.91	0.79				
Zanahoria	0.34	0.41	0.51	0.60	0.70	0.81	0.90	0.97	1.03	1.07	1.09	1.09	0.96	0.96	0.80

Kc (\*) Obtenido en base a dos campañas. Fuente (Garay 2009).

Las condiciones estándar de los cultivos son: que se desarrollen en campos extensos, bajo condiciones agronómicas excelentes y sin limitaciones de humedad en el suelo. La evapotranspiración de un cultivo será diferente a la del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) en la medida en que sus características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran de las correspondientes al pasto. Los efectos de las características que distinguen al

cultivo del pasto están incorporados en el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ). En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando  $E_{To}$  por  $K_c$  (Garay, 2009, p. 32).

## **1.9. Lisímetro**

Los lisímetros son aparatos que permiten medir la evapotranspiración de los cultivos que están dentro de ellos. Estos consisten en un sistema de suelo aislado con un cultivo en este sistema, incide aún más al mencionar que “Los lisímetros son los métodos más adecuados para medir directamente el ritmo de evapotranspiración”, con relación a lisímetros de nivel freático constante refiere que este consiste en un tanque con suelo en el que se mantiene el nivel freático constante en el suelo por medio de un reservorio que provee el agua a este tanque, al ritmo que se va utilizando por evapotranspiración (Salazar, 1979, p. 144).

## **1.10. Cultivo de haba**

### **1.10.1. Origen e historia**

El cultivo de haba se considera originaria de Asia Central, Mediterráneo y Abisinia. Muchos la consideran originaria de Europa donde se le cultiva desde tiempos pre históricos y como centro secundario el norte de África donde se encuentra ampliamente distribuido. Cristóbal Colón en su segundo viaje trajo a América este cultivo, siendo sembrado en las Antillas, no prosperando dado a las diferencias ambientales de su lugar de origen. Con la conquista los españoles la introdujeron en la Sierra del Perú, donde por las condiciones favorables el cultivo alcanzó difundirse. Al inicio se cultivó una gran variabilidad de formas, las cuales fueron seleccionadas de manera natural, quedando descartadas las que no se adaptaron al medio. Aparecieron nuevos tipos y formas de haba, diferentes a las originales, las mismas que conforman una fuente valiosa de genes posibles de selección (Marmolejo & Suasnabar, 2000, p. 11 - 54).

## **1.11. Taxonomía de la planta**

**División** : Spermatophyta (Magnoliophyta), (Fanerógamas).

**Sub división** : Angiospermae (Magnoliophytina).

<b>Clase</b>	: Dicotyledoneae (Magnoliopsida).
<b>Sub clase</b>	: Archichlamideaeó (Coripetalas).
<b>Orden</b>	: Fabales (Leguminosales).
<b>Familia</b>	: Fabaceae (Leguminoceae).
<b>Género</b>	: Vicia.
<b>Especie</b>	: <i>Vicia faba</i> L. (Aliaga, 2004).

## 1.12. Morfología de la planta

El haba es una planta anual de porte más o menos erecto, que se describe a continuación:

### 1.12.1. Sistema de raíces:

La raíz principal es pivotante, la cual logra profundizar en el suelo en forma relativamente rápida. El sistema radicular es en definitiva bastante vigoroso, generándose largas raíces laterales a partir de la raíz pivotante; ésta puede alcanzar hasta 1m de profundidad, pero lo normal es que su crecimiento se produzca en los primeros 50 a 60 cm del suelo (Camarena, Chiape, Huaranga, & Mostacero, 2003, p. 25).

Asimismo, mencionan que en las raíces secundarias por lo general se forman los nódulos, donde se alojan las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico (Marmolejo & Suasnabar, 2000, p. 11 - 54).

### 1.12.2. Tallo principal y ramas:

Los tallos son erectos, robustos, huecos y pueden alcanzar hasta 2 m de altura, aunque lo normal es que ésta fluctúe entre 0.8 y 1.20 m. a partir de los nudos basales del tallo principal pueden originarse entre 01 hasta 05 ramas por planta; el número promedio depende fundamentalmente de la densidad de población, de la fertilidad del suelo y de la fecha de siembra, pero en general se aproxima a 03. La mayor parte de las ramas comienza su desarrollo tempranamente luego de ocurrida la emergencia, haciéndose visibles cuando el tallo principal presenta 03 hojas como promedio. Las ramas basales, que son en general bastante vigorosas, alcanzan un crecimiento que en muchos casos se asemeja al del tallo principal; las ramas basales aportan, en promedio, entre 50 y 70 % del total de las vainas producidas por una planta. Las ramas

al ir adquiriendo peso, en la medida que ocurre el llenado de granos, se van apartando del eje central, hasta llegar incluso a quebrarse. Esta situación dificulta, en mayor o menor medida, la labor de cosecha de las vainas (Camarena, Chiape, Huaranga, & Mostacero, 2003, p. 25).

Los tallos son erguidos, fistulosos y robustos (Marmolejo & Suasnabar, 2000, p. 11 - 54).

### **1.12.3. Los nudos vegetativos y reproductivos:**

El número de nudos vegetativos es normalmente de 05 a 07. El número promedio de nudos vegetativos en las ramas basales, en tanto, varía generalmente entre 03 y 04. Los nudos reproductivos; se producen en gran número, existiendo escasas diferencias entre la cantidad producida por el tallo principal y por cada rama basal; el promedio de nudos reproductivos por tallo, varía entre 12 y 18 (Camarena, Chiape, Huaranga, & Mostacero, 2003, p. 25).

### **1.12.4. Las hojas:**

Las hojas son compuestas, más o menos ovalados y de color verde grisáceo su disposición es alterna y no presenta zarcillos. Las hojas basales empiezan a morir durante la etapa de llenado de granos y esta situación continúa ocurriendo gradualmente en forma ascendente; la muerte se produce principalmente debido al sombreamiento que van sufriendo las hojas y a que las raíces van finalizando su actividad, a incrementos en la temperatura y a la presencia de *Botrytis fabae* (Camarena, Chiape, Huaranga, & Mostacero, 2003, p. 25).

Son compuestas pinnadas con 4 a 7 folíolos glabros de borde entero los que son casi siempre anchos, más o menos ovales, de color verde grisáceo; estípulas semisagitadas. El raquis es bien desarrollado y es considerado el eje mediano de la hoja; los folíolos se insertan casi directamente por la falta de peciolillo. La hoja se une al tallo por intermedio del pecíolo en el nudo del tallo. El pecíolo es bien diferenciado por su forma alargada. Las estípulas son apéndices que nacen en la base de la hoja, son semisagitadas y su finalidad es proteger las yemas (Marmolejo & Suasnabar, 2000, p. 11 -25).

### **1.12.5. Las flores e inflorescencia:**

Las flores del haba son grandes y se presentan dispuestas en inflorescencias que corresponden a cortos racimos. En una planta el número de flores por racimo alcanza un promedio que varía entre 03 y 04. Aunque la mayor parte de los racimos producen entre 03 y 05 flores, lo común es que se obtenga entre 00 y 02 vainas por nudo. En este sentido, en un 80 % o más de los nudos reproductivos se produce una caída (abscisión) total, ya sea de flores o vainas jóvenes; esta situación determina que el número promedio de vainas por nudo, a nivel de toda la planta, sea muy bajo. Los antecedentes señalados determinan que, si bien cada planta puede llegar a producir más de 300 flores, considerando un total de 80 a 100 nudos reproductivos totales por planta, el porcentaje de cuajado no supera en promedio 10 a 15 %. Por otra parte, debido al tipo de floración y a lo extenso del periodo vegetativo de la planta de haba, llega una etapa en que las plantas presentan simultáneamente crecimiento de tallos y hojas, apertura de flores, crecimiento de vainas y llenado de granos (Camarena, Chiape, Huarina, & Mostacero, 2003, p. 25).

La polinización en la planta de haba, ocurre en forma cruzada, pudiendo llegar incluso a valores tan altos como 70 %. El porcentaje dependerá en definitiva del cultivar, de las condiciones climáticas y de la población de insectos polinizadores. De cualquier forma, la polinización cruzada generalmente alcanza entre 30 y 50 %. Las inflorescencias, son de tipo racimoso de origen axial. Se origina en un pedúnculo desarrollado corto, seguido del raquis donde se insertan las flores por medio de los pedicelos, que son pedunculillos que sostiene a la flor, los que son muy pequeños. Las flores se insertan y penden de un solo costado del raquis. La flor, se origina en las axilas, agrupadas en racimos cortos, en número de 2 a 12 flores con un color particular, aunque no intenso. Corola dialipétala, con 5 pétalos desiguales, de color blanco o azulado, con manchas negras o pardas en las dos alas y rayas características de color pardo en el estandarte; la quilla que son 2 ligeramente coloreadas, cáliz glabro de color verde pálido, en forma de tubo y con 5 dientes. Hay 10 estambres, 9 de ellos soldados y sus filamentos forman un tubo que encierra

el pistilo, el décimo estambre permanece libre (diadelfos). Polinización cruzada en 60 a 30%, es llevada a cabo por abejas, los que afecta la pureza varietal (Marmolejo & Suasnabar, 2000, p. 11 - 54).

#### **1.12.6. Las etapas de floración:**

La floración se prolonga por un largo periodo (60 a 75 días en cultivos sembrados en fechas óptimas), las inflorescencias de los primeros nudos reproductivos tienen menos flores (03 a 04 por nudo), siendo lo normal, en siembras tempranas en que la floración ocurre con temperaturas aún muy bajas, que no prospere ninguna de ellas. A partir del tercer nudo reproductivo aumenta el número de flores y el cuajado se hace más probable. Summerfield *et al.* (1991) ya que se trata de una especie cuya floración se inicia más rápidamente en días largos, pero no es inhibida (carácter cualitativo) bajo días cortos, sino sólo retrasada (Camarena, Chiape, Huaranga, & Mostacero, 2003, p. 25).

#### **1.12.7. El fruto:**

Las vainas o legumbres corresponden a frutos, los cuales son rectas y carnosas en sus estados iniciales, la longitud de vainas, fluctúa aproximadamente entre 12 y 35 cm, el ancho de las vainas, varía entre 02 y 2.5 cm como promedio. El número de semillas por vaina, varía considerablemente según la posición que representen las vainas en los tallos. Así, las de los nudos inferiores logran producir un mayor número de semillas que las de los nudos superiores, se producen entre 02 y 05 semillas por vaina como promedio, con un máximo individual de hasta 07 semillas en las vainas inferiores y un mínimo de dos en las vainas ubicadas en los nudos productivos más altos. En los cultivares que producen semillas más grandes, se obtiene un promedio de 03 semillas por vaina (Camarena, Chiape, Huaranga, & Mostacero, 2003, p. 25).

Es una vaina o legumbre, gruesa, carnosa, alargada, con las semillas dispuestas en la hilera ventral. La dehiscencia se produce en las suturas dorsal y ventral, separándose éste en dos valvas o mitades. Las vainas son de color verde al estado tiernas y a la madurez se tornan coriáceas y de color negro. La disposición del fruto varía, desde erguidos formando un ángulo muy agudo

con el tallo, hasta colgantes. En longitud es variable dependiendo de las variedades y del ambiente desde 5 cm, hasta 30 a 40 cm, puede contener 2 a 6 semillas comprimidas o grandes de color y tamaño diferentes (Camarena, Chiape, Huaranga, & Mostacero, 2003, p. 25).

#### **1.12.8. La etapa de llenado de granos:**

En haba, a diferencia de otras leguminosas de grano, el crecimiento de vainas y granos se producen en forma simultánea; los granos inmaduros van incrementando su tamaño hasta alcanzar su madurez óptima para consumo en verde con una humedad de 72 a 74 % como promedio. El color de la cáscara es inicialmente verde, alcanzando en su estado de madurez para consumo en verde un color que usualmente es crema o verde grisáceo, aunque también puede ser verde relativamente brillante. Luego los granos, comienzan rápidamente a perder contenido de humedad, toman un color cada vez más opaco y menos verdoso. En los cultivares que producen granos de tamaño pequeño el peso de 100 granos varía entre 70 y 120 gr; en cultivares que producen granos de tamaño intermedio, el peso de 100 granos para consumo en verde varía entre 160 y 200 gr; por último, en los cultivares que producen granos de tamaño grande el peso de 100 granos al estado de madurez para consumo en verde es de 200 a 250 gr como promedio (Camarena, Chiape, Huaranga, & Mostacero, 2003, p. 25).

#### **1.12.9. Las semillas:**

Los cultivares de semillas pequeñas, 100 semillas secas pesan entre 30 y 70 gr. En los cultivares de semilla mediana, el peso de 100 semillas fluctúa entre 70 y 110 gr y en los cultivares de semilla grande, el peso de 100 semillas varía entre 120 y 180 gr. El color de las semillas secas, en tanto, puede ser crema, café, café púrpura, rojo, negro o verde plomizo (Camarena, Chiape, Huaranga, & Mostacero, 2003, p. 25).

Las semillas son de forma ovalada, de superficie lisa, opaca y brillante, de coloración muy variada que va desde colores oscuros hasta los claros; pudiendo ser negro, rojo, verde, morado, pardo, grisáceo, blanco-cremoso o blanco: también pueden ser jaspeados o de dos colores, como el caso de una

variedad “Jilguero de Sicuani”. El tamaño de la semilla varía desde pequeñas, con un largo de aproximadamente 1.6 cm en la sub-especie, hasta semillas grandes con un largo aproximado de 3.5 cm en la sub-especie mayor. El peso de 100 semillas varía desde 120 hasta 330 gramos, hiliun muy largo de color negro generalmente. Su energía germinativa es de 4 años aproximadamente. La semilla es de germinación hipogea. La testa y los cotiledones permanecen bajo tierra, esto no es frecuente puesto que los cotiledones de la mayoría de las plántulas afloran sobre la superficie de la tierra y adquieren un color verde (Camarena, Chiape, Huaranga, & Mostacero, 2003, p. 25).

### **1.13. Fisiología de la floración, la formación de vainas y factores de la caída de flores.**

La caída de las flores se inicia en los nudos inferiores y continuos hacia arriba. Se ha observado que la maduración normal de la flor por inflorescencia es en promedio de 2.8 días y la gradación entre la floración de dos entrenudos vecinos es de 1.9 días en promedio. Sin embargo, diferentes factores pueden influenciar este patrón: las temperaturas máximas en el día de floración, o el día anterior; así como la temperatura media están muy relacionados al número de flores. La reducción de temperatura de 21 °C en el día y 16 °C en la noche a 14 °C y 9 °C respectivamente por 10 días disminuyo considerablemente la caída de vainas jóvenes y flores. La ausencia de calcio afecta a las regiones meristemáticas del tallo, las hojas y la raíz que, con facilidad mueren tempranamente, se detienen las mitosis con la que las hojas jóvenes presentan mal formaciones. Al final las hojas caen y se detienen el crecimiento del ápice; también puede afectar a otros órganos jóvenes en formación como a los frutos, que suelen presentar degeneraciones de ápice y una menor resistencia a la infección por hongos (Marmolejo & Suasnabar, 2000, p. 11 - 54).

#### **1.13.1. Fisiología del boro en las plantas.**

Las funciones fisiológicas del boro no están todavía aclaradas totalmente. Su papel en el metabolismo vegetal quizá sea el más desconocido de todos los nutrientes esenciales, pese a ser el micronutriente que mayores concentraciones molares presenta, al menos, en dicotiledóneas. El boro actúa

siempre con valencia III, por lo que no interviene en ningún proceso redox en el interior de los vegetales. No se ha encontrado formando parte de ningún sistema enzimático, aunque actuar como modulador de actividades enzimáticas. También se ha demostrado que, en casos determinados, puede ser parcialmente sustituido por germanio, aluminio o silicio. Todo lo anterior no quiere decir que no desempeñe funciones biológicas esenciales para la planta. Como a continuación veremos, el boro desempeña un papel esencial en el transporte de azúcares, en la síntesis de sacarosa, en el metabolismo proteico, en la síntesis y estabilidad de las paredes y membranas celulares, etc. (Marmolejo & Suasnabar, 2000, p. 11 - 54).

## **1.14. Formulación de hipótesis**

### **1.14.1. Hipótesis nula**

**Ho:** La Evapotranspiración Potencial (ET<sub>p</sub>), del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), obtenido en lisímetro superficial Acobamba no es disímil de la información proveniente de Hargreaves ( $0,0075 \times T \text{ } ^\circ\text{F} \times R_s$  (mm/día)  $\times 1,2$ ) y FAO - CROPWAT.

### **1.14.2. Hipótesis alterna**

**Ha:** La Evapotranspiración Potencial ET<sub>p</sub>., del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), obtenido en lisímetro superficial Acobamba es disímil de la información proveniente de Hargreaves ( $0,0075 \times T \text{ } ^\circ\text{F} \times R_s$  (mm/día)  $\times 1,2$ ) y FAO - CROPWAT.

## **1.15. Definición de términos**

### **1.15.1. Año agrícola.**

Muchos autores han realizado estudios en periodos de campañas agrícolas para evaluar cultivos, sin embargo, se todo ello se llega a definir así: El periodo de 12 meses para el cual se formulará el plan, cuyo mes inicial debe coincidir con aquel que se inician mayoritariamente las actividades de riego en el sistema de que se trate, en especial de los cultivos anuales. Puede trabajar también para campañas agrícolas menores de 12 meses (Cordero, 2017, p. 23).

### **1.15.2. Capacidad de campo.**

Al respecto Cordero (2017) define de la siguiente manera “es el máximo grado de humedad de un suelo que ha perdido su agua gravitacional” (p. 23).

### **1.15.3. Cédula de cultivos.**

Hay estudiosos que han realizado estudios en periodos de campañas agrícolas para evaluar cultivos, en función al cual se llega a definir de la siguiente manera: Por célula de cultivo entendemos la relación pormenorizada por superficies, de los cultivos tanto permanentes como anuales que deberán atenderse con el servicio de riego en un sistema, proyecto o distrito de riego, en un año agrícola dado. Lógicamente, la superficie total que se registre, en el respectivo plan de cultivo y riego, no podrá exceder de la superficie total registrada con derechos de riego en el sistema de que se trate. La información que nos ocupa debe ser obtenida con una anticipación adecuada a la iniciación del año agrícola pertinente (135 días en el caso de las normas vigentes en el Perú). Para el efecto, en un periodo de 15 días expresamente señalado en los reglamentos y estatutos de cada OURs pertinentes, los usuarios, sin excepción, están obligados a presentar en formularios oficiales sus intenciones de siembra, identificando sus predios; sus cultivos anuales y permanentes, por superficies, y con indicación de variedad; fechas de siembra, cosechas y/o renovación previstas, etc. El procedimiento de dicha información permite a los funcionarios responsables de la formulación de los planes de cultivo y riego conocer en detalle, para cada una de las secciones o subsectores del sistema y para el total del mismo, los cultivos que de primera intención se pretende sean atendidos con un servicio de riego suficiente y oportuno a lo largo de sus respectivos ciclos vegetativos (Cordero, 2017, p. 24).

### **1.15.4. Ciclos vegetativos y fechas de siembra y cosecha de los cultivos.**

Varios autores han realizado estudios diversos en periodos de campañas agrícolas para evaluar cultivos, a partir de los cuales se llega a definir así: En estrecha relación con la cédula de cultivo el ítem que antecede es también indispensable conocer los periodos de siembra más oportunos para los

diferentes cultivos, variedades, sus ciclos vegetativos y, consecuentes, sus fechas de cosecha. Dicha información, que exige un profundo conocimiento de la ecología del área, es indispensable para poder contabilizar los aspectos fitosanitarios, disponibilidad de mano de obra y equipos para las labores agrícolas, provisión de insumos, etc., como para la proposición de planes alternativos de siembra y rotación que aseguren la utilización más racional de los recursos de tierras y aguas disponibles (Cordero, 2017, p. 25).

#### **1.15.5. Coeficiente de uso consuntivo (Kc).**

Al respecto Jaime (2014) define de la siguiente manera: “es la relación entre la demanda de agua del cultivo mantenido a niveles óptimos (ETa) y la demanda del cultivo de referencia (ETp)” (p. 25).

#### **1.15.6. Déficit de humedad, ETDF.**

Al respecto Jaime (2014) define así: “Es la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la precipitación dependiente. Un exceso de humedad es indicado por un déficit negativo ( $ETDF = ETp - PD$ ).” (p. 22).

#### **1.15.7. Evaporación.**

Al respecto, Jaime (2014) define así: “fenómeno físico por el cual el agua pasa de líquido a vapor. También se le conoce como el agua evaporada por el terreno adyacente, por la superficie del agua o por la superficie de las hojas de las plantas” (p. 23).

#### **1.15.8. Evapotranspiración (ET).**

Al respecto el autor Jaime (2014) define así: “es un concepto equivalente al uso consuntivo. La suma de dos términos: transpiración y evaporación” (p. 24).

#### **1.15.9. Evapotranspiración potencial (ETp).**

La evapotranspiración potencial es un tema de mucha importancia en la implementación de sistemas de riego, y se llega a definir como: Es la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas (Thornthwaite, 1948). Según Hargreaves (1975) es la cantidad de agua evaporada y transpirada por una

cobertura de pequeñas plantas verdes en estado activo de crecimiento y con un suministro continuo y adecuado de humedad. (Cordero, 2017, p. 25).

#### **1.15.10. Evapotranspiración del cultivo de referencia ETo.**

Estudiosos del tema han realizado estudios al respecto para evaluar cultivos, y se llega a definir así: Es conocido también evapotranspiración de referencia, es la que se produciría en un campo instalado con gramíneas (tales como pastos y cereales) con tamaños promedio de 12 cm, sin la carencia de agua y con determinadas características óptimas de consumo o evaporación de agua. (Cordero, 2017, p. 25).

#### **1.15.11. Evapotranspiración de un cultivo en condiciones estándar ETc.**

Al respecto Jaime (2014) define así: “es la evapotranspiración que se produciría en un cultivo especificado, sano, bien abonado y en condiciones óptimas de humedad del suelo. Es igual a la anterior, multiplicada por un coeficiente (K) correspondiente al tipo de cultivo”. (p. 24).

#### **1.15.12. Evapotranspiración de un cultivo en condiciones no estándar.**

Respeto al tema Jaime (2014) define así: “es la evapotranspiración que se produce cuando no existen condiciones ideales. Para determinar este tipo de evapotranspiración debe ajustarse el coeficiente del cultivo K y multiplicarlo por otro coeficiente Kc que depende de la humedad del suelo” (p. 24).

#### **1.15.13. Evapotranspiración real (ETR).**

Respeto al tema Jaime (2014) define así: “es la evapotranspiración que se produce realmente en las condiciones reales de cultivo. La evapotranspiración real es menor o igual que la evapotranspiración potencial que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso” (p. 25)

#### **1.15.14. Grado de humedad.**

Respeto al tema Jaime (2014) define de la siguiente manera: “es el peso de agua en una muestra respecto al peso de muestra seca, expresado en porcentaje” (p. 34).

#### **1.15.15. Lisímetro.**

Respeto al tema Jaime (2014) define de la siguiente manera: “es un instrumento que sirve para medir la evapotranspiración, y consiste en un recipiente enterrado y cerrado lateralmente, de modo que el agua drenada por gravedad es recogida por un drenaje” (p. 35).

#### **1.15.16. Índice de disponibilidad de humedad, MAI.**

Respeto al tema Jaime (2014) define de la siguiente manera: “es la medida relativa de adaptación de la precipitación en suministrar los requerimientos de humedad. Se obtiene dividiendo la precipitación dependiente con la evapotranspiración potencial Indica la proporción del suministro de agua aprovechable para el cultivo, de precipitación dependiente” (p. 35).

#### **1.15.17. Punto de marchitez.**

Respeto al tema Jaime (2014) define de la siguiente manera: “ es el grado de humedad cuando las plantas no pueden absorber más agua” (p.36).

#### **1.15.18. Plan de cultivo y riego.**

Estudiosos del tema han realizado estudios al respecto para evaluar cultivos, y se llega a definir así: Es la metodología que permite la distribución de las aguas de riego entre las propiedades comprendidas en un sistema, Proyecto o Distrito de Riego, compatibilizando, entre otros, los siguientes parámetros: las disponibilidades del recurso agua ( de diferentes fuentes), las características de la infraestructura hidráulica existente, la eficiencia total del sistema, los diferentes tipos de suelos, la superficies con derechos de riego reconocidos dedicadas a los diferentes cultivos, las épocas más oportunas de siembra de cada cultivo y sus respectivos requerimientos de riego en oportunidad y volumen a lo largo de los ciclos vegetativos pertinentes (Cordero, 2017, p. 25).

#### **1.15.19. Precipitación confiable o dependiente, PD.**

Estudiosos del tema han realizado estudios al respecto para evaluar cultivos, y se llega a definir así: Es la precipitación que tienen una cierta probabilidad de ocurrencia basada en los análisis de records de precipitación de un largo periodo de años. Para el desarrollo de riego y para la mayoría de las

condiciones se ha determinado una probabilidad de 75% o la lluvia que puede esperarse que ocurra 3 por cada 4 años. Para algunos cultivos sensibles a la sequía, o de alto valor económico, o condiciones especiales puede ser más apropiado un mayor nivel de probabilidad. (Cordero, 2017, p. 25).

#### **1.15.20. Radiación incidente.**

Respeto al tema Jaime (2014) define de la siguiente manera: “la radiación incidente está relacionada con la radiación solar que llega al tope de la atmósfera y es modificada por los factores tales como la nubosidad” (p.37).

#### **1.15.21. Requerimientos de riego de los cultivos propuestos.**

Estudiosos del tema han realizado estudios al respecto para evaluar cultivos, y se llega a definir así: Para la cabal información de la metodología se requiere conocer, con la mayor precisión posible, los requerimientos de riego, en magnitud y oportunidad de todos y cada uno de los cultivos que figuran en la célula de cultivos propuesta. Para obtener esta información se cuenta, por una parte, con una serie de fórmulas apoyadas en diferentes datos climatológicos y/o meteorológicos y, por otra, con procedimientos de campo mediante lisímetros y controles cuidadosos en parcelas tipo experimentales. Al respecto, como natural derivación de los diferentes parámetros considerados en las fórmulas, desarrolladas en medios ecológicos distintos, será necesario determinar cuál de ellas es la que asegura una mejor determinación de uso consuntivo de nuestro interés introduciéndole los factores de corrección pertinentes. Sin lugar a dudas es difícil contar en una primera instancia, con un conocimiento preciso de los requerimientos de riego de los cultivos susceptibles a desarrollarse en un sistema de riego determinado; en la práctica será necesario realizar un metódico y continuo proceso de afianzamiento que nos asegure, para los diferentes suelos y cultivos, aproximarnos cada vez más a la realidad (Cordero, 2017, p. 28).

### **1.15.22. Sub cuenca.**

Respeto al tema Jaime (2014) define de la siguiente manera: “Sub división o parte de una cuenca hidrográfica, que forma una conveniente unidad natural para planificar y ejecutar medidas de conservación de suelos” (p. 37).

### **1.15.23. Transpiración.**

Estudiosos del tema han realizado estudios al respecto para evaluar cultivos, y se llega a definir así: Es el agua que penetrando a través de las raíces de las plantas es utilizada en la construcción de tejidos o emitidos por las hojas y reintegrada a la atmósfera. La transpiración está en función del tipo de planta, del poder de evaporación de la atmósfera, del grado de humedad del suelo, etc. (Cordero, 2017, p. 26).

### **1.15.24. Uso consuntivo del agua.**

Estudiosos del tema han realizado estudios al respecto para evaluar cultivos, y se llega a definir así: El uso consuntivo puede definirse como la cantidad de agua que consumen las plantas para germinar, crecer y producir económicamente, y cuantitativamente es un concepto equivalente al de evapotranspiración. Los principales componentes del uso consuntivo del agua son la transpiración y la evaporación (Cordero, 2017, p. 27).

## **1.16. Identificación de variables**

### **1.16.1. Variables a evaluar**

Volumen aplicado (cc).

Lámina de agua aplicada (mm).

Evapotranspiración potencial ETp (mm).

Uso Consuntivo (Kc).

Peso de granos secos

### **1.16.2. Variables independientes**

Precipitación

Temperatura.

Radiación solar.

### 1.16.3. Variable Dependiente

ETp.

ETa.

Kc.

Rendimiento.

### 1.16.4. Variable interviniente

Medio ambiente

### 1.17. Definición operativa de variables e indicadores

Tabla 2: Definición operativa de las variables del estudio

Variable	Definición Operacional	Indicador	Categoría o Escala	Criterio de medición de las categorías
<b>a. Variable Independiente</b>				
Temperatura	Historial de temperatura durante un ciclo del cultivo	° C	T ° F	Estación SENAMHI Común Era - FCA – UNH
Radiación solar	Historial de la incidencia solar durante un ciclo del cultivo	Cal / cm <sup>2</sup> / día	T° C	Estación SENAMHI Común Era -FCA – UNH
<b>b. Variable Dependiente</b>				
ETp	Etp mm/día = 1.2 (0.0075 x Rs mm/día x T°F) y/ o Etp mm/mes = 1.1 (M.F x T°F x CH).	mm / día	ETp Setiembre	Ciclo del cultivo
			ETp Octubre	
			ETp Noviembre	
ETa	Medición Lisímetro	mm / día	ETp Setiembre	Ciclo del cultivo
			ETp Octubre	
			ETp Noviembre	
Kc	Kc = ETa / ETp	Coeficiente	Inicial	Según etapas del cultivo
			Desarrollo	
			Fructificación	
			Madurez	

Rendimiento	Evaluación cosecha	t / ha	promedio	Cosecha del cultivo
-------------	--------------------	--------	----------	---------------------

Elaboración propia (2018).



# CAPÍTULO III

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. **Ámbito de estudio**

El estudio de investigación se desarrolló en la siguiente ubicación política y geográfica:

**Ubicación política:**

Región : Huancavelica.  
Provincia : Acobamba.  
Distrito : Acobamba.  
Lugar : “Vista Hermosa Casa Blanca”.

**Ubicación geográfica:**

Altitud : 3423 msnm.  
Latitud sur : 12° 50' 37.32" de la línea ecuatorial  
Longitud oeste : 74° 34' 41.46" Meridiano de Greenwich

**Factores climáticos:**

Precipitación pluvial promedio anual : 650 mm.

Humedad relativa : 60 %

Temperatura promedio anual : 12 °C

**Fuente: (SENAMHI, 2017)**

### 2.2. **Tipo de investigación**

El estudio está comprendido en el tipo de investigación tecnológica, llamado también de desarrollo tecnológico, porque el trabajo de investigación estuvo dirigida a descubrir y conocer las técnicas eficaces y adecuadas para operacionalizar las variables, es decir, producir buscar cambios o conservar y mejorar los ya alcanzados, sin dejar de lado las perspectivas de la mejora continua de las actividades productivas. (Carrasco, 2013, p. 45), en el presente trabajo se buscó la respuesta referido a la evapotranspiración potencial del cultivo de haba en relación a su estado fenológico y el periodo vegetativo del cultivo.

### 2.3. Nivel de investigación

El trabajo de investigación desarrollado corresponde al nivel **exploratorio** puesto que pertenece a un estudio de tipo piloto que busco encontrar un primer acercamiento científico y tecnológico al estudio de la evapotranspiración en el cultivo de haba en las condiciones de Acobamba en campaña chica mayo – octubre. La investigación se encuentra ubicado y enmarcado dentro de la clasificación que definieron Hernández, Fernández & Baptista (2010) “Los estudios exploratorios se efectúan, cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado o que no ha sido abordado antes”. (p. 59).

### 2.4. Método de investigación

El método de investigación utilizado en el estudio fue deductivo y cuantitativo porque se buscó información por inferencia inmediata a través de la valoración de la información que se registró y construyó en el campo y el ordenamiento para una evaluación posterior a nivel de gabinete para determinar la evapotranspiración potencial del cultivo de haba mediante lisímetros. La exploración estuvo constituida por las siguientes etapas:

**Primera etapa.** Recopilación de Información y preparación de terreno.

**Segunda etapa.** Instalación de 04 lisímetros en campo para determinar ETP, haba la misma que comprende pruebas iniciales e instalación del cultivo, labores de campo y mantenimiento del nivel de agua en tubo de observación en forma diaria y a la misma hora 7:00 am.

**Tercera etapa.** Evaluación y conducción del lisímetro para determinar ETP, en el cultivo de haba complementado con la sistematización de la información obtenida.

**Cuarta etapa.** Acopio de información referido a ETP, cultivo de haba, análisis comparativo de información y discusión de resultados

**Quinta etapa.** Elaborar el informe final del estudio y gestionar la publicación de los resultados logrados.

### **2.4.1. Plan de ejecución para determinar ETp, utilizando lisímetro superficial.**

#### **De campo.**

Homogenización y toma de muestra de suelo.

Instalación de lisímetros considerando altura de capa freática.

Construcción de un techo portátil de plástico.

Medición /marcado) del nivel de H<sub>2</sub>O en los respectivos lisímetros de acuerdo al nivel de capa freática por evaluar.

Cálculo del volumen total de suelo por lisímetro.

Medición de la altura alcanzada por la faja capilar en los diferentes lisímetros.

Siembra (04 semillas por lisímetro)

Control integrado de plagas y enfermedades.

Cosecha y control de rendimiento.

#### **De laboratorio.**

Cálculo de fertilización

Evaluación ETp., y Kc., del cultivo

Pesada de la cosecha.

Determinación de la materia seca etc.

#### **Observaciones:**

Historia de campo.

Fecha de preparación de los lisímetros.

Fecha de siembra.

Fecha de fertilización.

Número de deshierbo.

Altura alcanzada por la faja capilar.

pH del suelo al cultivo y cosecha.

Fecha de emergencia.

Fecha de floración.

Fecha de maduración total y cosecha.

Rendimiento del cultivo en peso verde. Por tratamiento.

Volumen total de agua empleado por tratamiento.

Registros climáticos de temperatura, precipitación, dirección de los vientos dominantes, humedad ambiental y salida y puesta del sol en dirección y hora.

## 2.4.2. Procedimiento de la conducción del experimento

### 2.4.2.1. Resultados del análisis de suelo

#### 2.4.2.1.1. Análisis mecánico

Tabla 3. Análisis mecánico del suelo.

DETERMINACION DE LA TEXTURA POR EL METODO DEL HIDROMETRO	
LIMO	25 %
ARCILLA	18 %
ARENA	52 %

Corresponde a un suelo Arcillo - Arenoso.

#### 2.4.2.1.2. Análisis químico

Tabla 4: Análisis químico del suelo

ANALISIS Y METODO	RESULTADO
Estimación de la Materia Orgánica (fue con el METODO DE WALKLEY Y BLACK)	3.31 %
Estimación del Nitrógeno Total (fue con el METODO MICRO KJELDAHL)	0.141 %
Estimación del Fósforo Disponible (MÉTODO DE OLSEN)	22.8 ppm.
Estimación del Potasio Disponible (METODO DE PEECH EXTRACTOR)	544 kg/ha
Estimación del Calcio Total (METODO DEL GASO VOLUMETRICO)	4.47%
Estimación del pH (METODO DEL POTENCIOMETRO)	8.2
Estimación de la Conductividad Eléctrica (METODO DEL CONDUCTIVIMETRO)	0.6 mmhos/cm

#### **2.4.2.1.3. Factores físico químico del suelo**

**2.4.2.1.4. Estructura:** Granular suelta.

**2.4.2.1.5. Permeabilidad:** Rápida.

**2.4.2.1.6. Percolación:** 49.8%.

**2.4.2.1.7. Profundidad:** Suelo apto para el cultivo, medianamente profundo.

**2.4.2.1.8. Materia orgánica:** El contenido de materia orgánica 3.31%. Calificación medio.

**2.4.2.1.9. Nitrógeno total:** El contenido de nitrógeno total 0.14% Calificación demedio.

**2.4.2.1.10. Fosforo disponible:** Es un suelo muy bien provisto de fosforo disponible 22.8 p.pm. Calificación alto.

**2.4.2.1.11. Potasio disponible:** De igual forma se trata de un suelo muy bien dotado de potasio. Calificación alto.

**2.4.2.1.12. Conductividad eléctrica:** 0.6 mmhos/cm, que determina un 2.25% de salinidad que relativamente es muy bajo y no ofrece ningún problema a los cultivos.

**2.4.2.1.13. pH:** De acuerdo al rango de pH 8.2 le corresponde la calificación de moderadamente alcalino. La que puede ocasionar supresión en la absorción de nutrientes y puede fijarse el fosforo al fosfato tricálcico insoluble.

#### **2.4.3. Confección de lisímetros**

Los lisímetros superficiales fueron construidos artesanalmente, para el cual se utilizaron baldes de 18 litros de volumen con adaptadores en la parte inferior en forma de codo, realizados con la incrustación de un codo de PVC de 2 pulgadas de diámetro. En seguida se muestra los modelos de los lisímetros.

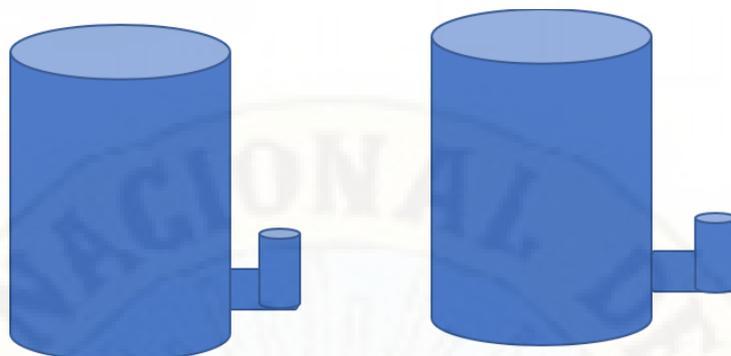


Figura 1. Diseño de lisímetros (Fuente: Elaboración propia: 2017).

#### **2.4.4. Abonamiento**

El cultivo de haba en el presente caso solo fue abonado con materia orgánica descompuesta de vacuno y ovino, se aplicó a razón de 50 gr por planta (es decir por lisímetro) lo que representa 1562.5 kg/ha.

#### **2.4.5. Siembra**

La siembra del cultivo de haba en los lisímetros superficiales se efectuó el 08 de mayo del 2017 depositando 04 semillas por golpe por lisímetro. Se trabajó con la variedad verde jaspeado.

#### **2.4.6. Emergencia de plantas**

La emergencia de las plántulas una vez germinado las semillas se dieron inicio el día 16 de mayo 2017 (08 días después de la siembra) lo cual nos demuestra que la humedad del suelo fue la adecuada por ascenso capilar del agua de riego.

#### **2.4.7. Desahije**

El desahije de plántulas de haba en los lisímetros se realizó el día 28 de mayo cuando estas mostraban un desarrollo de aproximadamente 10 cm de altura, consistió en extraer una planta por lisímetro, siendo esta las menos vigorosa o más débil, dejando las tres plantas más vigorosas en cada lisímetro.

#### **2.4.8. Riegos**

Los riegos fueron frecuentes, el agua se aplicó por la parte adaptada del balde “lisímetro”.

#### 2.4.9. Registro de datos

El registro de información de las variables de estudio establecidos, se realizaron en función al desarrollo fenológico de las plantas de las habas, estas fueron:

Emergencia de plantas

Altura de planta

Número de vainas por planta

Rendimiento de vainas por lisímetro

Índice de evapotranspiración potencial



Figura 2. Riego capilar en lisímetro con haba.



Figura 3. Germinación haba en el lisímetro.



Figura 4. Plantas de habas en crecimiento, antes del desahije.



Figura 5. Medición altura de planta de haba.



Figura 6. Planta de haba en plena floración.



Figura 7. Etapa de floración – fructificación del cultivo de Haba



Figura 8. Determinación de peso de cosecha biológica de haba



Figura 9. Determinación materia seca total haba.

## 2.5. Diseño de investigación

La programación de las acciones y actividades programados para lograr para lograr los objetivos de la investigación considera la tipificación de los diseños descritos por (Hernández, Fernández, & Baptista (2010): “el Bibliográfico y Observacional en el caso de Campo observacional”. Fue bibliográfico porque se necesitó revisar información de Evapotranspiración potencial (ETp), a través de la revisión y clasificación documentaria, como guías de proyectos de riego, proyectos como el PEPMI – PLAN MERIS I Etapa, además de otros proyectos de riego registrados en el antes Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), proyectos formulados y gestionados para financiamientos por Cooperación Técnica Internacional, con el que se obtuvieron datos referidos a la evapotranspiración potencial (ETp) y uso consuntivo Kc utilizados del cultivo de haba.

El estudio de campo fue cuasi experimental: Ya que no hubo manipulación de variables, se realizó observaciones de campo para determinar ETp, para el cultivo de haba sin el método de experimento. Es decir, solo se tuvo que aplicar instrumentos de recolección de datos de ETp., muy sencillos, para obtener la información de ETp, del cultivo de haba a nivel local de la provincia de Acobamba.

Referente al tiempo en la recolección de datos, se definió el diseño como longitudinal descriptivo, porque reunió la información en un tiempo determinado y calendarizado con respecto al periodo vegetativo del cultivo de haba. Es decir, que se registró de los datos se tomaron en el periodo de tiempo que duró el ciclo vegetativo de del cultivo de haba, que fue de dos meses para la obtención de datos de ETp, y de 6 meses para determinar la ETp, del cultivo de haba en lisímetro superficial.

De esta forma quedo definido la presente investigación como un diseño prospectivo bibliográfico, no experimental, transicional descriptivo.

Es pertinente resaltar e ilustrar el trabajo escrito y hacer fácil su lectura se consideró presentar con graficas (figuras) y tablas que explican las comparaciones de los resultados y descripción de los procesos que fueron

surgiendo, que se pueda percibir si existen afinidades o divergencias en cuanto a la determinación de la ETp., calculado con fórmulas empíricas, software y lisímetro superficial.

## **2.6. Población, muestra y muestreo**

### **2.6.1. Población:**

El presente trabajo de investigación considera como población a los 4 lisímetros superficiales instalados en el campo desde la siembra hasta la cosecha del cultivo de haba, determinado mediante la aplicación de las fórmulas de: Hargreaves =  $0,0023 * \text{Rad. Extrat. (mm/día)} * (T_M \text{ } ^\circ\text{C} + 17,8) * \text{Dif. T } ^\circ\text{C}^{0,5}$ , Hargreaves =  $0,0075 \times T \text{ } ^\circ\text{F} \times \text{RS (mm/día)} \times 1, 2$ . Y Software FAO – CROPWAT.

### **2.6.2. Muestra**

El tamaño de la muestra fue cuatro lisímetros, es decir el mismo tamaño de la población.

### **2.6.3. Muestreo**

En el estudio se hizo uso la técnica de muestreo no probabilístico, porque todos los lisímetros fueron medidos por la decisión del investigador, toda vez que el tamaño de la muestra fue de menor tamaño.

## **2.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

En el proceso de la recolección de los datos e información primaria se consideró como dato principal de mayor importancia para el estudio a la evapotranspiración potencial el cual fue obtenido mediante lisímetro superficial en Acobamba, complementado con información escrita publicada y calculada aplicando todas ecuaciones o fórmulas establecidas con datos meteorológicos correspondientes y obtenidos de la localidad de Acobamba Huancavelica.

La técnica de recolección de datos utilizada fue el método de observacional a fin de evitar la manipulación de la hipótesis, consistente en observaciones de campo para determinar ETp.

Tabla 5: Técnicas e instrumentos de evaluación de datos

Variable	Técnica	Instrumento
➤ Volumen	Medida directa	Vaso graduado
➤ Lámina aplicada	Medida directa	Vaso graduado
➤ ETP (mm).	Cálculo matemático	Fórmula
➤ Uso Consumitivo	Cálculo matemático	Fórmula
➤ Nivel de capa	Medida directa	Cinta métrica
➤ Peso de granos.	Peso	Balanza
➤ Rendimiento.	Peso	Balanza

Fuente: Elaboración propia. 2018.

## 2.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de los datos o información se hizo aplicación del programa office de Windows, el Excel como hoja de cálculo, el cual me permitió tabular, ordenar y verificar los datos obtenidos mediante los instrumentos aplicados para el recojo de datos, asimismo, se procesó los datos para realizar el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETp) para el cultivo de haba.

Para el análisis e interpretación de los datos se manejó las medidas de resumen, para verificar nuestra hipótesis haciendo uso de medidas de asociación teniendo en cuenta la naturaleza de las variables de estudio. (Prueba estadística no paramétrica Ji Cuadrada con un  $\alpha = 0.05$ ).

## 2.9. Descripción de la prueba de hipótesis

Las hipótesis formuladas en el presente trabajo de investigación se sometieron a la prueba de Ji cuadrada,

## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. Presentación de resultados

##### 3.1.1. Emergencia y desarrollo inicial del cultivo de haba

La emergencia de las plántulas una vez germinado las semillas se dieron inicio el día 16 de mayo 2017 (08 días después de la siembra) lo cual nos demuestra la humedad adecuada del suelo por ascenso capilar del agua de riego.

El desahijé de plántulas de haba en los lisímetros se cumplió el día 28 de mayo cuando estas mostraban un desarrollo de aproximadamente 10 cm., de altura dejando las tres plantas más vigorosas en cada lisímetro.

##### 3.1.2. Altura de planta de haba

En cada lisímetro se contó con tres tallos de haba cuyo desarrollo manifestó:

Tabla 6. Promedio altura de planta de haba en días

Fecha	cm.	días
26/7/17	0.75	79
11/08/17	1.00	95
20/08/17	1.08	104
02/09/17	1.25	117
16/09/17	1.35	131
02/10/17	1.38	147

Como se aprecia en el cuadro respectivo la mayor altura de planta se alcanzó a los 147 días después de la siembra 1.38 metros, esta altura es superior a la característica propia de la variedad Pacae jaspeado obtenida en siembras bajo riego en el valle del Mantaro Junín, probablemente esto se deba al agua disponible en la zona radicular consecuencia del riego capilar ofertado de manera continua a 10 cm., de la base del lisímetro en la presente investigación.

Tabla 7. Promedio número de macollos de haba/lisímetro

Fecha	Nº.	días
12/8/17	10	96
28/08/17	12	112

Con referencia al número de macollos obtenidos en promedio por lisímetro fue de 12 a los 112 días después de la siembra lo cual nos mostró buena estructura de tallos y macollos ubicados en el cuello de la planta en promedio de 4 macollos por planta.

### 3.1.3. Número de vainas por planta de haba

El inicio de floración fue el 16 de julio culminando el 26 de agosto 2017 lo cual se manifestó después del 100% de cobertura de suelo/ lisímetro esto fue logrado a los 85 días después de la siembra (1-08-2017), el número total de vainas evaluadas en promedio por lisímetro fue de 308 de los cuales manifestó su viabilidad productiva el 30%, (92 vainas maduras).

### 3.1.4. Rendimiento de plantas de haba por tratamiento

La producción obtenida en promedio por lisímetro de haba verde fue de 2.31 kg., (25 gr., peso promedio por cada vaina cosechada) representando 68.578 tm./ ha., teniendo en cuenta una merma del 5% por daños de pájaros, estos resultados son muy superiores a los obtenidos por el Ing. Alex Roy J. Jaime Marmolejo en su trabajo de investigación denominado “Estudio de la Evapotranspiración Potencial ETp., del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), con tres niveles de capa freática en la Provincia y Distrito de Acobamba Huancavelica” que logro 0.240 gr./lisímetro quien llego a la conclusión que el nivel óptimo de capa freática para el cultivo de haba (*Vicia faba* L.), para cálculos de evapotranspiración potencial ETp en Acobamba Huancavelica debe estar a una profundidad de 25 cm., puesto que este nivel ofreció mejores resultados en emergencia, vigor, número de vainas, rendimiento a los otros niveles esto debido exclusivamente a la disponibilidad de agua; resultados que evidencian que los estudios con lisímetro superficial ofrece resultados para este tipo de estudios, en la presente investigación se ofreció al cultivo de haba una capa arable de 27.50 cm., ubicándose el nivel freático a 10 cm., de la base del

lisímetro. Según la densidad de siembra en los lisímetros se estima 34250 lisímetros/ha.

### 3.1.5. Cosecha biológica de haba conducida en lisímetro superficial

La cosecha biológica de raíces, tallos y hojas del cultivo de habas represento en promedio 1.281.33 kg/ lisímetro después de la cosecha de haba.

### 3.1.6. Evapotranspiración de haba conducida en lisímetro superficial

Los resultados de la evapotranspiración potencial obtenido de los lisímetros en campo que fue controlado diariamente fueron tabulados en una hoja Excel como se aprecia a continuación:

Tabla 8. Índice de evapotranspiración potencial en m<sup>3</sup> / mes/ha

DATOS	MESES						TOTAL	Etapas de cultivo					
	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct		Inicio	Desarrollo	Fructificación	Madurez		
	May	Jun	Jul - Ago	Set	Oct								
Días	24	30	31	31	30	15	161	24	30	62	45		
cm <sup>3</sup>	2555	6500	14760	39495	26950	6010	96270	2555.0	6500.0	14760.0	39495.0	26950.0	6010.0
Etp m <sup>3</sup> /mes/ha.								361.46	919.56	2088.11	5587.39	3812.64	850.24
Área lisímetro = 0.070686 m <sup>2</sup>								0.3 M	Plantas				
Lámina 1 mm = 10.0 m <sup>3</sup>								1.0 M	Surcos				
361457714.4								10000.0 m <sup>2</sup>	Nº Lisímetros <b>31250.0</b>				
								361.5					
								<b>Inicio</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Fructificación</b>		<b>Madurez</b>	
<b>EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL m<sup>3</sup>/ha</b>								<b>361.46</b>	<b>919.56</b>	<b>2088.11</b>	<b>5587.39</b>	<b>3812.64</b>	<b>850.24</b>
<b>TOTAL ETP m<sup>3</sup> / ha.</b>								<b>13619.39</b>					

1. Inicio de crecimiento (24)
2. Crecimiento a inicio de floración(30)
3. Floración (62)
4. Maduración (45)

En el presente cuadro se observa que la evapotranspiración potencial máxima coincide desde el inicio de floración al término del relleno de vainas lo cual indico 2088.11 m<sup>3</sup>/ha y 5587.39 m<sup>3</sup>/ha en los meses de julio y agosto respectivamente, posteriormente va disminuyendo hasta 850.24 m<sup>3</sup>/ha., que es el inicio de la cosecha. Se debe remarcar que una vez tabulado toda la información recabada en campo el total de agua requerida por el cultivo de haba conducido en campaña chica es de 13619.39 m<sup>3</sup>/ha., para obtener cosechas mayores a 68.578 tm/ha., que fue logrado en el presente estudio.

Finalmente debo indicar que según cálculos de la demanda de agua Total en el Valle del Mantaro – Junín- Perú. En todo el periodo fenológico del cultivo es 8449.97 m<sup>3</sup>/ha., según programación de riego para el valle del Mantaro 11193 m<sup>3</sup>/ha., y según la investigación 13619.39 m<sup>3</sup>/ha.

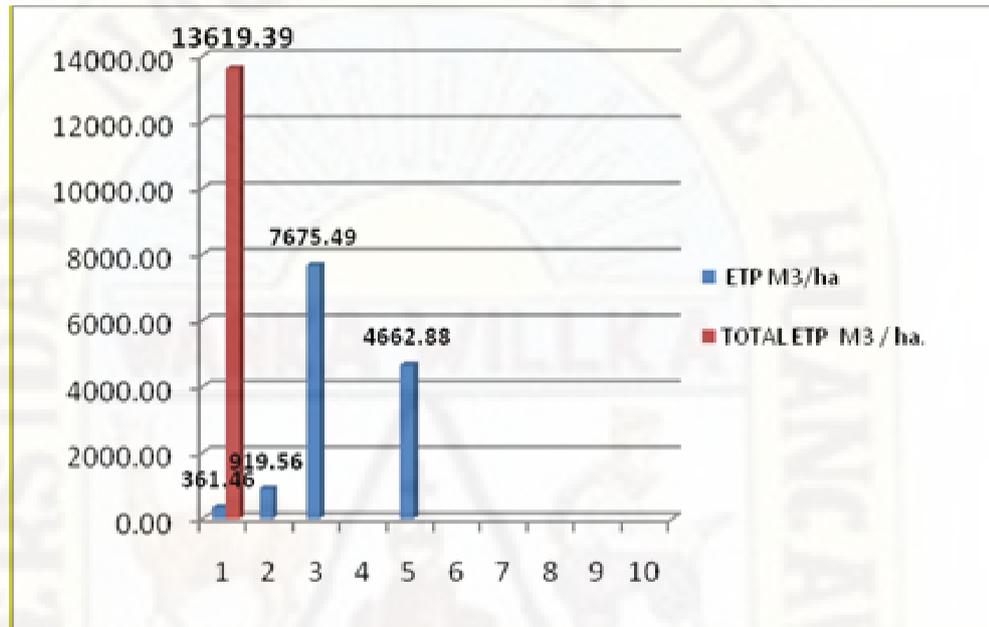


Figura 10: Representación de la evapotranspiración en m<sup>3</sup>/ha.

### 3.1.1. Cálculos de programación de riego del cultivo de haba para un suelo franco

Tabla 9. Cálculos de programación de riego del cultivo de haba para un suelo franco

<b>SUELO FRANCO</b>												
<b>ETAPAS DE CULTIVO</b>												
	1	2	3	4								
<b>LAMINA DE RIEGO (mm/día)</b>												
	12.38	37.125	66	66								
<b>USO CONSUNTIVO (mm/día)</b>												
	<b>0.23</b>	<b>0.53</b>	<b>1.76</b>	<b>1.08</b>								
<b>FRECUENCIA DE RIEGO (días)</b>												
	54	70	38	61								
<b>EFICIENCIA DE RIEGO (%)</b>												
	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60
<b>VOLUMEN TOTAL (m<sup>3</sup>/ha)</b>												

	309	248	206	928	743	619	1650	1320	1100	1650	1320	1100
TIEMPO DE RIEGO (horas/ha)												
$Q = \text{Lts/seg.}$												
5	17.2	13.8	11.5	51.6	41.3	34.4	91.7	73.3	61.1	91.7	73.3	61.1
10	8.6	6.9	5.7	25.8	20.6	17.2	45.8	36.7	30.6	45.8	36.7	30.6
20	4.3	3.4	2.9	12.9	10.3	8.6	22.9	18.3	15.3	22.9	18.3	15.3
30	2.9	2.3	1.9	8.6	6.9	5.7	15.3	12.2	10.2	15.3	12.2	10.2
40	2.1	1.7	1.4	6.4	5.2	4.3	11.5	9.2	7.6	11.5	9.2	7.6
50	1.7	1.4	1.1	5.2	4.1	3.4	9.2	7.3	6.1	9.2	7.3	6.1

En el presente cuadro podemos apreciar una programación de riego modelo para un suelo franco en condiciones de cultivo en campaña chica donde observamos que la mayor necesidad de agua de riego es de 1650 m<sup>3</sup>/ha., 1320m<sup>3</sup>/ha., y 1100 m<sup>3</sup>/ha., en la etapa de floración y cuajado de frutos, se debe indicar que los volúmenes que se asignan en compuerta de cabecera no debe ser mayor a 20 lt/s., que es un caudal manejable por el productor.

### 3.2. Prueba de hipótesis

Resultados:

Tabla 10. Resultados de prueba de hipótesis

TC =	0.46 > -0.4370 y - 38.9397
Entonces se rechaza Ho y se acepta Ha	
Hipótesis:	Ho = La Evapotranspiración Potencial Etp., del Cultivo de haba ( <i>Vicia faba</i> L.), obtenido en lisímetros superficial a nivel en Acobamba es disímil a la información proveniente de Hargreaves ( 0,0075 x T °F x Rs (mm/día) x 1,2) y FAO - CROPWAT.
El valor estadístico de la prueba es mayor que al valor tabulado, por lo que la hipótesis nula (H <sub>0</sub> ) es aceptada.	
Por tanto se puede concluir indicando que la metodología establecida para determinar Etp mediante el uso de lisímetro superficial no es diferente de la información de cálculo de Etp., propuesto por: Hargreaves = 0,0075 x T °F x Rs (mm/día) x 1,2 y FAO - CROPWAT., con 95% y 99% de probabilidad.	

El procedimiento aplicado consistió en la aplicación de la prueba de Chi cuadrada de bondad, con aplicación de plantilla en la hoja de cálculo Excel., partiendo de la hipótesis nula que se describe en resultados:

**Ho** = La Evapotranspiración Potencial ETp., del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), obtenido en lisímetro superficial instalado en condiciones ambientales de Acobamba es disímil de la información proveniente de Hargreaves ( $0,0075 \times T^{\circ}\text{F} \times \text{Rs (mm/día)} \times 1,2$ ) y FAO - CROPWAT.

Tabla 11. Índice de evapotranspiración potencial en mm /día.

<b>Evapotranspiración Potencial mm /día.</b>				
<b>MES</b>	<b>( a )</b>	<b>( b )</b>	<b>( c )</b>	<b>( d )</b>
mayo	3.07	4.28	3.00	3.17
junio	2.77	4.20	2.71	3.13
julio	2.87	4.04	3.14	3.10
agosto	3.29	3.95	3.24	3.47
setiembre	3.67	3.83	3.86	3.98
octubre	4.12	4.03	4.31	4.39

**Observaciones:**

Hargreaves =  $0,0023 \times \text{Rad. Extrat. (mm/día)} \times (\text{TM } ^{\circ}\text{C} + 17,8) \times \text{Dif. T } ^{\circ}\text{C}^{0,5}$

Hargreaves =  $0,0075 \times T^{\circ}\text{F} \times \text{RS (mm/día)} \times 1,2$ .

Hargreaves =  $\text{M. F} \times T^{\circ}\text{F} \times \text{CH.} \times 1,1$

FAO – CROPWAT.

El índice de evapotranspiración potencial para el cultivo de haba calculado con la fórmula de Hargreaves =  $0,0075 \times T^{\circ}\text{F} \times \text{RS (mm/día)} \times 1,2$  es de 4.03 mm/día., considerado la más aceptable para cálculos de demanda de agua.

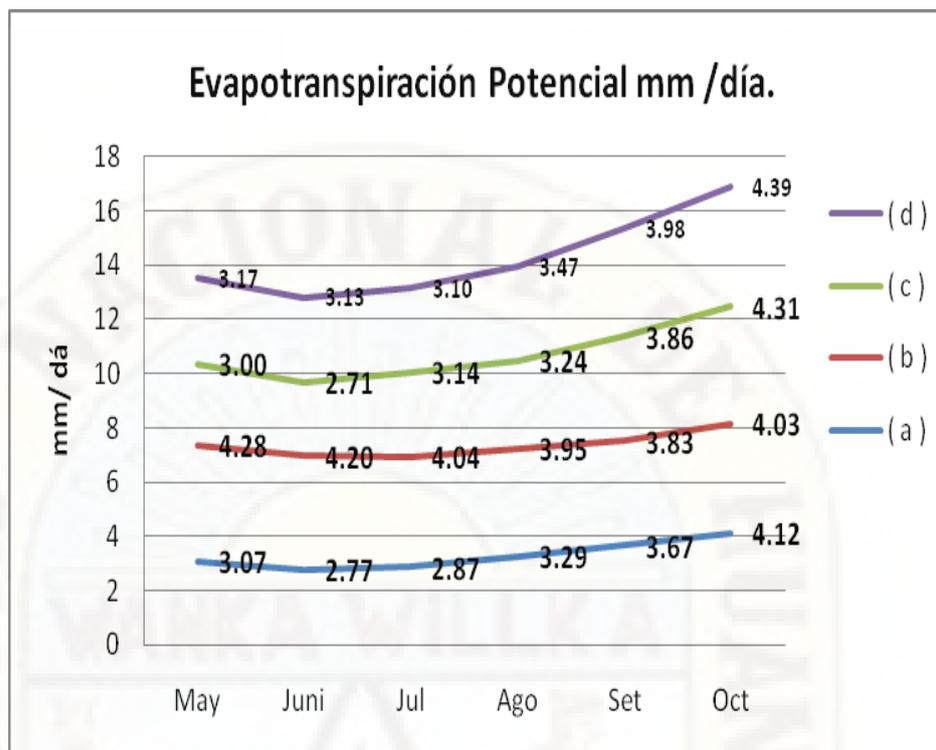


Figura 11: Representación de la evapotranspiración en  $m^3/ha$ .

En el gráfico superior de manera objetiva se aprecia que la evapotranspiración potencial para el cultivo de haba calculado con la fórmula de Hargreaves =  $0,0075 \times T^{\circ}F \times RS$  (mm/día)  $\times 1, 2$ , es mayor durante todos los meses que los demás procedimientos utilizados para estimar ETPr

Tabla 12. Índice de evapotranspiración actual en mm /día

ETA., mm /día.	
Mes	Lisímetro superficial
mayo	1.51
junio	3.07
julio	6.74
agosto	18.02
setiembre	12.71
octubre	5.67

Del presente cuadro se aprecia que la evapotranspiración actual del cultivo ETa mm/día obtenidos del cultivo de haba conducido en lisímetro superficial 18.02 mm/día para el mes de agosto.

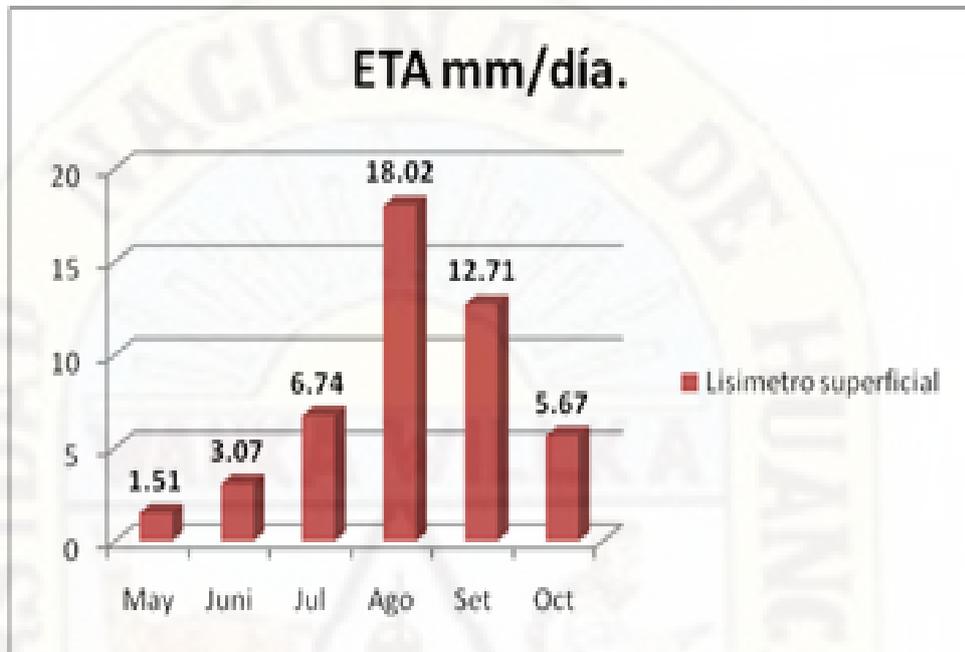


Figura 12: Representación de ETa mm/día en lisímetro superficial.

Gráficamente se muestra que la evapotranspiración actual o real del cultivo se incrementa claramente durante los meses de julio, agosto de: 6.74, 18.02 y descendiendo en setiembre a 12.71 mm/día.

Tabla 13. Comparativo determinación Etp mm /día & ETa haba lisímetro.

Evapotranspiración Potencial mm /día.				
MES	( a )	( b )	( c )	( d )
mayo	3.07	4.28	3.17	1.51
junio	2.77	4.20	3.13	3.07
julio	2.97	4.04	3.10	6.74
agosto	3.29	3.95	3.47	18.02
setiembre	3.67	3.83	3.98	12.71
octubre	4.12	4.03	4.39	5.67

Elaboración propia (2018)

**Observaciones:**

Hargreaves = 0,0023\*Rad. Extrat. (mm/día)\*(TM °C + 17,8)\* Dif. T °C^0,5

Hargreaves = 0, 0075 x T °F x RS (mm/día) x 1, 2.

FAO – CROPWAT.

ETA Lisímetro (riego capilar).

Computarizando y comparando la ETp calculado mediante diferentes fórmulas versus ETp hallado con el estudio disimétrico claramente que definido que en los meses de agosto y setiembre ocurre la mayor necesidad de necesidades de evaporación del suelo y transpiración del cultivo de haba para cubrir requerimientos hídricos y ofrecernos mejores rendimientos

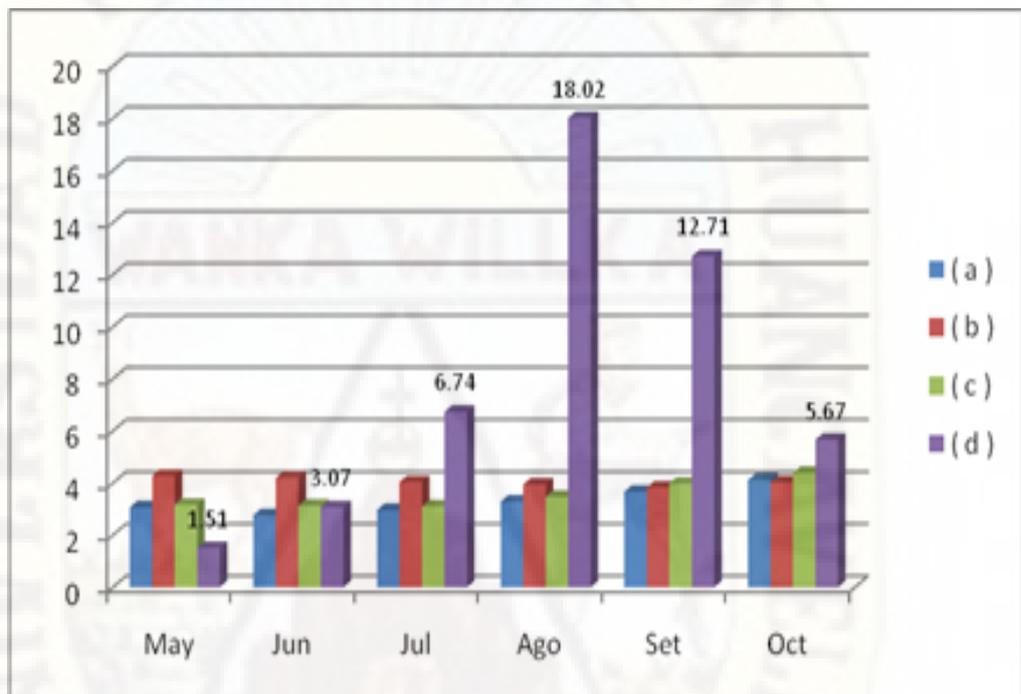


Figura 13: Comparativo Etp mm/día & ETa haba lisímetro. Etp mm/día.

La determinación de ETp del cultivo en lisímetro con riego capilar nos permite una forma muy acertada para graficar el uso o necesidad de agua de riego del cultivo de haba con bastante aproximación a la curva Kc del cultivo de haba, los métodos de cálculo comparados no reflejan esa posibilidad.

**Cuadro N° 07 Cuadro Comparativo Kc del cultivo de habas.**

Tabla 14. Comparativo Kc del cultivo de habas

Comparativo KC del cultivo de haba				
Etapa	(a)	(b)	(c)	(d)
Inicial	0.24	0.30	1.14	0.23
Desarrollo	0.55	0.55	1.91	0.53
Fructificación	1.87	0.90	5.37	1.76

---

<b>Madurez cosecha</b>	1.11	0.44	4.08	1.08
------------------------	------	------	------	------

**Observaciones:**

Ø (a). Tesis Alex R. J. Jaime M: Hargreaves = M.F x T °F x CH. x 1,1.

Ø (b). Valle del Mantaro.

Ø (c). Plan Meris I Etapa JZSC

Ø (d). Lisímetro superficial (tesis): riego capilar.

---

En el presente cuadro se puede apreciar una similitud de valores Kc del cultivo de haba obtenida mediante el estudio de tesis desarrollado comparado con los resultados obtenidos “Estudio de la Evapotranspiración Potencial ETp., del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), con tres niveles de capa freática en la Provincia y Distrito de Acobamba Huancavelica”, únicamente diferenciándose por la fecha de conducción que fue de abril – agosto y la presente tesis Mayo – noviembre.

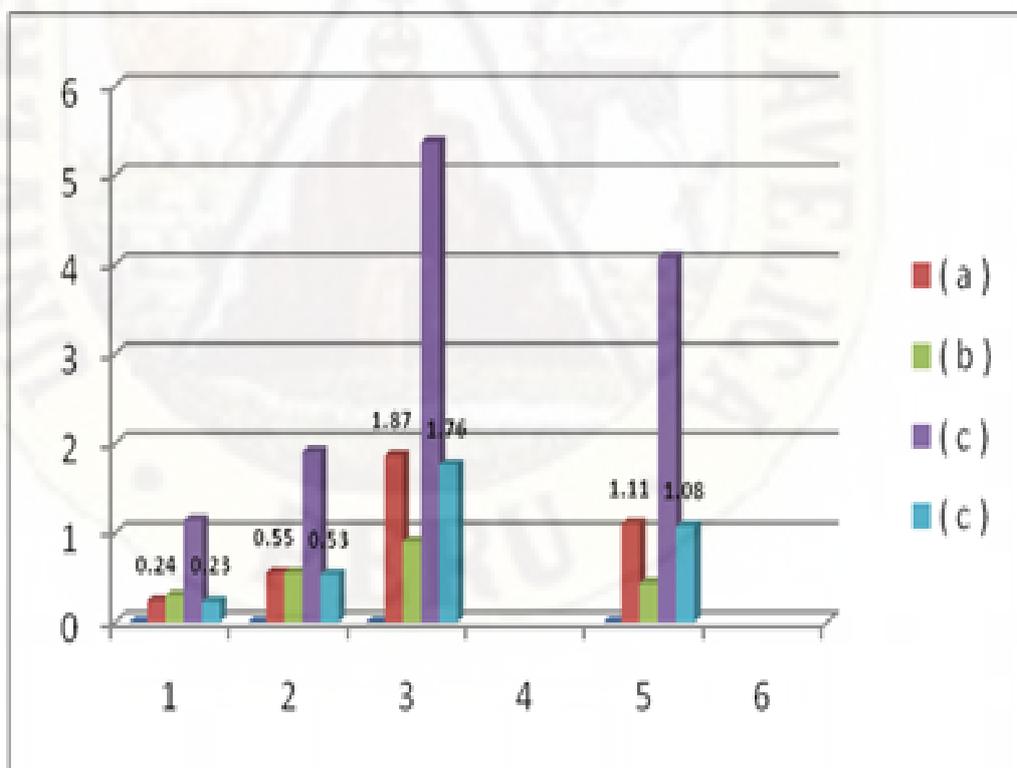


Figura 14. Comparativo del uso consuntivo Kc mm /día

Se aprecia más objetivamente una aproximación de valores Kc del cultivo de haba obtenida mediante el estudio de tesis desarrollado comparado con los resultados obtenidos por el “Estudio de la Evapotranspiración Potencial ETp., del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), con tres niveles de capa freática en la Provincia y Distrito de Acobamba Huancavelica”.

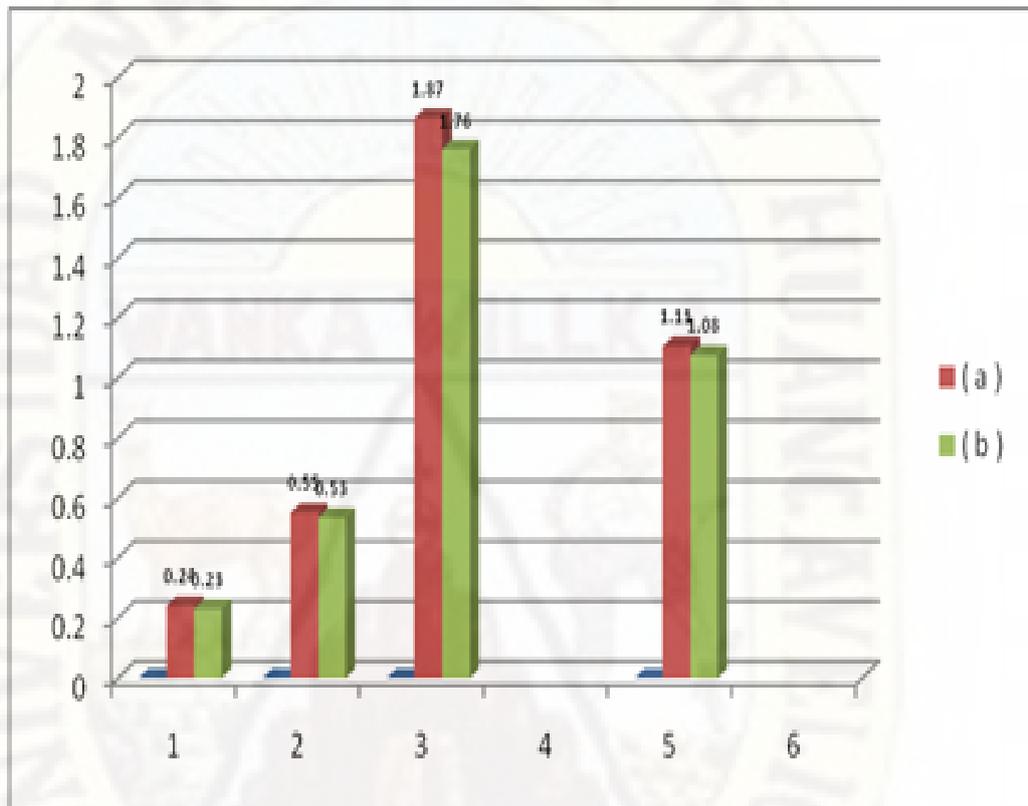


Figura 15: Comparativo ETp mm /día Tesis Alex R. J. Jaime M: Hargreaves =  $M.F \times T^{\circ}F \times CH. \times 1,1$  & ETa haba lisímetro. ETp mm /día.

En el presente grafico se aprecia una mayor aproximación de valores Kc del cultivo de haba obtenida mediante el estudio de tesis desarrollado comparado con los resultados obtenidos por “Estudio de la Evapotranspiración Potencial (ETp), del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), con tres niveles de capa freática en la Provincia y Distrito de Acobamba Huancavelica”. Ambos trabajos desarrollados en campaña chica y área de estudio.



Figura 16: Evapotranspiración potencial haba según etapas de desarrollo del cultivo de haba., en m<sup>3</sup> /ha.

El grafico se observa el incremento de las necesidades hídricas del cultivo de haba representando 361.46 m<sup>3</sup>/ha., en la etapa inicial, 919,56 m<sup>3</sup>/ha en la fase desarrollo del cultivo, 2088,11 m<sup>3</sup>/ha., inicio de floración 5587,39 m<sup>3</sup>/ha., fructificación y 3812,64 m<sup>3</sup>/ha., cuajado de fruto a 850,24 m<sup>3</sup>/ha., madurez a cosecha del cultivo.

### 3.3. Conclusiones

- Se infiere que la tasa de evapotranspiración potencial ETp en Acobamba Huancavelica para el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) conducido en lisímetro superficial es: Fase inicial 1.51 mm / día; Fase de desarrollo: 3.07 mm / día; Fase de fructificación: 24.70 mm / día; Fase de madurez: 18.38 mm / día.
- Sobre el nivel de capa freática estudiado, se concluye expresando que, el óptimo de la capa freática para el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en estudio, lisimétrico para cálculos de evapotranspiración actual ETa en Acobamba Huancavelica debe ubicarse a una profundidad de 27.50 cm., puesto que este nivel ofreció mejores resultados en emergencia, vigor, número de vainas y rendimiento debido a la disponibilidad de humedad racional en la zona radicular.
- Los coeficientes de Kc calculados con los datos de la evapotranspiración potencial ETp utilizando el factor de latitud MF del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) con relación al cultivo de referencia Rye grass, utilizando las fórmulas de Hargreaves en base a temperatura y factor de latitud MF realizada con la investigación para condiciones de Acobamba Huancavelica resultaron: Fase inicial: Kc = 0.24; Fase de desarrollo: Kc= 0.55; Fase de fructificación: Kc= 1.87; Fase de madurez: Kc= 1.11.
- Queda sentenciado que a una mayor reserva de agua sin perjuicio de la capa capilar óptima del suelo favorece el proceso de desarrollo favorable del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) quedando aclarado que existe una relación positiva entre emergencia, altura de planta, peso de vaina de las habas y número de vainas con el rendimiento de grano verde.
- Se concluye así mismo que la evapotranspiración actual del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) depende, de otros factores, como las condiciones climáticas, el tipo y estado fenológico de desarrollo del cultivo, además de la disponibilidad hídrica en el suelo a nivel de la napa freática el que debe reponerse diariamente al complejo suelo para no afectar el potencial productivo de la planta por efecto de estrés hídrico.

- Se desprende que los valores de Evapotranspiración potencial están relacionados directamente con el estado de desarrollo del cultivo, es decir que el consumo de agua está asociado con el periodo vegetativo y desarrollo del cultivo de haba.
- Se concluye que la demanda de consumo de agua calculada para el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) conducido en campaña chica es de 13619.39 m<sup>3</sup>/ha., para obtener cosechas mayores a 68.578 tm/ha., que fue logrado en el presente estudio. difiere con la demanda obtenida según programación de riego en 11193 m<sup>3</sup>/ ha., llegándose a demostrar de manera indubitable que los requerimientos del recurso hídrico varían según el tipo de cultivo, etapa de desarrollo fenológico y la característica de región geográfica de Acobamba.
- La metodología propuesta para determinar la evapotranspiración potencial (Etp) mediante la instalación de lisímetros a nivel superficial con el cultivo de haba (*Vicia faba* L.), siendo similar el valor de cálculo de Etp., propuesto por: Hargreaves =  $0,0075 \times T \text{ } ^\circ\text{F} \times R_s \text{ (mm/día)} \times 1,2$  y FAO - CROPWAT., con 95% y 99% de probabilidad.

### 3.4. Recomendaciones

- Se exhorta extender esta modalidad de investigación para Estudiar la Evapotranspiración Potencial ETP, utilizando lisímetros superficiales para el riego capilar en otros cultivos en el distrito y Provincia de Acobamba Huancavelica.
- Para el cálculo de la demanda de agua utilizando formulas empíricas y/o Software Cropwat se debe acopiar información meteorológica de estaciones meteorológicas de áreas cercanas al ámbito del proyecto al que se pretende irrigar con un sistema de riego.
- Es conocido que el periodo vegetativo de cada cultivo es variable dependiendo fundamentalmente de la campaña agrícola (grande y/o chica), variedad y piso ecológico por lo que es gravitante para plantear una cedula de cultivo contar con información histórica referido al comportamiento climático, época de siembra y por sobre todo información basado en la experiencia propia de campañas anteriores o del formulador del proyecto de riego.
- Como atención final, recomiendo estudiar la evapotranspiración potencial ETP., mediante lisímetros instalados superficialmente para los diferentes cultivos por año agrícola (campaña grande y chica) en el ámbito del distrito y provincia de Acobamba Huancavelica por lo que se debe instaurar como tema de investigación prioritaria considerando la inconvertibilidad hídrica de la zona (escasa agua de riego) a fin de elaborar perfiles y proyectos de riego con cálculo de demanda de agua óptimos.

## Referencias bibliográficas

- Agricultura, M. d. (2012). Maíz Amiláceo. Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva. Lima: CENDOC.
- AgroRural. (2015). Manual de Abonamiento con Guano de Islas. Lima: MINAGRI.
- Aliaga Barrera, I. N. (22 de Junio de 2004). Nomenclatura Botánica. (J. A. Jaime Piñas, Entrevistador)
- Cabada S. y Ahumada M. (2016). Incidencia del daño foliar sobre el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*). Paraná - Argentina: INTA.
- Camarena Mayta, F., Chiape Vargas, L., Huaranga Joaquín , A., & Mostacero Neyra, E. (2003). Manual del Cultivo de Haba. Lima - Perú: UNALM.
- Carrasco Díaz, S. (2013). Metodología de la Investigación Científica. Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación. Lima - Perú: San Marcos.
- Castillo Mendoza, J. (2018). Comportamiento agronómico de once accesiones de maíz amiláceo altiplánico (*Zea mays* L.), bajo condiciones del distrito de Tiabaya-Arequipa. Arequipa - Perú.: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.
- Choquecallata, J., Vacher, J., Fellmann, T., & Imaña, E. (1992). Evapotranspiración máxima del cultivo de la quinua por lisimetría y su relación con la evapotranspiración potencial en el Altiplano Boliviano. Actas del VII Congreso Internacional sobre cultivos Andinos (págs. 63-67). La Paz - Bolivia: IBTA, ORSTOM, CIID - Canada.
- Chunhuay Ruíz, Y. (2017). Evaluación del rendimiento del maíz amiláceo mediante la aplicación del guano de islas y trebol asociado al maíz en Allpas - Acobamba. Huancavelica - Perú.: Universidad Nacional de Huancavelica.

- Chunhuay Ruíz, Y. (2017). Evaluación del rendimiento del maíz amiláceo mediante la aplicación del guano de islas y trébol asociado al maíz en Allpas - Acobamba. Evaluación del rendimiento del maíz amiláceo mediante la aplicación del guano de islas y trébol asociado al maíz en Allpas - *Acobamb*. Huancavelica, Acobamba, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Cooper, L. D. (2009). *Agrociencia, Fundamentos y Aplicaciones*. México: Delmar.
- Cordero Egoavil, M. J. (2017). Evaluación de la evapotranspiración potencial (ETp) del cultivo de arveja (*Pisum sativum*) con tres niveles de capa freática en Acobamba Huancavelica. Repositorio de la Universidad Nacional de Huancavelica, 11.
- De la Cruz Marcos, R. N. (2014). El proyecto de tesis. Manual autoinstructivo para elaborar el proyecto de tesis. Huancavelica: UNH.
- Deras Flores, H. (2011). *Guía técnica El Cultivo de maíz*. El Salvador: IICA.
- ENAH0. (1 de Abril de 2020). Encuesta Nacional de Hogares sobre condiciones de vida y pobraza 2015. Obtenido de Encuesta Nacional de Hogares sobre condiciones de vida y pobraza 2015:  
[https://webinei.inei.gob.pe/anda\\_inei/index.php/catalog/276/related\\_materials](https://webinei.inei.gob.pe/anda_inei/index.php/catalog/276/related_materials)
- FAO. (1990). *Estudio FAO Riego y Drenaje - Guía 56*. Roma - Italia: FAO.
- Garay Canales, O. B. (2009). *Manual de uso consuntivo de agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos*. Lima - Perú: INCAGRO.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw-Hill.
- Jaime Marmolejo, A. R. (2014). Estudio de la evapotranspiración potencial ETp del cultivo de haba (*Vicia faba L*) con tres niveles de capa freática en la provincia y distrito de Acobamba - Huancavelica. Acobamba - Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.

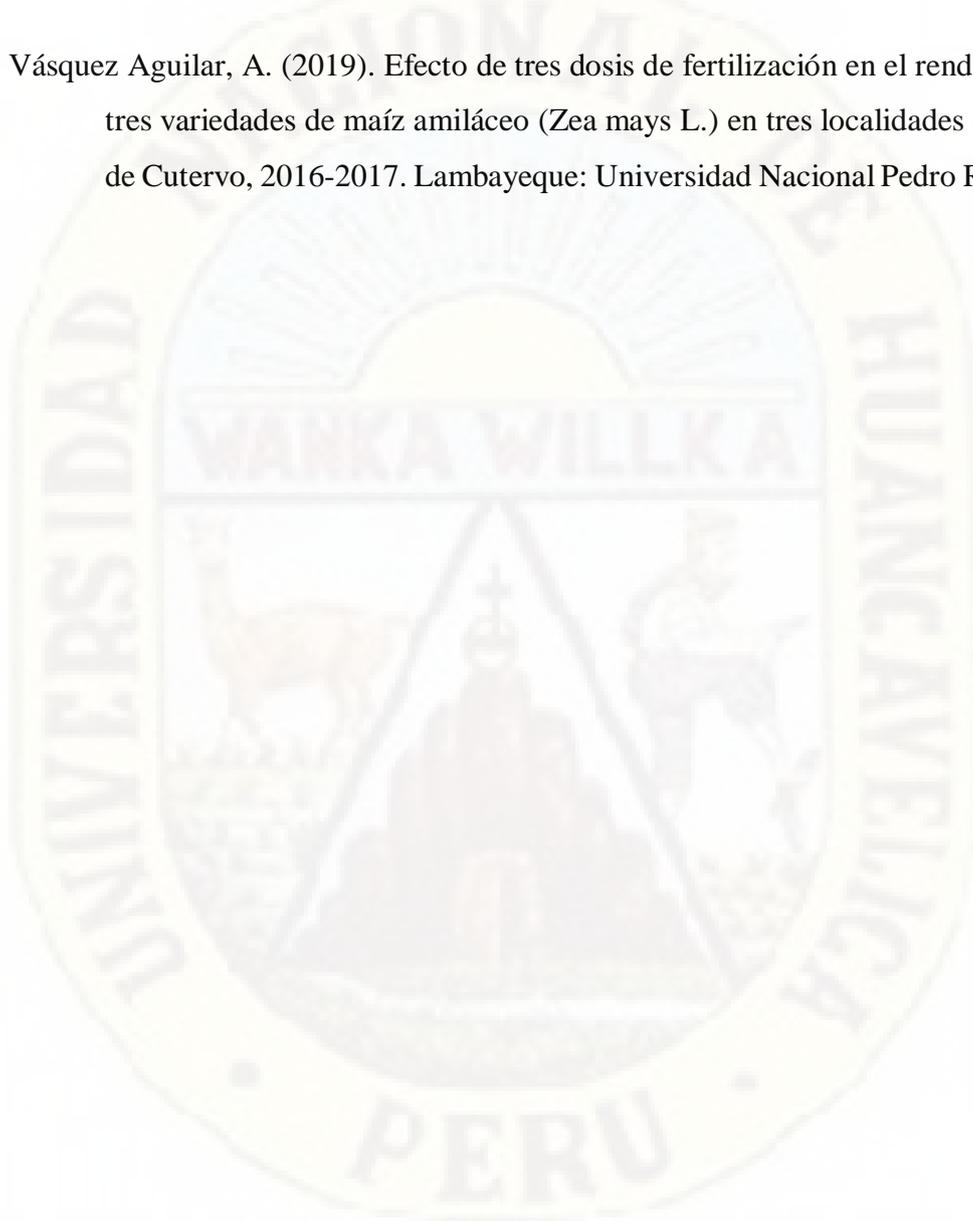
- Jara Calvo, W. (2012). Manejo del maíz amiláceo INIA 618 - Blanco Quispicanchi. Cusco: INIA.
- Junta de Andalucía. (20 de octubre de 2017). La programación de riegos en tiempo real. Junta Andalucía. Obtenido de La programación de riegos en tiempo real. Junta Andalucía: <http://www.cap.juntaandalucia.es>
- Llanes Cárdenas, O., Norzagaray Campos, M., & Muñoz Sevilla, N. P. (2014). Determinación de la evapotranspiración potencial (ETP) y de referencia (ETO) como indicadores del balance hídrico del Corazón Agrícola de México. *Juyyaania*, 119 - 129.
- Manrique Chávez, A. (1997). El maíz en el Perú. Lima: CONCYTEC.
- Marmolejo Gutarra, D., & Suasnabar Astete, C. (2000). Leguminosas de grano. Huancayo - Perú: Ediciones UNCP.
- Muro Erreguerena, J. (1988). Efectos de simulación de daños de pedrisco en maíz (*Zea mays* L). Madrid, España: DIALNET plus.
- NATUREDUCA. (30 de Abril de 2020). Naturaleza educativa. Geografía Física: Climatología. Obtenido de Naturaleza educativa. Geografía Física: Climatología: <https://natureduca.com/geografia-fisica-climatologia-08.php>
- Orneta Duran, M. E. (2018). Sistemas de siembra en el rendimiento de maíz (*Zea mays* L) amiláceo INIA 618 blanco quispicanchi, en condiciones edafoclimáticas del distrito de Panao, provincia Pachitea, región Huánuco. Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizan.
- Orozco-Ramírez, Q. P. (23 de Febrero de 2017). Distribución geográfica y diversidad de razas de maíz ( *Zea mays* L. subsp. *Mays* ) en México. Obtenido de Waayback Machine: <https://doi.org/10.1007/s10722-016-0405-0>

- Ospina Rojas, J. G., & Duarte Pérez, C. J. (2012). Fisiología de la planta de maíz. En Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia (págs. 34 - 59). Colombia: FENALCE.
- Portillo, G. (30 de Abril de 2020). Meteorología en Red. Obtenido de Meteorología en Red: <https://www.meteorologiaenred.com/las-precipitaciones.html>
- Riego, M. d. (2018). Requerimiento Agroclimático del Cultivo de Maíz Amiláceo. Lima.
- Riego, M. d. (2019). Requerimientos Agroclimáticos del Cultivo de Maíz Amiláceo. Ficha Técnica N° 07. Lima.
- Rios Pérez, M. (2009). Efecto en el rendimiento de grano de maíz (*Zea mays* L.) amarillo duro, var. marginal 28 t. según ubicación de la semilla en la mazorca en un entisol de Pucallpa. Ucayali.
- Rodríguez Mendoza, A. (2018). Densidad de plantas y niveles de guano de isla en el rendimiento de maíz amiláceo (*Zea mays* L.), *Huayaupiquio 3040 msnm - Ayacucho*. Ayacucho.
- Salazar Le, R. (1979). Guía para estudios de Evapotranspiración e Instalación de Parcelas Demostrativas con Riego por Superficie. Lima - Perú: Programa de Asistencia Técnica CID - ATA/CLASS.
- SENAMHI. (2017). Bases de Datos de Meteorología de Acobamba. Acobamba - Perú: SENAMHI - Estación Acobamba - Huancavelica.
- Sevilla, R. (2009). Incremento de rendimiento de Maíz en sierra Central del Perú a traves de conservación de razas Junín, Huancavelica y Ayacucho. Estudio de línea de base. Huancayo - Perú.: INIA - Estación Experimental Agraria Santa Ana.
- Solorzano Poma, L. W., & Mejía Anaya, T. (2013). Propuesta de diseño y evaluación económica de instalación de un campo experimental de riego por goteo para el

cultivo de melocotonero en el fundo Cañasbamba - UNASAM. Huaraz - Perú:  
Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayola.

Tamayo, M. (2012). El proceso de la investigación científica. México: Limusa.

Vásquez Aguilar, A. (2019). Efecto de tres dosis de fertilización en el rendimiento de tres variedades de maíz amiláceo (*Zea mays* L.) en tres localidades del distrito de Cutervo, 2016-2017. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo.



## Apéndice

Tabla 15. Test chi cuadrada de bondad de ajuste

	( a )	( b )	( c )
	4.28	3.17	1.51
	4.20	3.13	3.07
	7.99	6.57	24.76
	7.86	8.37	18.38
SUMA	24.33	21.24	47.72
Promedio	6.08	5.31	11.93
=			
n <sub>1</sub> =	4.00	4.00	4.00
SC M <sub>1</sub> =	13.59	20.28	393.29
S <sup>2</sup> C =	5.65		
T =	<b>0.46</b>		
T 0,05 =	-0.4370		
T 0,01 =	-38.9397		

**Observaciones:**

( a ). - Hargreaves =  $0,0075 \times T^{\circ}F \times RS$  (mm/día)  
x 1, 2 .

( b ). - FAO - CROPWAT

( c ).- Lisímetro (riego capilar).

Tabla 16. Distribución de “t” de Students probabilidad de dos colas

Libertad	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.01	0.005
1	6.3137	7.0264	7.9158	9.0579	10.5789	12.7062	15.8945	21.2051	63.6559	127.3211
<b>0.46</b>						<b>-0.4370</b>			<b>38.9397</b>	-
2	2.9200	3.1040	3.3198	3.5782	3.8964	4.3027	4.8487	5.6428	9.9250	14.0892
3	2.3534	2.4708	2.6054	2.7626	2.9505	3.1824	3.4819	3.8961	5.8408	7.4532
4	2.1318	2.2261	2.3329	2.4559	2.6008	2.7765	2.9985	3.2976	4.6041	5.5975
5	2.0150	2.0978	2.1910	2.2974	2.4216	2.5706	2.7565	3.0029	4.0321	4.7733

TC > T (Tabla)

Test de Chi cuadrada de bondad

<b>TC =</b>	<b>0.46 &gt; -0.4370 y - 38.9397</b>
Entonces se rechaza Ho y se acepta Ha	
Hipótesis:	Ha = La Evapotranspiración Potencial Etp., del Cultivo de haba (Vicia faba L.), obtenido en lisímetro superficial Acobamba es disímil de la información proveniente de Hargreaves ( $0,0075 \times T^{\circ} F \times R_s$ (mm/día) $\times 1,2$ ) y FAO - CROPWAT.
El valor estadístico de prueba es mayor que el valor tabular, la hipótesis nula ( Ho) es aceptada.	
Entonces se concluye diciendo que la metodología establecida (propuesta) para determinar Etp mediante el uso de lisímetro superficial no es diferente de la información de cálculo de Etp., propuesto por: Hargreaves = $0,0075 \times T^{\circ} F \times R_s$ (mm/día) $\times 1,2$ y FAO - CROPWAT., con 95% y 99% de probabilidad.	

Tabla 17. Registro de humedad relativa media mensual

**PROYECTO :**  
**ESTACIÓN HVCA**  
**ALTITUD: 3,675**  
**msnm.**

**UBICACIÓN:** Lat.: 13° Long: 75°  
 20' 20'

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
PROMEDIO	65.50	70.50	71.80	65.80	60.90	56.50	54.40	54.20	57.10	57.90	55.50	61.20
CH	0.98	0.90	0.88	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
CH	0.98	0.90	0.88	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Referencia: Elaboración Propia

$$CH = 0.166 (100 - 74)^{1/2}$$

CH = 1 para Humedad relativa < 64%

Tabla 18. Registro de temperatura media mensual en °C

**PROYECTO:**  
**ESTACIÓN HVCA**  
**ALTITUD: 3,675**  
**m.s.n.m.**

**UBICACIÓN:** Lat.: 13° 20' 20' Long: 75°

Nº	AÑO / MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1	1995	9.50	9.90	9.80	9.25	8.85	9.00	8.50	8.60	9.05	9.15	9.65	9.30
2	1996	9.70	9.35	9.80	8.65	8.40	8.70	7.80	8.40	8.50	9.70	9.40	9.40
3	1997	10.20	9.40	9.80	9.60	9.10	9.40	8.20	8.40	9.50	9.40	10.00	9.90
4	1998	8.30	8.30	8.20	6.70	5.10	4.60	3.90	5.00	6.10	6.90	8.50	8.20
5	1999	10.70	9.10	9.90	10.80	8.60	6.90	8.60	10.00	10.70	10.10	9.90	10.80
6	2000	10.60	10.30	9.80	9.70	9.50	9.30	9.20	9.70	10.10	10.40	10.40	10.30
7	2001	10.80	10.30	10.50	9.90	10.40	9.30	9.10	9.20	10.10	10.60	10.90	9.90
8	2002	10.10	10.40	10.80	10.10	9.20	9.20	8.70	9.30	9.50	9.40	9.40	10.30
9	2003	10.10	11.10	11.50	11.10	8.80	9.00	8.80	9.20	9.90	10.10	10.40	10.20
10	2004	10.80	10.10	10.00	8.70	8.80	8.30	8.40	8.20	8.80	8.70	9.80	10.00
11	2005	9.50	9.00	9.40	9.60	9.10	8.70	8.50	8.80	9.40	9.50	10.50	10.10
12	2006	9.00	9.20	8.90	9.40	9.10	8.90	8.90	7.90	9.10	10.50	11.10	11.00
13	2007	10.50	10.30	10.35	10.00	8.95	8.15	9.15	9.20	9.95	10.10	9.85	10.40
14	2008	10.60	10.20	10.15	10.10	9.45	7.55	8.85	8.90	9.60	10.25	11.65	10.10
<b>TOTAL</b>		140.40	136.95	138.90	133.60	123.35	117.00	116.60	120.80	130.30	134.80	141.45	139.90
<b>PROMEDIO</b>		<b>10.03</b>	<b>9.78</b>	<b>9.92</b>	<b>9.54</b>	<b>8.81</b>	<b>8.36</b>	<b>8.33</b>	<b>8.63</b>	<b>9.31</b>	<b>9.63</b>	<b>10.10</b>	<b>9.99</b>
<b>Promedio ° F</b>		<b>50.05</b>	<b>49.61</b>	<b>49.86</b>	<b>49.18</b>	<b>47.86</b>	<b>47.04</b>	<b>46.99</b>	<b>47.53</b>	<b>48.75</b>	<b>49.33</b>	<b>50.19</b>	<b>49.99</b>

Referencia: Propia

Tabla 19. Registro de radiación solar media mensual

**ESTACIÓN**  
**HVCA**  
**ALTITUD: 3,675**  
**m.s.n.m.**  
**UBICACIÓN:**            Lat.: 13° 20'            Long: 75° 20'

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
cal / cm <sup>2</sup> – día	543.00	504.48	496.61	592.51	586.68	585.28	563.96	545.00	515.42	535.49	566.48	590.60
mm / día	9.20	8.55	8.42	10.04	9.94	9.92	9.56	9.24	8.74	9.08	9.60	10.01

Referencia: Elaboración Propia

Tabla 20. Factor de Evapotranspiración Potencial MF en mm por mes

Lat. Sur.	E	F	M	A	M	J
1	2.283	2.117	2.354	2.032	2.137	1.990
2	2.321	2.134	2.357	2.199	2.106	2.956
3	2.353	2.154	2.360	2.167	2.079	1.922
4	2.385	2.172	2.362	2.151	2.050	1.888
5	2.416	2.189	2.363	2.134	2.020	1.854
6	2.447	2.205	2.683	2.117	1.980	1.820
7	2.478	2.221	2.336	2.095	1.959	1.785
8	2.496	2.337	2.362	2.061	1.927	1.750
9	2.538	2.281	2.360	2.062	1.896	1.715
10	2.587	2.228	2.357	2.043	1.864	1.679
11	2.588	2.278	2.354	2.023	1.832	1.844
12	2.625	2.292	2.350	2.002	1.799	1.808
13	2.652	2.305	2.343	1.981	1.767	1.572
14	2.660	2.317	2.340	1.959	1.733	1.536
15	2.707	2.328	2.334	1.937	1.700	1.500
16	2.734	3.339	2.327	1.914	1.660	1.464
17	2.760	2.349	2.319	1.891	1.832	1.427
18	2.785	2.353	2.311	1.897	1.590	1.391
19	2.811	2.338	2.302	1.843	1.564	1.354
20	2.635	2.370	2.293	1.818	1.529	1.318
Lat. Sur.	J	A	S	O	N	D
1	2.091	2.216	2.256	2.358	2.334	2.265
2	1.858	2.050	2.194	2.251	2.372	2.301
3	2.026	2.172	2.245	2.388	2.290	2.337
4	1.933	2.150	2.240	2.398	2.318	2.372
5	1.960	2.128	2.234	2.411	2.345	2.407
6	1.976	2.103	2.220	2.422	2.371	2.442
7	1.895	2.078	2.210	2.443	2.397	2.467
8	1.858	2.054	2.210	2.443	2.423	2.510

9	1.824	2.028	2.201	2.453	2.448	2.544
10	1.789	2.003	2.191	2.462	2.473	2.577
11	1.754	1.970	2.180	2.470	2.497	2.610
12	1.719	1.950	2.169	2.447	2.520	2.643
13	1.884	1.922	2.157	2.464	2.543	2.675
14	1.648	1.895	2.144	2.490	2.567	2.706
15	1.612	1.867	2.131	2.496	2.588	2.730
16	1.576	1.838	2.117	2.500	2.610	2.769
17	1.540	1.809	2.103	2.504	2.631	2.799
18	1.504	1.780	2.088	3.506	2.651	2.830
19	1.487	1.750	2.072	2.510	2.671	2.859
20	1.431	1.710	2.056	2.512	2.691	2.889

Fuente: FAO, IRRIGATION AND DRANAGE PAPER (1977)

Tabla 21. Radiación Extraterrestre, RMD, Expresado en Evaporación equivalente en mm/día

Hemisferio Sur												
LAT	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
12	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
13	16.65	16.35	15.35	13.85	12.3	11.4	11.8	13.05	14.6	15.8	16.45	16.55

Fuente: FAO, Boletín de Riego y Drenaje N° 24(6)

Tabla 22. Cálculo de la evapotranspiración potencial Hargreaves

ALTITUD: 3,675 m.s.n.m.

UBICACIÓN: Lat.: 13° 20' Long: 75° 20'  
 Método de HARGREAVES : Etp  
 mm/mes = M.F x T°F x CH. x 1,1

REFERENCIA	EN E	FEB	M AR	ABR	MA Y	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Días del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Temperatura ( °C)	10. 03	9.78	9.9 2	9.54	8.81	8.36	8.33	8.63	9.31	9.63	10.10	9.99
Temperatura °F	50. 05	49.61	49. 86	49.18	47.86	47.04	46.99	47.53	48.75	49.33	50.19	49.99
Coef Mens de ET (MF)	2.6 5	2.31	2.3 4	1.98	1.77	1.57	1.88	1.92	2.16	2.46	2.54	2.68
Humedad Relativa %, (HR)	65. 50	70.50	71. 80	65.80	60.90	56.50	54.40	54.20	57.10	57.90	55.50	61.20
Coeficiente Humedad Aire, CH >64% <= 1	0.9 8	0.90	0.8 8	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fact correc por Altitud > 1000 msnm	1.1 0	1.10	1.1 0	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
<b>EVAPO TRANSPIRACIÓN POTENCIAL(ETP)mm/día</b>	<b>4.5 923 885</b>	<b>4.050 188</b>	<b>3.6 540 61</b>	<b>3.467 691</b>	<b>3.000 777</b>	<b>2.7115 50</b>	<b>3.141 453</b>	<b>3.2416 43</b>	<b>3.8558 63</b>	<b>4.3131 58</b>	<b>4.6795 50</b>	<b>4.7447 47</b>
<b>EVAPO TRANSPIRACIÓN POTENCIAL(ETP)mm/mes</b>	<b>142 .36</b>	<b>113.4 1</b>	<b>113 .28</b>	<b>104.0 3</b>	<b>93.02</b>	<b>81.35</b>	<b>97.39</b>	<b>100.49</b>	<b>115.68</b>	<b>133.71</b>	<b>140.39</b>	<b>147.09</b>

Referencia: Elaboración Jesús A. Jaime P.

$$Etp_{mm/mes} = M.F \times T^{\circ}F \times CH. \times 1,1$$

1.1 factor de corrección para alturas > s a 1,000 msnm.

Factor de correccion para alturas > s a 1,000 msnm. =	1
Fact Elev por Altitud - CE	1+(0,04*3600/2000)

Tabla 23. Cálculo de la evapotranspiración potencial Hargreaves: ETP

Método de HARGREAVES : Etp mm/mes =  
 $0,0075 \times T^{\circ}F \times RS_{(mm/día)} \times 1,2$

REFERENCIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Días del mes	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Temperatura ( °C)	10.03	9.78	9.92	9.54	8.81	8.36	8.33	8.63	9.31	9.63	10.10	9.99
Temperatura °F	50.05	49.61	49.86	49.18	47.86	47.04	46.99	47.53	48.75	49.33	50.19	49.99
Rs mm/día (cal / cm2 - día / 59)	9.20	8.55	8.42	10.04	9.94	9.92	9.56	9.24	8.74	9.08	9.60	10.01
Fact correc por Altitud > 1000 msnm	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
<b>EVAPO TRANSPIRACIÓN POTENCIAL(ETP)mm/día</b>	<b>4.15</b>	<b>3.82</b>	<b>3.78</b>	<b>4.44</b>	<b>4.28</b>	<b>4.20</b>	<b>4.04</b>	<b>3.95</b>	<b>3.83</b>	<b>4.03</b>	<b>4.34</b>	<b>4.50</b>
<b>EVAPO TRANSPIRACIÓN POTENCIAL(ETP)mm/mes</b>	<b>128.52</b>	<b>106.89</b>	<b>117.09</b>	<b>133.34</b>	<b>132.78</b>	<b>126.00</b>	<b>125.32</b>	<b>122.50</b>	<b>114.99</b>	<b>124.92</b>	<b>130.10</b>	<b>139.61</b>

Referencia: Elaboración Jesús A. Jaime P.

$$Etp \text{ mm/mes} = 0,0075 \times T^{\circ}F \times RS_{(mm/día)} \times 1,2$$

1.2 factor de corrección para alturas > s a 1,000 msnm.

Factor:

0.0075

Factor de corrección para alturas > s a 1,000 msnm. =

1.2

Tabla 24. Cálculo de la evapotranspiración potencial Hargreaves Etp mm/mes

$$=0,0023*\text{Rad.Extrat. (mm/día)}*(\text{TM}^{\circ}\text{C} + 17,8)*\text{Dif. T }^{\circ}\text{C} ^{0.5}$$

REFERENCIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>Días del mes</b>	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Temperatura máxima media ( °C)	18.23	18.25	18.35	18.38	17.15	16.54	16.53	17.22	17.45	18.19	18.22	18.25
Temperatura mínima media ( °C)	1.83	1.31	1.49	0.70	0.47	0.18	0.13	0.04	1.17	1.07	1.98	1.73
Temperatura media diaria ( °C)	10.03	9.78	9.92	9.54	8.81	8.36	8.33	8.63	9.31	9.63	10.10	9.99
Diferencia de tem TD °C	16.40	16.94	16.86	17.68	16.68	16.36	16.40	17.18	16.28	17.12	16.24	16.52
Radiación Extraterrestre, RMD, Expresado en Evaporación equivalente en mm/día	16.65	16.35	15.35	13.85	12.30	11.40	11.80	13.05	14.60	15.80	16.45	16.55
<b>EVAPO TRANSPIRACIÓN POTENCIAL(ETP)m m/día</b>	<b>4.32</b>	<b>4.27</b>	<b>4.02</b>	<b>3.66</b>	<b>3.07</b>	<b>2.77</b>	<b>2.87</b>	<b>3.29</b>	<b>3.67</b>	<b>4.12</b>	<b>4.25</b>	<b>4.30</b>
<b>EVAPO TRANSPIRACIÓN POTENCIAL(ETP)m m/mes</b>	<b>133.79</b>	<b>119.53</b>	<b>124.58</b>	<b>109.87</b>	<b>95.31</b>	<b>83.22</b>	<b>89.02</b>	<b>101.93</b>	<b>110.18</b>	<b>127.85</b>	<b>127.63</b>	<b>133.30</b>

Referencia: Elaboración Jesús A. Jaime P.

$$\text{Etp mm/mes} = 0,0023*\text{Rad. Extrat. (mm/día)}*(\text{TM }^{\circ}\text{C} + 17,8)*\text{Dif. T }^{\circ}\text{C}^{0,5}$$

Factor:

0.0023

Tabla 25. Cálculo de riego del cultivo de habas (Vicia faba L) Hargreaves:

$$0.0023 * \text{Rad Extrat (mm/día)} * T_M \text{ °C} + 17.8) * \text{Dif. T °C} ^{0.5}$$

FASES	MES	ETP (mm) Referencia	ETA (L) Cultivo	ETA (L/m <sup>2</sup> ) Cultivos mm	kc	PP Mensual (mm)	PE (Precipitación efectiva) mm	DHd mm	Dhd Er	Da (demanda de agua) m <sup>3</sup> /ha.	Caudal en 8 horas de riego	
Inicial	Mayo	95.17	1.51	21.362	0.22	0.00	0.00	21.36	53.405	53.4052005	0.22252167	L/Segundos
Desarrollo	Junio	83.10	3.07	43.432	0.52	0.00	0.00	43.43	108.579	108.578785	0.4524116	L/Segundos
Fructificación	Julio	88.97	6.74	95.351	1.07	0.00	0.00	95.35	238.378	238.37818	0.99324241	L/Segundos
	Agosto	101.99	18.02	254.930	2.50	0.00	0.00	254.93	637.326	637.325637	2.65552349	L/Segundos
Madurez	Setiembre	110.10	12.71	179.809	1.63	0.00	0.00	179.81	449.523	449.523244	1.87301352	L/Segundos
	Octubre	127.72	5.67	80.214	0.63	0.00	0.00	80.21	200.535	200.534759	0.8355615	L/Segundos
TOTAL										1687.74581		

21.3620802	AREA DEL LISIMETRO	0.070686	m <sup>2</sup>	riego por gravedad (Er)	0.40
95.1700				riego por aspersion (Er)	0.66
83.1000				riego por goteo (Er)	0.80
88.9700					
101.9900					
110.1000					
127.7200					

Tabla 26. Cálculos de riego del cultivo de Haba (Vicia faba L) Hargreaves RS

FASES	MES	ETP (mm) Referencia	ETA (L) Cultivo	ETA (L/m2) Cultivo es mm	kc	PP Mensual (mm)	PE (Precipitacion efectiva) mm	DHd mm	Dhd Er	Da (demanda de agua) m3/ha.	Caudal en 8 horas de riego	
Inicial	Mayo	132.68	1.51	21.362	0.16	0.00	0.00	21.36	53.405	53.4052005	0.22252167	L/Segundos
Desarrollo	Junio	126.00	3.07	43.432	0.34	0.00	0.00	43.43	108.579	108.578785	0.4524116	L/Segundos
Fructificación	Julio	125.24	6.74	95.351	0.76	0.00	0.00	95.35	238.378	238.37818	0.99324241	L/Segundos
	Agosto	122.45	18.02	254.930	2.08	0.00	0.00	254.93	637.326	637.325637	2.65552349	L/Segundos
Madurez	Setiembre	114.90	12.71	179.809	1.56	0.00	0.00	179.81	449.523	449.523244	1.87301352	L/Segundos
	Octubre	124.93	5.67	80.214	0.64	0.00	0.00	80.21	200.535	200.534759	0.8355615	L/Segundos
TOTAL										1687.74581		

21.3620802	AREA DEL LISIMETRO	0.0706	86 m2	riego por gravedad (Er)	0.40
132.68				riego por aspersion (Er)	0.66
126.00				riego por goteo (Er)	0.80
125.24					
122.45					
114.90					
124.93					

Tabla 27. Cálculos de riego del cultivo de Haba (Vicia faba L) Cropwat

FASES	MES	ETP (mm) Referencia	ETA (L) Cultivo	ETA (L/m2) Cultivos mm	kc	PP Mensual (mm)	PE (Precipitación efectiva) mm	DHd mm	Dhd Er	Da (demanda de agua) m3/ha.	Caudal en 8 horas de riego
Inicial	Mayo	98.27	1.51	21.362	0.22	0.00	0.00	21.36	53.405	53.4052005	0.22252167 L/Segundos
Desarrollo	Junio	93.90	3.07	43.432	0.46	0.00	0.00	43.43	108.579	108.578785	0.4524116 L/Segundos
Fructificación	Julio	96.10	6.74	95.351	0.99	0.00	0.00	95.35	238.378	238.37818	0.99324241 L/Segundos
	Agosto	107.57	18.02	254.930	2.37	0.00	0.00	254.93	637.326	637.325637	2.65552349 L/Segundos
Madurez	Setiembre	119.40	12.71	179.809	1.51	0.00	0.00	179.81	449.523	449.523244	1.87301352 L/Segundos
	Octubre	136.09	5.67	80.214	0.59	0.00	0.00	80.21	200.535	200.534759	0.8355615 L/Segundos
TOTAL										1687.74581	

21.3620802	AREA DEL LISIMETRO	0.07068	6 m2	riego por gravedad (Er)	0.40
98.27				riego por aspersion (Er)	0.66
93.90				riego por goteo (Er)	0.80
96.10					
107.57					
119.40					
136.09					

Tabla 28. Cálculos de riego del cultivo de Haba (Vicia faba L) Cropwat

FASES	MES	ETP (mm) Referencia	ETA (L) Cultivo	ETA (L/m2) Cultivos mm	kc	PP Mensual (mm)	PE (Precipitación efectiva) mm	DHd mm	Dhd Er
Inicial	Mayo	93.02	1.51	21.362	0.23	0.00	0.00	21.36	53.405
Desarrollo	Junio	81.35	3.07	43.432	0.53	0.00	0.00	43.43	108.579
Fructificación	Julio	97.39	6.74	95.351	0.98	0.00	0.00	95.35	238.378
	Agosto	100.49	18.02	254.930	2.54	0.00	0.00	254.93	637.326
Madurez	Setiembre	115.68	12.71	179.809	1.55	0.00	0.00	179.81	449.523
	Octubre	133.71	5.67	80.214	0.60	0.00	0.00	80.21	200.535

TOTAL

21.362080  
2

AREA DEL  
LISIMETRO

0.0706  
86 m2

93.02  
81.35  
97.39  
100.49  
115.68  
133.71

riego por gravedad (Er)	0.40
riego por aspersion (Er)	0.66
riego por goteo (Er)	0.80

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES / INDICADORES	METODOLOGIA
<p><b>Problema General</b> ¿Cuáles son las diferencias de la utilización de parámetros de riego de otras latitudes en la determinación de la demanda de agua de riego del cultivo de haba (<i>Vicia faba</i> L.) en condiciones de Acobamba Huancavelica?</p>	<p><b>Objetivo General</b> Evaluar los parámetros de requerimiento hídrico del Cultivo de haba (<i>Vicia faba</i> L.), obtenido mediante estudio lisimétrico superficial en Acobamba Huancavelica.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comparar entre sí, para las condiciones locales, las tasas de evapotranspiración potencial (<b>ETp</b>) obtenido en otras latitudes y mediante lisímetro en Acobamba.</li> <li>• Obtener los coeficientes de cultivo (<b>Kc</b>) de haba a través de la relación <b>ETa / ETp</b>.</li> <li>• Determinar la lámina de riego a aplicar durante el ciclo vegetativo para el cultivo de haba en las condiciones de Acobamba, Huancavelica.</li> <li>• Establecer la demanda de agua para el riego de haba en Acobamba Huancavelica.</li> </ul>	<p><b>Ho:</b> La Evapotranspiración Potencial (ETp), del Cultivo de haba (<i>Vicia faba</i> L.), obtenido en lisímetro superficial Acobamba no es disímil de la información proveniente de Hargreaves (<math>0,0075 \times T^{\circ} F \times R_s</math> (mm/día) x 1,2) y FAO - CROPWAT.</p> <p><b>Ha:</b> La Evapotranspiración Potencial ETp., del Cultivo de haba (<i>Vicia faba</i> L.), obtenido en lisímetro superficial Acobamba es disímil de la información proveniente de Hargreaves (<math>0,0075 \times T^{\circ} F \times R_s</math> (mm/día) x 1,2) y FAO - CROPWAT.</p>	<p><b>Variable independiente:</b> Precipitación Temperatura Radiación solar</p> <p><b>Variable dependiente:</b> ETp Eta Kc Rendimiento</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Emergencia</li> <li>▪ Altura de planta</li> <li>▪ Rendimiento</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación:</b> Tecnológica</p> <p>➤ <b>Nivel de investigación:</b> Exploratorio</p> <p>➤ <b>Método:</b> Deductivo directo y cuantitativo</p> <p>➤ <b>Diseño investigación:</b> Cuasi Experimental</p>