

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA**

(Creada por Ley N° 25265)



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMÍA  
TESIS**

**“ESTUDIO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL E<sub>p</sub>,  
DEL CULTIVO DE HABA (*Vicia faba* L.), CON TRES NIVELES DE  
CAPA FREÁTICA EN LA PROVINCIA Y DISTRITO DE  
ACOBAMBA - HUANCVELICA”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN  
TECNOLOGÍA DE RIEGO  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGRÓNOMO  
PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
ALEX ROY JESLY JAIME MARMOLEJO  
ACOBAMBA - HUANCVELICA**

**2014**

**ACTA DE SUSTENTACION O APROBACION DE UNA DE LAS MODALIDADES DE TITULACION**

81

En la Ciudad Universitaria "Común Era"; auditorio de la Facultad Ciencias Agrarias, a los 24 días del mes de abril del año 2014, a horas 12:40 p.m., se reunieron; el Jurado Calificador, conformado de la siguiente manera:

PRESIDENTE : Dr. David RUIZ VÍLCHEZ  
SECRETARIO : Mg. Sc. Efraín David ESTEBAN NOLBERTO  
VOCAL : Ing. Leónidas LAURA QUISPETUPA

Designados con resolución N° 429-2013-CF-FCA-UNH; del: proyecto de investigación o examen de capacidad o informe técnico u otros. Titulado: "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 HUANCAMELICA".

Cuyo autor es el (los) graduado (s):

BACHILLER (S): Alex Roy Jesly Jaime Marmolejo

A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del: proyecto de investigación o examen de capacidad o informe técnico u otros, antes citado.

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

APROBADO POR  UNANIMIDAD.....

DESAPROBADO

En conformidad a lo actuado firmamos al pie.

  
\_\_\_\_\_  
PRESIDENTE

  
\_\_\_\_\_  
SECRETARIO

  
\_\_\_\_\_  
VOCAL

"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."



**ASESOR: Ing. Jesús Antonio JAIME PIÑAS**

**DEDICATORIA**

Con todo mi afecto a mis padres, mi esposa y mi pequeño hijo, porque fueron el impulso y motivo para realizar este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

- ✓ A mi padre Ing. Jesús Antonio Jaime Piñas por su apoyo incondicional en la realización de la presente investigación.
- ✓ Al Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias Dr. David Ruiz Vélchez, por su ayuda en la realización del trabajo de investigación.
- ✓ A la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Huancavelica, por haberme acogido y recibido para continuar mi desarrollo profesional.

## ÍNDICE

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCCION</b>	<b>10</b>
<b>CAPITULO I: PROBLEMA</b>	
<b>1.1. Planteamiento de Problema</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Formulación de problema</b>	<b>12</b>
<b>1.3. Objetivos: General y Específicos</b>	<b>12</b>
<b>1.4. Justificación</b>	<b>12</b>
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b>	
<b>2.1 Antecedentes</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Bases Teóricas</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1. Necesidad de Agua de los Cultivos</b>	<b>15</b>
<b>2.2.2. Evapotranspiración</b>	<b>19</b>
<b>2.2.3. Uso Consuntivo</b>	<b>20</b>
<b>2.2.4. Lisímetro</b>	<b>23</b>
<b>2.2.5. Cultivo de Haba</b>	<b>23</b>
<b>2.3. Hipótesis</b>	<b>31</b>
<b>2.4. Variables de estudio</b>	<b>31</b>
<b>2.4.1. Variables Independientes</b>	<b>31</b>
<b>2.4.2. Variables Dependientes</b>	<b>31</b>
<b>2.4.3. Variable Interviniente</b>	<b>32</b>
<b>2.5. Definición operativa de variables e indicadores</b>	<b>32</b>
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN</b>	
<b>3.1. Ámbito de estudio</b>	<b>33</b>
<b>3.2. Tipo de investigación</b>	<b>33</b>
<b>3.3. Nivel de investigación</b>	<b>33</b>
<b>3.4. Método de investigación</b>	<b>34</b>
<b>3.5. Diseño de investigación</b>	<b>34</b>

3.5.1. Tratamientos y Repeticiones de Estudio	34
3.5.2. Croquis Experimental y Distribución	35
3.5.3. Características del diseño Experimental	35
3.6. Población, Muestra y Muestreo	36
3.7. Técnica e instrumentos de recolección de datos	37
3.8. Procedimiento de recolección de datos	37
3.9. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	38
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS</b>	
4.1. Presentación de resultados	39
4.1.1. Análisis del suelo	39
4.1.2. Factores Físico Químicos del Suelo	39
4.1.3. Fórmulas de Abonamiento	40
4.1.4. Emergencia de Plantas de Haba	41
4.1.5. Altura de Plantas de Haba	43
4.1.6. Número de Vainas por Tratamiento	45
4.1.7. Rendimiento de Plantas por Tratamiento	48
4.1.8. Evapotranspiración de Habas por Tratamiento	50
4.1.9. Evapotranspiración de los Tratamientos y repeticiones Durante la Investigación.	53
4.1.10. Cálculos de Riego para el Cultivo de haba ( <i>Vicia faba</i> L.)	53
4.2. Discusión	56
<b>CONCLUSIONES</b>	57
<b>RECOMENDACIONES</b>	59
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	61
<b>ARTICULO CIENTIFICO</b>	62
<b>ANEXOS</b>	73
<b>TESTIMONIO FOTOGRAFICO</b>	74

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
<b>CUADROS:</b>	
Cuadro N° 01. Emergencia (días/tratamiento)	41
Cuadro N° 02. Análisis de Varianza de los Tratamientos	41
Cuadro N° 03. Prueba Significación de Tukey	41
Cuadro N° 04. Altura de Planta (m /tratamiento)	43
Cuadro N° 05. Análisis de Varianza de los Tratamientos	43
Cuadro N° 06. Prueba Significación de Tukey para la Altura de Planta	44
Cuadro N° 07. Número de Vainas (por planta y / o tratamiento)	45
Cuadro N° 08. Análisis de Varianza de los Tratamientos para el Número de vainas por planta.	46
Cuadro N° 09. Prueba Significación de Tukey para el Número de vainas por planta.	46
Cuadro N° 010. Índice de Rendimiento en Kg. / Tratamiento	48
Cuadro N° 011. Análisis de Varianza del Rendimiento de los Tratamientos	48
Cuadro N° 012. Prueba Significación de Tukey para el Rendimiento	49
Cuadro N° 013. Índice de Evapotranspiración en Litros / tratamiento.	50
Cuadro N° 014. Análisis de Varianza de la Evapotranspiración de los Tratamientos.	51
Cuadro N° 015. Prueba Significación de Tukey para la Evapotranspiración.	51
Cuadro N° 016. Pérdida de Agua por Evapotranspiración.	53
Cuadro N° 017. Cálculos de la Demanda de Agua Total en la Investigación.	53
Cuadro N° 018. Cálculos de la Demanda de Agua Total en FAO.	54
Cuadro N° 019. Cálculos de la Demanda de Agua Total según Oscar Gary en el Valle del Mantaro – Junín- Perú.	54

## ÍNDICE DE GRAFICOS

### GRÁFICOS:

<b>Gráfica N°01. Representación Gráfica de la Emergencia en días/ tratamiento.</b>	<b>42</b>
<b>Gráfica N°02. Representación Gráfica de la Emergencia de Plantas de Haba en Promedio.</b>	<b>42</b>
<b>Gráfica N°03. Representación Gráfica de la Altura de planta en m / tratamiento.</b>	<b>44</b>
<b>Gráfica N°04. Representación Gráfica del Promedio de las Alturas de las Plantas en m / tratamiento.</b>	<b>45</b>
<b>Gráfica N°05. Representación Gráfica del Número de Vainas por Tratamiento.</b>	<b>47</b>
<b>Gráfica N°06. Representación Gráfica del Número de Vainas en promedio por Tratamiento.</b>	<b>48</b>
<b>Gráfica N°07. Representación Gráfica del Rendimiento en Kg / Tratamiento.</b>	<b>49</b>
<b>Gráfica N°08. Representación Gráfica del Promedio del Rendimiento en Kg./Tratamiento.</b>	<b>50</b>
<b>Gráfica N°09. Representación Gráfica de la Evapotranspiración en Litros por tratamiento.</b>	<b>52</b>
<b>Gráfica N°10. Representación Gráfica de la Evapotranspiración en Litros por tratamiento en Promedio.</b>	<b>52</b>
<b>Gráfica N°11. Representación Gráfica de la Demanda de Agua en m<sup>3</sup> /ha calculados por la Investigación, FAO y Oscar Garay en el Valle del Mantaro – Junín- Perú.</b>	<b>55</b>
<b>Gráfica N°12. Representación Gráfica de la Demanda de Agua Total en m<sup>3</sup> /ha calculados en la Investigación, FAO y por Oscar Gary en el Valle del Mantaro – Junín- Perú.</b>	<b>55</b>

## RESUMEN

Este presente trabajo de investigación se realizó en el fundo "Vista Hermosa Casa Blanca" Acobamba – Huancavelica y con el apoyo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Huancavelica, con el objetivo de hacer un estudio de la evapotranspiración potencial del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) y determinar la tasa de evapotranspiración potencial para las condiciones locales, así como también, determinar el nivel óptimo de capa freática y comparar las exigencias de agua, para establecer las demandas de riego en periodos de mayor necesidad.

Se utilizó el Diseño Experimental de Bloques Completamente Randomizados, con tres tratamientos y tres repeticiones empleando lisímetros para cada uno de ellos y para disminuir el efecto borde se sembró plantas de haba alrededor del área experimental, durante todo el proceso se realizó pruebas de confrontación de datos referidos a las cantidades de agua agregados en cada lisímetro según las distintas capas freáticas en estudio.

Los resultados indican que el nivel óptimo de capa freática para el cultivo de haba en Acobamba para hacer cálculos de riego se presentan a una profundidad de 0.25m de capa freática y la tasa de la evapotranspiración potencial es: Fase inicial 107,291 m<sup>3</sup> / ha; Fase de desarrollo: 252,604 m<sup>3</sup> / ha; Fase de fructificación: 307,552 m<sup>3</sup> / ha; Fase de madurez: 149,479 m<sup>3</sup> / ha. Además los coeficientes de cultivo calculados para la zona de Acobamba son Fase inicial: Kc = 0.363; Fase de desarrollo: Kc= 0.735; Fase de fructificación: Kc= 0.844; Fase de madurez: Kc= 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.

Los resultados obtenidos permitirán adaptarse en los cálculos de necesidad hídrica del cultivo de habas en las "distintas etapas fenológicas del cultivo", así como en la demanda de agua con fines de formular proyectos de riego más realistas al contar con información in situ y actualizada.

## INTRODUCCION

:

La producción de cultivos alimenticios en la provincia de Acobamba se ha convertido en una necesidad prioritaria, debido al crecimiento y desarrollo de la población, pues gran parte de los productos comestibles, son traídos de otros lugares alejados, la producción local tiene rendimientos por debajo del promedio nacional sin embargo estos podrían incrementarse con buenos cálculos de riego relacionados a factores climáticos.

Los diferentes factores de rendimiento son cada vez más estudiados y/o controlados por el hombre tal es así que el incremento de las producción agrícola se ha convertido cada vez más en una necesidad para los pueblos que quieran satisfacer sus necesidades de alimentación y por ende alcanzar el desarrollo económico y social de sus localidades.

Es por esta razón que viendo al cultivo de haba como una de las especies más cultivadas en esta zona y no habiendo ningún estudio de la evapotranspiración, a pesar de ser de importancia para el cálculo del manejo de riego, la presente investigación trata del "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." Siendo el objetivo general: Establecer la evapotranspiración potencial, del cultivo de haba en Acobamba Huancavelica y los objetivos específicos: Comparar entre sí, para las condiciones locales, las tasas de evapotranspiración potencial (ETp) a partir de diferentes niveles de capa freática. Obtener los coeficientes de cultivo (Kc) de haba a través de la relación  $ETA / ETp$ . Establecer la demanda de agua para el riego de haba en Acobamba Huancavelica. Comparar las exigencias de agua en periodos de mayor necesidad de este elemento y finalmente llegar a otros resultados que aplicados contribuyan a incrementar la producción de los cultivos y sea útil al sector especializado de investigadores, ingenieros agrónomos, estudiantes y agricultores.

## CAPITULO I: PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

El manejo de agua para riego requiere adecuadas estimaciones de los requerimientos de riego de los cultivos, lo cual significa conocer con precisión las necesidades hídricas de estos si pretendemos tener satisfactorios rendimientos a pesar de la baja disponibilidad de recursos hídricos en Acobamba y la poca investigación que se ha llevado adelante relacionada a la determinación de los requerimientos de riego bajo las condiciones prevalentes de clima y suelo teniendo en cuenta que en un futuro cercano se contará con un sistema de riego de 3500 has.

Este desconocimiento de información local en materia de requerimiento hídrico de los cultivos hace difícil el dimensionamiento de los sistemas de riego futuros, lo cual resulta en errores significativos en el cálculo de los requerimientos de agua para esas condiciones, especialmente en el caso de habas andinos ya que ellos presentan singulares dinámicas relacionadas al sistema 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 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, las necesidades de riego de este cultivo no han sido completamente determinadas ni tampoco su curva de sensibilidad al déficit hídrico, cuyo conocimiento podría dar luces sobre el mejor manejo de los limitados recursos hídricos disponibles orientados al 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 crasos 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 subdimensionamiento de los sistemas de riego. Por ello, se percibe la necesidad de contar con un método aceptable de cálculo de necesidades de riego de haba bajo las condiciones locales de poca disponibilidad de datos meteorológicos y tomando en cuenta la especificidad del cultivo.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuáles son las consecuencias 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:

### General:

- ✓ Establecer la Evapotranspiración Potencial ETp., del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), en tres niveles de capa freática en Acobamba Huancavelica.

### Específicos:

- ✓ Comparar entre sí, para las condiciones locales, las tasas de evapotranspiración potencial (**ETp**) a partir de diferentes niveles de capa freática.
- ✓ Obtener los coeficientes de cultivo (**Kc**) de haba a través de la relación **ETA / ETp**.
- ✓ Establecer la demanda de agua para el riego de haba en Acobamba Huancavelica.

## 1.4. Justificación del trabajo de investigación

### Científico:

La investigación va orientada de forma íntegra a solucionar problemas directos de las necesidades hídricas de los cultivos en la formulación de proyectos de riego, los que actualmente toman como referencia información de otras latitudes y longitudes de nuestro planeta lo cual, conlleva crasos errores que al plantear cédulas de cultivo en doble campaña de producción se manifiestan de manera categórica en la operatividad 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 parcela. El presente trabajo de investigación busca mediante una tecnología productiva sencilla en un lisímetro 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.

**Social:**

La ejecución de la tesis corresponde un trabajo de investigación científico, que permitirá obtener datos de evapotranspiración potencial y coeficientes de cultivo (kc), verídicos para ser utilizados en lugares parecidos a la propuesta, ésta información se requiere para el diseño agronómico de los sistemas de riego de manera adecuada, confiable, validada y, con ello brindando estabilidad, bienestar individual, familiar; mayor participación social y comunitaria de las organizaciones de regantes, resurgiendo los valores ancestrales, finalmente, se promueven la capacitación y la creatividad del agricultor en las actividades agrícolas y especialmente tecnología de riego.

**Económico:**

El conocimiento adecuado de la evapotranspiración potencial, permitirá una adecuada estimación del uso consuntivo del cultivo información que a su vez, asentará planificar una programación adecuada de riego del cultivo de haba, consecuentemente se obtendrán mejores cosechas y réditos económicos en beneficio del productor.

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

### 2.1. Antecedentes

La Evapotranspiración depende de condiciones climáticas, condiciones de humedad del suelo y, del desarrollo fisiológico de un cultivo; sin embargo, las demandas de evapotranspiración potencial para un proyecto, generalmente se pueden estimar si se sabe la evapotranspiración potencial (ETP) para el cultivo de referencia y, aplicándoles a esta evapotranspiración un coeficiente  $K_c$  que relaciona la demanda de agua de un cultivo con ETP, en cualquier etapa de desarrollo desde la siembra hasta la cosecha. La evapotranspiración potencial (ETA) de un cultivo se puede tasar como  $ETA = K_c \times ETP$ , donde ETA generalmente tiene unidades de lámina / tiempo. Sabiendo luego, la extensión de área de cada cultivo se puede estimar la demanda total de agua por los cultivos **(Salazar, 1979)**.

El Perú cuenta con 5'475.976 Has (INEI, 1994) cultivables, de las cuales 2'833.817 se ubican en la sierra (69% en secano y 31% bajo riego), áreas en las que el agua de riego se maneja con una eficiencia que varía del 20 al 30%.

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-PEPMI), 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, aspersion, 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) **(Garay, 2007)**.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Necesidad de Agua de los Cultivos

**JUNTA DE ANDALUCIA**; en su publicación: Aplicación WEB para la programación de riegos en tiempo real; **refiere** que la **programación de los riegos** implica determinar **cuándo se ha de regar y cuánta agua aplicar**; para lo cual, es imprescindible conocer las características del cultivo, las características físicas del suelo y las condiciones climáticas de la zona. 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. **Menciona** así mismo que, ya es conocido que la cantidad de agua que las plantas transpiran es mucho mayor que la que retienen y llega a formar parte de ellas (usada en procesos de crecimiento y fotosíntesis). 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, es 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.

**SÁNCHEZ MARTÍNEZ M. I.** (2001), con relación a los métodos de determinación de la evapotranspiración Potencial, opina que la evapotranspiración es un fenómeno complejo, debido a la diversidad de factores que lo afectan. Por una parte, se encuentran las condiciones ambientales imperantes en el momento en que se desea cuantificar su intensidad, las cuales se pueden agrupar bajo el concepto de factores climáticos, o meteorológicos según el caso; pero también, son muy importantes las relativas a las características de la vegetación que cubre el suelo, dado que cada vegetal tiene requerimientos hídricos distintos, con lo cual la tasa de transpiración será diferente según la planta. 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, *ETP*, introducida por Ch. Thornthwaite en 1948, considera que el proceso sólo está controlado por las condiciones climáticas; en este caso, la *ETP* 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<sub>o</sub>*, 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 *ETP* o *ET<sub>o</sub>*, antes definidos, pero también entregan una aproximación sobre la magnitud efectiva o real del proceso, lo cual es considerado por el concepto de *ETR*. Para determinar la *ETR* 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<sub>c</sub>)* con los cuales se ponderan los valores de *ETP* o *ET<sub>o</sub>* 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 hidrológicos.

### 2.2.2. Evapotranspiración

FAO., 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.

### 2.2.3. Uso Consuntivo

**GARAY CANALES O. B.** (2009); 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 (Kc) 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 (Kc), 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:

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Determinar en grandes áreas (cuencas) los posibles volúmenes de agua en exceso a drenar.
5. 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 Hualahoyo, provincia de Huancayo, Departamento de Junín, y en el Centro Demostrativo del Sub-Proyecto "La 3 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 N°01, 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.

**Tabla N°01. Coeficiente de uso consuntivo (Kc\*) de los principales cultivos de los Andes Centrales del Perú, determinados para varias etapas del crecimiento.**

Cultivos	Días desde siembra a cosecha														
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
<b>Papa</b>	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
<b>Maíz choclo</b>	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
<b>Haba en verde</b>	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
<b>Arveja verde</b>	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
<b>Trigo (*)</b>	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
<b>Col</b>	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
<b>Acelga (*)</b>	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	x
<b>Cebolla</b>	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
<b>Espinaca (*)</b>	0,18	0,22	0,32	0,48	0,71	0,92	1,04	1,06	1,06	0,94	0,73	x	x	x	x
<b>Lechuga</b>	0,21	0,28	0,37	0,50	0,67	0,82	0,91	0,96	0,96	0,91	0,79	x	x	x	x
<b>Zanahoria</b>	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

FAO, en la Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos referido a la Evapotranspiración del cultivo, en el Capítulo 5, Introducción a la evapotranspiración del cultivo (ETc), **describe** la metodología del coeficiente del cultivo para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ETc). 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 (ETo) 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 (Kc). En la metodología del coeficiente del cultivo, la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando ETo por Kc.

Finalmente en la tabla N°02, se muestra los valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo, Kc y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no

estresados y bien manejados en climas sub-húmedos (HR min  $\approx$  45%,  $u_2 \approx$  2 m s-1) para usar en la fórmula de la FAO Penman - Monteith ETo.

**Tabla N°02. Promedio temporal del cultivo, Kc y alturas medias máximas**

Cultivo	K <sub>cs</sub> <sup>3</sup>	K <sub>const</sub>	K <sub>cb</sub>	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
e. Leguminosas (Leguminosae)	0,4	1,15	0,55	
Frijoles o judías, verdes	0,5	1,05 <sup>2</sup>	0,90	0,4
Frijoles o judías, secos y frescos	0,4	1,15 <sup>2</sup>	0,35	0,4
Garbanzo (chick pea)		1,00	0,35	0,4
Habas - Fresco	0,5	1,15 <sup>2</sup>	1,10	0,8
- Seco/Semilla	0,5	1,15 <sup>2</sup>	0,30	0,8
Garbanzo hindú	0,4	1,15	0,35	0,8
Caupís (cowpeas)		1,05	0,60-0,35 <sup>6</sup>	0,4
Maní		1,15	0,60	0,4
Lentejas		1,10	0,30	0,5
Guisantes o arveja - Frescos	0,5	1,15 <sup>2</sup>	1,10	0,5
- Secos/Semilla		1,15	0,30	0,5
Soya		1,15	0,50	0,5-1,0

Fuente. Estudio FAO Riego y Drenaje

## 2.2.4. Lisímetro

**Salazar (1979)** narra que, 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.

## 2.2.5. Cultivo de Haba

### A. Origen e Historia

**Cerrate et al (1981)** reportan que, 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 y Suasnabar (2000).**

#### **B. Taxonomía de la Planta:**

**Aliaga (2004)**, realiza una clasificación taxonómica de la siguiente manera:

<b>DIVISIÓN</b>	:	Spermathophyta (Magnoliophyta), (Fanerógamas).
<b>SUB DIVISIÓN</b>	:	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>	:	<i>Vicia</i> .
<b>ESPECIE</b>	:	<i>Vicia faba</i> L.

#### **C. Morfología de la Planta:**

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

##### **C.1. Sistema de Raíces:**

**Camarena et al (2003)** estipulan que, 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. Así mismo, **Marmolejo y Suasnabar (2000)**, mencionan: En las raíces secundarias por lo general se forman los nódulos, donde se alojan las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico.

### **C.2. El Tallo Principal y Ramas:**

**Camarena et al (2003)** mencionan que, 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.

**Marmolejo y Suasnabar (2000)** aseveran que, los tallos son erguidos, fistulosos y robustos.

### **C.3. Los Nudos Vegetativos y Reproductivos:**

**Camarena et al (2003)**, mencionan que, 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.

#### **C.4. Las Hojas:**

**Camarena et al (2003)** aseveran que, 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 sombreado 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*.

**Marmolejo y Suasnabar (2000)** mencionan que, 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 semi sagitadas. 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.

#### **C.5. Las Flores e Inflorescencias:**

**Camarena et al (2003)** mencionan que, 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.

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 %.

**Marmolejo y Suasnabar (2000)** indican que, 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.

#### **C.6. La Etapa de Floración:**

**Camarena et al (2003)** indican que, 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.

### **C.7. El Fruto:**

**Camarena et al (2003)** reportan que, 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.

**Marmolejo y Suasnabar (2000)** aseveran que, 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.

### **C.8. La Etapa de Llenado de Granos:**

**Camarena et al (2003)** dicen que, 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.

### **C.9. Las Semillas:**

**Camarena et al (2003)** manifiestan que, en 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 plumizo.

**Marmolejo y Suasnabar (2000)** indican que, 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, hiliium 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.

#### **D. 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. (Camarena, 1981).

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. (Martínez, 1995)

##### **D.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. (VERA, 2001).

### 2.3. Hipótesis

#### Hipótesis planteada

El uso consuntivo (Kc) obtenido con datos de Evapotranspiración Potencial ETp., del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), evaluado en Acobamba es disímil que la información proveniente de la FAO y Valle del Mantaro Junín – Perú.

#### Hipótesis alternante

El uso consuntivo (Kc) obtenido con datos de Evapotranspiración Potencial ETp., del Cultivo de haba (*Vicia faba* L.), evaluado en Acobamba no es disímil que la información proveniente de la FAO y Valle del Mantaro Junín – Perú.

### 2.4. Variables de Estudio

#### 2.4.1. Variables independientes

- ✓ Niveles de capa freática.
- ✓ Precipitación
- ✓ Temperatura.
- ✓ Radiación solar.

#### 2.4.2. Variable Dependiente

- ✓ ETP.
- ✓ ETA.

- ✓ Kc.
- ✓ Rendimiento.

### 2.4.3. Variable Interviniente

- ✓ Clima

### 2.5. Definición operativa de variables e indicadores

Variable	Definición Operacional	Indicador	Categoría o Escala	Criterio de medición de las categorías
<b>a. Variable Independiente</b>				
Niveles de capa freática	Medición Lisímetro	cm	25-30-35	Campo experimental
Precipitación	Historial ciclo del cultivo	mm	mm/día	Medición en campo
Temperatura	Historial ciclo del cultivo	°C	°C	Estación FCA - UNH
<b>b. Variable Dependiente</b>				
ETP	$ETP = MF * MTF * CH * CE$ y / o $ETP$ $mm/mes = 1.1 (M.F \times T^{\circ}F \times CH \times CE)$	mm / día	ETP Setiembre	Ciclo del cultivo
			ETP Octubre	
			ETP Noviembre	
			ETP Diciembre	
ETA	Medición Lisímetro	mm / día	ETP Setiembre	Ciclo del cultivo
			ETP Octubre	
			ETP Noviembre	
			ETP Diciembre	
Kc	$Kc = ETA / ETP$	Coeficiente	Inicial	Según etapas del cultivo
			Desarrollo	
			Fructificación	
			Madurez	
Rendimiento	Evaluación cosecha	T / Ha	promedio	Cosecha del cultivo

## CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. Ámbito de estudio

#### 3.1.1. Ubicación política:

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

#### 3.1.2. Ubicación geográfica:

Altitud	: 3423 m.s.n.m.
Latitud sur	: 12° 50.6' 22" de la línea ecuatorial
Longitud oeste	: 74° 33' 41.46" Meridiano de Greenwich

#### 3.1.3. Factores climáticos:

Precipitación pluvial promedio anual	: 650 ml
Humedad relativa	: 60 %
Temperatura promedio anual	: 12°C

### 3.2. Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo aplicado.

### 3.3. Nivel de Investigación

El presente trabajo de investigación es de nivel explicativo experimental.

### 3.4. Método de Investigación

El método de investigación se basará mediante trabajo de campo y gabinete para evaluar la evapotranspiración potencial mediante lisímetros con tres niveles de capa freática en el cultivo de haba, el cual estará constituido por las siguientes etapas:

1. **Primera Etapa.-** Recopilación de Información y preparación de terreno.
2. **Segunda Etapa.-** Instalación de lisímetros en campo, pruebas iniciales e instalación del cultivo, labores de campo y mantenimiento del nivel de capa freática en forma diaria.
3. **Tercera Etapa.-** Evaluación y conducción del experimento complementado con la sistematización de la información obtenida.
4. **Cuarta Etapa.-** Análisis y discusión de resultados
5. **Quinta Etapa.-** Elaboración del informe y Publicación de resultados.

### 3.5 Diseño de Investigación

El experimento se conducirá en un Diseño de Block Completamente Randomizado (DBCR) con comparaciones múltiples Tukey = 0.05.

#### 3.5.1. Tratamientos y Repeticiones de Estudio:

**Variedad:**

Variedad de Haba : V = Pacae jaspeado

**Tratamientos:** Niveles de capa freática: (profundidad)      **Repeticiones**

T1 =0.25 m

R1

T2 =0.30 m

R2

T3 =0.35 m

R3

**Unidades Experimentales en Estudio:**

T1R1

T2R1

T3R1

T1R2

T2R2

T3R2

T1R3

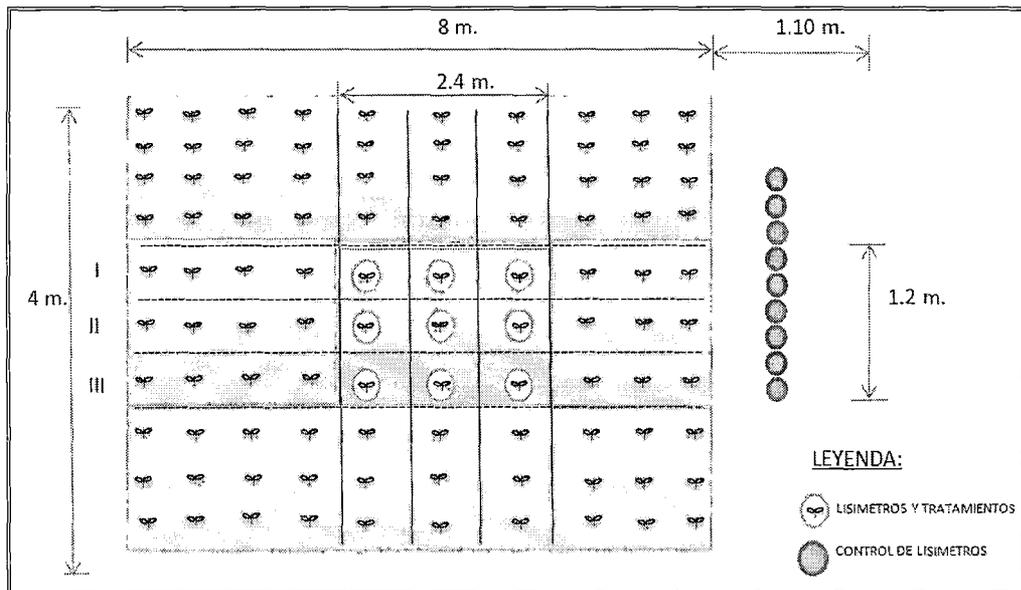
T2R3

T3R3

**Análisis de varianza (ANVA).**

F de V	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Sig.
Repeticiones	(r-1)=2	$\Sigma X^2 \cdot j / \text{trat-TC}$	SC Rep. /GL Rep.	CM Rep. /CM error	**
Tratamiento	(t-1)=2	$\Sigma X^2 i. / \text{rep-TC}$	SC Trat. /GL Trat.	CM Trat. /CM error	**
Error	(r-1)(t-1)=4	SCTotal -SCRep.- SCTrat.	SC Error /GL Error		
Total	rt-1=8	$\Sigma X^2 ij - \text{TC}$			

**3.5.2. Croquis Experimental y Distribución**



**3.5.3. Características del Diseño Experimental.-**

- N° de block	3
- N° de lisímetros / block	3
- N° de pozas entre blocks	3
- N° total de lisímetros	9
- N° de tratamientos	3

- N° de repeticiones	3
- N° de surcos por poza	1
- N° de plantas por poza	3
- N° de surcos totales	10
- Largo de surco	4 m.
- Ancho de surco - surco	0.80 m.
- Diámetro del lisímetro	0.30 m.
- Profundidad del lisímetro	0.48 m.
- Área del lisímetro	0.070686m <sup>2</sup>
- Ancho del campo experimental	4 m.
- Largo del campo experimental	9.10 m.
- Área útil de campo experimental	2.88 m <sup>2</sup> .
- Área total del campo experimental	32 m <sup>2</sup> .

### 3.6. Población, Muestra y Muestreo

#### 3.6.1. Población

En el presente trabajo de investigación tiene como población a todas las plantas de cultivo de Haba, en el área total del campo experimental, sembradas en el fundo "Vista Hermosa Casa Blanca" Acobamba.– Huancavelica.

#### 3.6.2. Muestra

Fue constituida por 9 unidades experimentales con instalaciones de lisímetros, controlando la dotación de agua necesaria y de cada una de estas se procedió a tomar los datos de evapotranspiración semanal, emergencia, altura de planta, número de vainas por planta, y rendimiento por tratamiento.

#### 3.6.3. Muestreo

Para la toma de datos se hizo la distribución randomizada de las unidades experimentales, teniendo en cuenta que cada tratamiento tiene tres repeticiones, los cuales están destinados a mejorar la precisión del experimento y el cálculo del error experimental.

### 3.7. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Variable	Técnica	Instrumento
Volumen aplicado (cc).	Medida directa	Vaso graduado
ETP (mm).	Cálculo matemático	Fórmula
Uso Consuntivo (Kc).	Cálculo matemático	Fórmula
Demanda de agua	Cálculo matemático	Fórmula
Niveles de capa freática	Medida directa	Cinta métrica
Peso de granos.	Peso	Balanza
Rendimiento.	Peso	Balanza

### 3.8. Procedimiento de recolección de datos

En la presente investigación se realizaron trabajos de campo y gabinete que consistieron en la toma de muestras de suelo a distintas profundidades, observación del consumo de agua de las plantas en los lisímetros, así como también el estado fenológico del cultivo, para recolectar estos datos, se utilizó una probeta, vaso de precipitación, y para el desarrollo fenológico se utilizó una cinta métrica, también se utilizaron las fórmulas de Hargreaves en base a la Temperatura  $ETP = MF * MTF * CH * CE$  y la fórmula para calcular la evapotranspiración del cultivo:  $ETA = Kc * ETP$  para calcular el kc del cultivo y siendo necesario para esto, los datos meteorológicos de temperatura húmeda y seca mensual.

#### 3.8.1 Historial del campo

Los cultivos que antecedieron a la siembra e instalación del experimento fueron

- ✓ Campaña de 2010.....cultivo de Habas
- ✓ Campaña del 2011.....cultivo de Papa
- ✓ Campaña del 2012.....cultivo de Maíz
- ✓ Campaña del 2013.....cultivo de Habas

#### 3.8.2 Análisis de Suelo

Las muestras de suelo fueron tomadas a diferentes profundidades siendo estas 25, 30 y 35 cm de profundidad resultando tres submuestras de suelo por poza experimental, finalmente tres submuestras que resultaron de homogenizar las diferentes tomadas a distintas profundidades en su totalidad siendo cada una de 1kg.

### 3.9. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Se llevó a cabo a través de los siguientes procesos:

- ✓ Obtención de datos muestrales.
- ✓ Sumatoria de datos y sus promedios.
- ✓ Análisis de varianza
- ✓ Prueba de Tukey  $\alpha = 0,05$
- ✓ Histograma

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Presentación de resultados

#### 4.1.1. Análisis del suelo

##### A. Análisis Mecánico

DETERMINACION DE LA TEXTURA POR EL METODO DEL HIDROMETRO	
LIMO	26%
ARCILLA	19%
ARENA	54%

Corresponde a un suelo Arcillo - Arenoso.

##### B. Análisis Químico

ANALISIS Y METODO	RESULTADO
Determinación De La Materia Orgánica (METODO DE WALKLEY Y BLACK)	3.31 %
Determinación Del Nitrógeno Total (METODO MICRO KJELDAHL)	0.141 %
Determinación Del Fósforo Disponible (MÉTODO DE OLSEN)	22.8 p.p.m.
Determinación del Potasio Disponible (METODO DE PEECH EXTRACTOR)	544 Kg/Ha
Determinación del Calcáreo Total (METODO DEL GASO VOLUMETRICO)	4.47%
Determinación del pH (METODO DEL POTENCIOMETRO)	8.2
Determinación de la Conductividad Eléctrica ( METODO DEL CONDUCTIVIMETRO)	0.6 mmhos/cm

#### 4.1.2. Factores Físico Químico del Suelo

**A. Estructura:** Granular suelta.

**B. Permeabilidad:** Rápida.

**C. Percolación:** 49.8%.

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

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

**F. Nitrógeno Total:** El contenido de nitrógeno total 0.14%. Calificación de medio.

**G. Fosforo Disponible:** Es un suelo muy bien provisto de fosforo disponible 22.8 p.p.m. Calificación alto.

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

**I. 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.

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

**K. Calcareo Total:** Siendo el límite máximo 3.5 % en nuestro caso 4.47% determina que el suelo sea calcáreo no perjudicial para la planta pero si afecta la relación suelo –agua, por favorecer a la formación de una estructura muy suelta susceptible a secamiento rápido.

#### 4.1.3. Fórmulas de Abonamiento

Dependen del tipo de suelo, el cultivo de haba es muy exigente en fósforo, potasio y elementos menores como en calcio, boro, molibdeno, magnesio, manganeso. En tal sentido se debe complementar con fertilizantes foliares en el macollamiento, floración y fructificación, con el propósito de proveer micro-elementos esenciales para la nodulación y floración. Por otro lado debemos indicar la necesidad de usar materia orgánica, para lograr un mejor efecto del fertilizante, así mismo mejorar el suelo en cuanto a retención de agua, su estructura y otros aspectos físico-químicos.

SUELOS	N° DE SACOS POR HECTARIA	
	FOSFATO DIAMONICO	CLORURO DE POTASIO
Altos	4	2
Medios	5	3
Bajos	6	4

En este trabajo de investigación por tratarse de suelos altos en fosforo y potasio usamos la fórmula de abonamiento siguiente, 4 sacos de fosfato diamónico y 2 sacos de cloruro de potasio por hectárea, además se utilizó el abono foliar MASTER FOL-P y el fungicida Homai 3g por 5Kg de semilla.

#### 4.1.4. Emergencia de Plantas de Haba

**Cuadro N° 01. Emergencia (días/tratamiento).**

REPETICIONES	NIVEL DE CAPA FREÁTICA			ΣX <sub>j</sub>
	T1(N.F=0.25m)	T2(N.F=0.30m)	T3(N.F=0.35m)	
REP 1	14	17	15	46,000
REP 2	14	15	15	44,000
REP 3	17	14	17	48,000
ΣXi.	45	46	47	138,000
Xi	15,000	15,333	15,667	15,333

Como se puede apreciar en el cuadro N° 01, la emergencia (días/tratamiento), existe solo una pequeña diferencia de tiempo en promedio entre las plantas para emerger del suelo que es de un día.

**Cuadro N° 02. Análisis de Varianza.**

F de V	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Ft.		Sig.
					0,05	0,01	
Repeticiones	2	2,667	1,333	0,50	6,94	18	N.S
Tratamiento	2	0,667	0,333	0,12	6,94	18	N.S
Error	4	10,667	2,667				
Total	Σni-1=8	14,000					

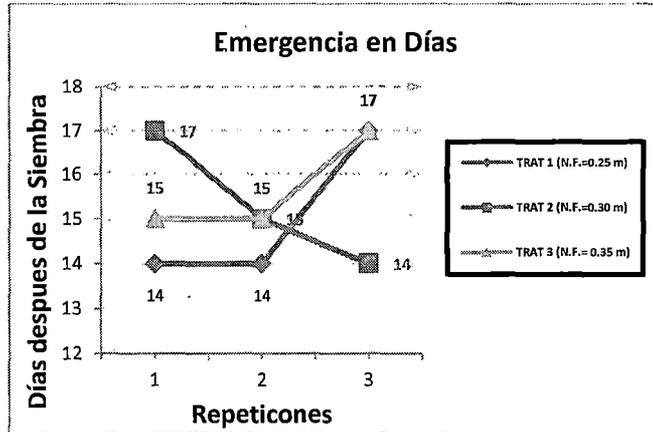
Como se puede observar en el cuadro N°02. Análisis de Varianza, la emergencia de las tratamientos no presenta diferencia estadística significativa, dentro de los tratamientos, ni dentro de las repeticiones, esto debido al carácter genético que gobierna a las variables en estudio.

**Cuadro N° 03. Prueba Significación de Tukey.**

O.M.	TRATAMIENTOS	Ī /PLANTA	SIGNIFICACION		
1	T3(N.F=0.35m)	15,667	a		
2	T2(N.F=0.30m)	15,333	a	b	
3	T1(N.F=0.25m)	15,000		b	c

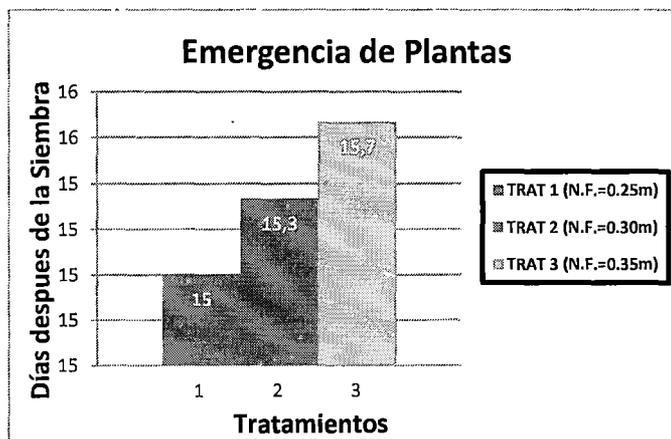
En el cuadro N° 03. La prueba de significación de Tukey de los promedios se observa que el T1, presenta diferencia estadística con T3 y obtuvo en promedio el menor tiempo de emergencia 15 días pero no presenta diferencia estadística con T2.

**Gráfica N°01. Representación Gráfica de la Emergencia en días/ tratamiento.**



En el grafico N°01, se observa que existe una pequeña variación en los días que demoran las plantas para su emergencia del suelo, siendo el rango de emergencia de 14 a 17 días después de la siembra.

**Gráfica N°02. Representación Gráfica de la Emergencia de Plantas de Haba en Promedio.**



En el grafico N°02, se observa que en promedio el T1 fue el primero en emerger del suelo que los tratamientos T2 y T3 después de la siembra.

#### 4.1.5. Altura de Plantas de Haba

**Cuadro N° 04. Altura de Planta (m /tratamiento)**

REPETICIONES	NIVEL DE CAPA FREÁTICA			ΣX <sub>j</sub>
	T1(N.F=0.25m)	T2(N.F=0.30m)	T3(N.F=0.35m)	
REP 1	0,70	0,75	0,65	2,10
REP 2	0,78	0,76	0,60	2,14
REP 3	0,92	1,06	0,77	2,75
ΣXi.	2,400	2,570	2,020	6,990
$\bar{X}_i$	0,800	0,857	0,673	0,777

El cuadro N° 04, la altura de Planta (m /tratamiento), muestra que existe en promedio solo una pequeña diferencia en las alturas de las plantas de los tratamientos T1 y T2, mientras que el T3 presenta una diferencia de casi 20 cm con los otros tratamientos.

**Cuadro N° 05. Análisis de Varianza de los Tratamientos**

F de V	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Ft.		Sig.
					0,05	0,01	
Repeticiones	2	0,088	0,044	12,95	6,94	18	*
Tratamiento	2	0,053	0,026	7,737	6,94	18	*
Error	4	0,014	0,003				
Total	Σni-1=8	0,155					

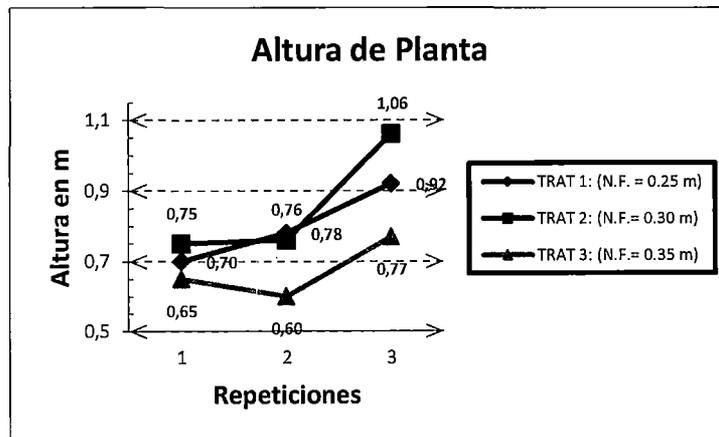
Como se puede observar en el cuadro N°05, el análisis de varianza de los tratamientos, las alturas de las plantas presentan diferencia estadística significativa dentro de los tratamientos esto debido a la disponibilidad de agua de cada uno de los ellos (NF: 0.25m, NF: 0.30m, NF: 0.35m) y también existe diferencia estadística significativa dentro de las repeticiones, esto debido al carácter genético que gobierna a las variables en estudio.

**Cuadro N° 06. Prueba Significación de Tukey para la Altura de Planta**

O.M.	TRATAMIENTOS	X m /PLANTA	SIGNIFICACION	
1	T2(N.F=0.30m)	0,857	a	
2	T1(N.F=0.25m)	0,800	a	b
3	T3(N.F=0.35m)	0,673		c

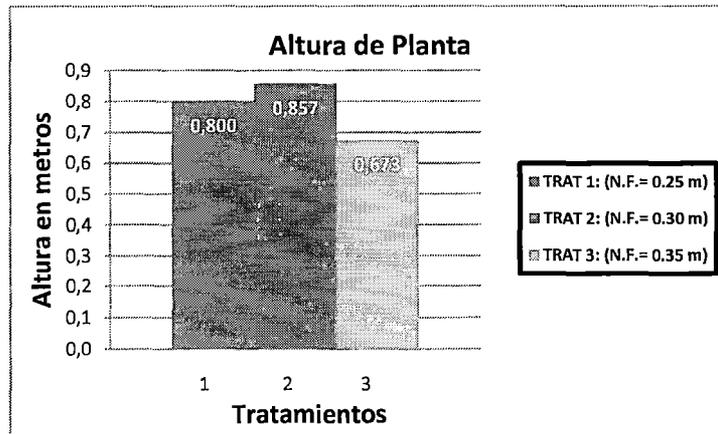
En el cuadro N° 06, la prueba de significación de Tukey, para la altura de planta; se observa que el T3 muestran significación estadística con T1 y T2 esto debido a la disponibilidad de agua para diferentes niveles de capa freática.

**Gráfica N°03. Representación Gráfica de la Altura de planta en m / tratamiento.**



En el grafico N°03, la representación gráfica de la altura de planta en metros por tratamiento, se observa que existe diferencia en las alturas de las plantas, el T3 alcanzo 0.77m, en comparación con el T2 que alcanzo 0.92m y T1 alcanzo 1.06m respectivamente.

**Gráfica N°04. Representación Gráfica del Promedio de las Alturas de las Plantas en m / tratamiento.**



En el grafico N°04, la representación gráfica del promedio de las alturas de las plantas en m/ tratamiento, se observa que en promedio el T2 obtuvo las plantas más altas con 0.857m, el T1 en segundo lugar con 0.8m y el T3 en tercer lugar con 0.673m.

#### 4.1.6. Número de Vainas por Planta de Haba

**Cuadro N° 07. Número de Vainas (por planta y / o tratamiento)**

REPETICIONES	NIVEL DE CAPA FREÁTICA			$\Sigma X_{.j}$
	T1(N.F=0.25m)	T2(N.F=0.30m)	T3(N.F=0.35m)	
REP 1	11	13	3	27
REP 2	13	10	6	29
REP 3	16	11	5	32
$\Sigma X_{i.}$	40	34	14	88
$\bar{x}_i$	13,333	11,333	4,667	9,778

Como se puede apreciar en el cuadro N° 07, el número de vainas (por planta y / o tratamiento), hay una diferencia en el promedio del número de vainas por planta entre el T1 y T2 de 2 vainas, y entre T2 y T3 de 6.6.

**Cuadro N° 08. Análisis de Varianza de los Tratamientos para el Número de vainas por planta.**

F de V	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Ft.		Sig.
					0,05	0,01	
Repeticiones	2	4,222	2,111	0,47	6,94	18	N.S.
Tratamiento	2	123,556	61,778	13,90	6,94	18	*
Error	4	17,778	4,444				
Total	$\Sigma ni-1=8$	146					

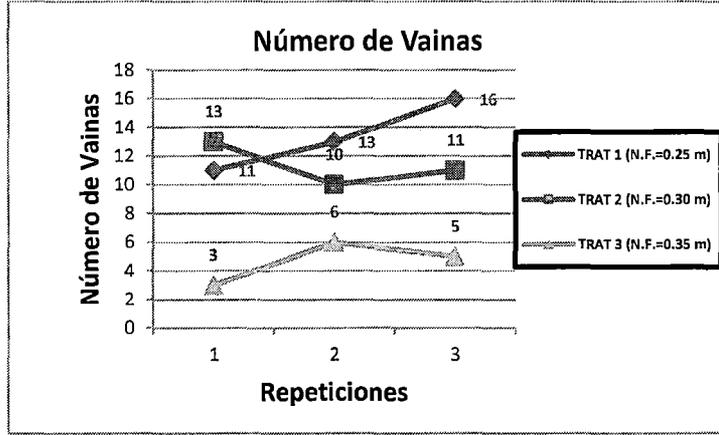
Observando el cuadro N°05, el análisis de varianza de los tratamientos para el número de vainas por planta, nos muestra que no existe diferencia estadística significativa entre las repeticiones esto debido a que usamos la misma semilla que gobierna el carácter genético a las variables en estudio. También podemos apreciar que si existe diferencia estadística significativa entre tratamientos, esto debido a la disponibilidad de agua de cada uno de los tratamientos (NF: 0.25m, NF: 0.30m, NF: 0.35m).

**Cuadro N° 09. Prueba Significación de Tukey para el Número de vainas por planta.**

O.M.	TRATAMIENTOS	X' /PLANTA	SIGNIFICACION		
1	T1(N.F=0.25m)	13,333	a		
2	T2(N.F=0.30m)	11,333	a	b	
3	T3(N.F=0.35m)	4,667			c

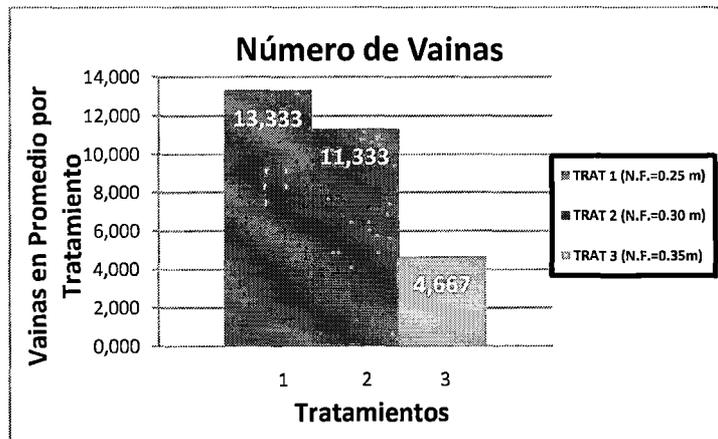
En el cuadro N° 09, la prueba significación de los promedios de Tukey para el Número de vainas por planta; se observa que el tratamiento T1 muestra significación estadística con T2 y T3 esto debido a la disponibilidad de agua de los tratamientos.

**Gráfica N°05. Representación Gráfica del Número de Vainas por Tratamiento.**



En el grafico N°05, la representación gráfica del número de vainas por tratamiento, se observa que existe diferencia en el número de vainas por tratamiento, T1 alcanzo 16 vainas en la repetición número 3, mientras que el T2 alcanzo a tener 13 vainas en la primera repetición y T3 obtuvo como máximo en la segunda repetición 6 vainas respectivamente.

**Gráfica N°06. Representación Gráfica del Número de Vainas en promedio por Tratamiento.**



En el grafico N°06, la representación gráfica del número de vainas en promedio por tratamiento, se observa que en promedio el T1 obtuvo el mayor número de vainas por planta con 13.3 vainas por planta, el T2 en obtuvo 11.3 vainas por planta y el T3 en tercer lugar con 4.67 vainas por planta.

#### 4.1.7. Rendimiento de Plantas de Habas por Tratamiento

**Cuadro N° 010. Índice de Rendimiento en Kg. / Tratamiento.**

REPETICIONES	NIVEL DE CAPA FREÁTICA			ΣX <sub>j</sub>
	T1(N.F=0.25m)	T2(N.F=0.30m)	T3(N.F=0.35m)	
REP 1	0.33	0.39	0.09	0.81
REP 2	0.39	0.300	0.18	0.87
REP 3	0.480	0.33	0.15	0.960
ΣXi.	1.200	1.020	0.420	2.640
$\bar{x}_i$	0.400	0.340	0.140	0.293

Como se puede apreciar en el cuadro N° 10, el índice de rendimiento en Kg. / tratamiento, existe una diferencia en el rendimiento promedio de los tratamientos obteniéndose, 0.400Kg en el T1, 0.340 Kg en el T2 y 0.140 Kg en el T3.

**Cuadro N° 011. Análisis de Varianza del Rendimiento de los Tratamientos.**

F de V	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Ft.		Sig.
					0.05	0.01	
Repeticiones	2	0.004	0.002	0.475	6.94	18	N.S.
Tratamiento	2	0.111	0.056	13.9000	6.94	18	*
Error	4	0.016	0.004				
Total	Σni-1=8	0.131					

En este cuadro N° 11, el análisis de Varianza del Rendimiento de los Tratamientos, vemos que no existe diferencia estadística significativa entre las repeticiones esto debido al carácter genético que gobierna a las variables en estudio y también observamos que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos, esto



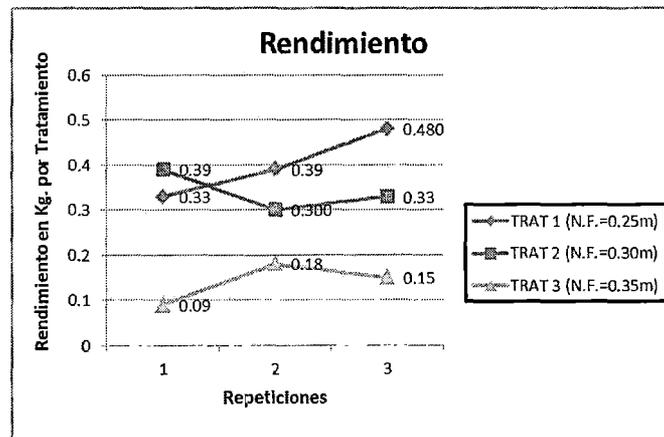
debido al agua que cada uno de los tratamientos recibe (NF: 0.25m, NF: 0.30m, NF: 0.35m), donde el T1 obtuvo mayor disponibilidad de agua y mayor rendimiento, seguido del T2.

**Cuadro N° 012. Prueba Significación de Tukey para el Rendimiento.**

O.M.	TRATAMIENTOS	X kg /PLANTA	SIGNIFICACION		
1	T1(N.F=0.25m)	0.400	a		
2	T2(N.F=0.30m)	0.340	a	b	
3	T3(N.F=0.35m)	0.140			c

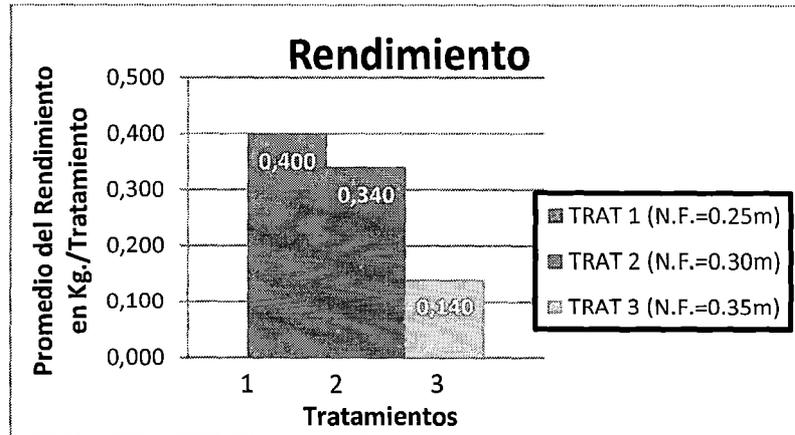
En el cuadro N° 12, la prueba significación de Tukey para el rendimiento; se observa que el T3 muestra diferencia estadística significativa con el T1 y T2, mientras que T2 no muestra diferencia significativa con T1, esto debido exclusivamente a la disponibilidad de agua regulada por el nivel de capa freática.

**Gráfica N°07. Representación Gráfica del Rendimiento en Kg / Tratamiento.**



En el grafico N°07, la representación gráfica del rendimiento en Kg / Tratamiento, se observa que existe diferencia entre los rendimientos, el T1 alcanzo un rendimiento máximo de 0.240Kg, en comparación con el T2 que alcanzó un máximo de 0.195kg y T3 alcanzo 0.09kg respectivamente.

**Gráfica N°08. Representación Gráfica del Promedio del Rendimiento en Kg./Tratamiento.**



En el grafico N°08, la representación gráfica del promedio del rendimiento en Kg./Tratamiento, se observa que en promedio el T1 obtuvo el mayor rendimiento 0.4kg por tratamiento, el T2 en obtuvo 0.340kg por tratamiento y en el T3 se obtuvo 0.140kg por tratamiento.

#### 4.1.8. Evapotranspiración de Plantas de Habas por Tratamiento

**Cuadro N° 013. Índice de Evapotranspiración en Litros / tratamiento.**

REPETICIONES	NIVEL DE CAPA FREÁTICA			$\Sigma X_{.j}$
	T1(N.F=0.25m)	T2(N.F=0.30m)	T3(N.F=0.35m)	
REP 1	24,675	27,56	1,1	53,335
REP 2	32,2	23,725	0,675	56,6
REP 3	21,550	24,35	0,5	46,400
$\Sigma X_{i.}$	78,425	75,635	2,275	156,335
$\bar{x}_i$	26,142	25,212	0,758	17,371

Como se puede apreciar en el cuadro N° 13, el índice de evapotranspiración en litros / tratamiento, existe una diferencia en la evapotranspiración promedio de los tratamientos obteniéndose, 26,142 L en el T1, 25,212 L en el T2 y 0,758 L en el T3.

**Cuadro N° 014. Análisis de Varianza de la Evapotranspiración de los Tratamientos**

F de V	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Ft.		Sig.
					0,05	0,01	
Repeticiones	2	18,088	9,044	0,716	6,94	18	N.S.
Tratamiento	2	1243,144	621,572	49,2262	6,94	18	* *
Error	4	50,507	12,627				
Total	$\Sigma ni-1=8$	1311,740					

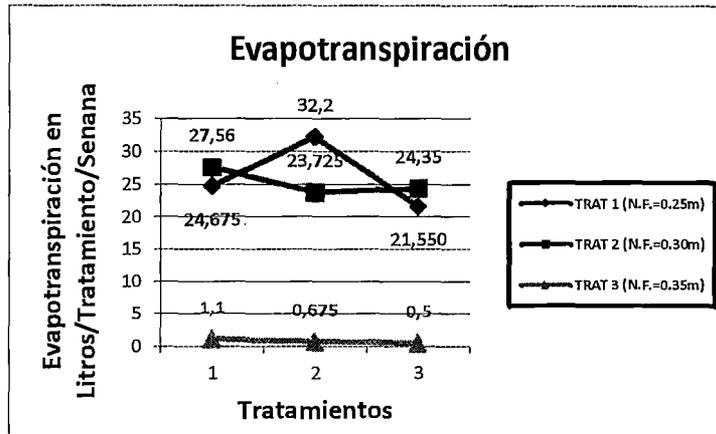
En este cuadro N°14, el análisis de varianza de la evapotranspiración de los tratamientos, vemos que no existe diferencia estadística significativa entre las repeticiones esto debido al carácter genético que gobierna a las variables en estudio y también observamos que existe diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos, esto debido a que cada tratamiento está dispuesto a diferente nivel de capa freática (NF:0.25m, NF:0.30m, NF:0.35m), donde el T1 obtuvo mayor disponibilidad de agua, seguido del T2 y luego T3.

**Cuadro N° 015. Prueba Significación de Tukey para la Evapotranspiración**

O.M.	TRATAMIENTOS	X L / PLANTA	SIGNIFICACION		
1	T1(N.F=0.25m)	26,142	a		
2	T2(N.F=0.30m)	25,212	a	b	
3	T3(N.F=0.35m)	0,758			c

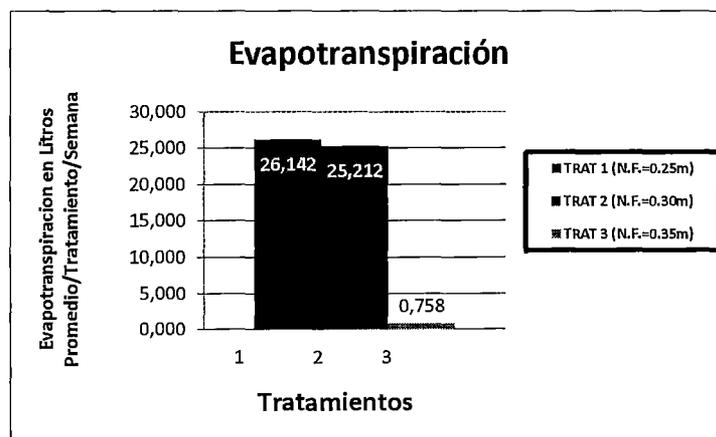
En el cuadro N° 15, la prueba significación de Tukey para la evapotranspiración; se observa que el T1 no muestra diferencia estadística significativa con el T2, mientras que T3 muestra diferencia significativa con T1 y T2.

Gráfica N°09. Representación Gráfica de la Evapotranspiración en Litros por tratamiento.



En el grafico N°09, la representación gráfica de la evapotranspiración en litros por tratamiento, se observa que existe diferencia en la evapotranspiración de los tratamientos, el T1 alcanzo una evapotranspiración máxima de 32.2 L, en comparación con el T2 que alcanzó un máximo de 27.56 L y T3 alcanzo 1.1 L respectivamente.

Gráfica N°10. Representación Gráfica de la Evapotranspiración en Litros por tratamiento en Promedio.



En el grafico N°10, la representación gráfica de la evapotranspiración en litros por tratamiento en promedio, se observa que en promedio el T1 obtuvo la mayor

evapotranspiración con 26.142 L por tratamiento, el T2 en obtuvo 25.212 L por tratamiento y en el T3 se obtuvo 0.758 L por tratamiento.

#### 4.1.9. Evapotranspiración de los Tratamientos y Repeticiones durante la Investigación.

**Cuadro N° 016. Pérdida de Agua por Evapotranspiración**

Tratamiento	SEPTIEMBRE 2017				OCTUBRE 2017				NOVIEMBRE 2017				DICIEMBRE 2017				TOTAL en litros	
	5	12	19	26	3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19		26
T3R1	200	200	150	100	0	150	100	0	100	100	0	0	0	0	0	0	0	1,100
T1R1	400	1050	1200	1300	1875	1750	1600	1650	1475	2100	1900	2125	2000	1500	1000	1750	0	24,675
T2R1	700	1100	1200	1100	1100	1350	1350	2000	1650	2600	2700	3100	2900	1950	980	1780	0	27,560
T1R2	450	850	1000	1200	1500	1700	1800	2400	2000	3000	3000	3500	3800	2550	1200	2250	0	32,200
T2R2	500	800	1000	1100	1200	1100	1300	650	1200	2225	2200	2500	2750	2200	1000	2000	0	23,725
T3R2	0	150	0	0	0	0	0	125	0	200	0	0	0	200	0	0	0	0,675
T2R3	600	700	850	1300	1700	1500	1600	1950	1350	1900	1700	2000	2000	2000	1500	1700	0	24,350
T3R3	0	150	100	0	0	0	125	75	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0,500
T1R3	250	700	800	1100	1350	1350	1200	1475	1125	1600	1800	2100	2600	1100	1000	2000	0	21,550

#### 4.1.10. Cálculos de Riego del Cultivo de Haba (*Vicia faba* L.)

**Cuadro N° 017. Cálculos de la Demanda de Agua Total en la Investigación**

FASES	ETP (mm) Referencia	ETA (L/m <sup>2</sup> ) Cultivo es mm	kc	Da (demanda de agua) m <sup>3</sup> /ha.
Inicial	133,74	48,572	0,363	121,429043
Desarrollo	155,59	114,356	0,735	285,888766
Fructificación	164,87	139,231	0,844	348,076941
Madurez	152,88	67,670	0,443	169,175414
			<b>TOTAL</b>	<b>924,5701648</b>

Como se observa en el cuadro N° 17, los cálculos de la demanda de agua total en la investigación, en la fase Inicial se calculó 121.43 m<sup>3</sup>/ha, en la fase de desarrollo se calculó 285.89 m<sup>3</sup>/ha, en la fase de fructificación se calculó 348.08 m<sup>3</sup>/ha, en la fase de

madurez se calculó 169.18 m<sup>3</sup>/ha. Dando un total en todo el desarrollo fenológico 924.570 m<sup>3</sup>/ha.

**Cuadro N° 018. Cálculos de la Demanda de Agua Total en FAO**

FASES	ETP (mm) Referencia	ETA (L/m <sup>2</sup> ) Cultivo es mm	kc	Da (demanda de agua) m <sup>3</sup> /ha.
Inicial	133.74	66.8715877	0.5	167.178969
Desarrollo	155.59	205.773412	1.323	514.43353
Fructificación	164.87	218.03863	1.323	545.096575
Madurez	152.88	168.163608	1.1	420.40902
<b>TOTAL</b>				<b>1647.118095</b>

Como se observa en el cuadro N° 18, los cálculos de la demanda de agua total en FAO, en la fase inicial se calculó 167.18 m<sup>3</sup>/ha, en la fase de desarrollo se calculó 514.43 m<sup>3</sup>/ha, en la fase de fructificación se calculó 545.10 m<sup>3</sup>/ha, en la fase de madurez se calculó 420.41 m<sup>3</sup>/ha y en toda en el periodo fenológico del cultivo es 1647.12 m<sup>3</sup>/ha.

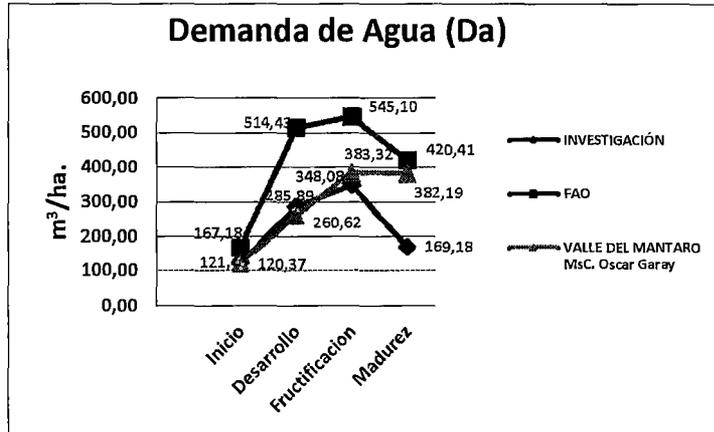
**Cuadro N° 019. Cálculos de la Demanda de Agua Total según Oscar Gary en el Valle del Mantaro – Junín- Perú**

FASES	ETP (mm) Referencia	ETA (L/m <sup>2</sup> ) Cultivo es mm	kc	Da (demanda de agua) m <sup>3</sup> /ha.
Inicial	133.74	48.1475432	0.36	120.368858
Desarrollo	155.59	104.248156	0.67	260.62039
Fructificación	164.87	153.327732	0.93	383.31933
Madurez	152.88	152.876007	1	382.190018
<b>TOTAL</b>				<b>1146.498596</b>

Como se observa en el cuadro N° 19, los cálculos de la demanda de agua total según Oscar Garay en el Valle del Mantaro – Junín- Perú, en la fase inicial se calculó 120.37 m<sup>3</sup>/ha, en la fase de desarrollo se calculó 260.62 m<sup>3</sup>/ha, en la fase de fructificación se calculó 382.19 m<sup>3</sup>/ha, en la fase de madurez se calculó 382.19 m<sup>3</sup>/ha y en todo el periodo fenológico del cultivo es 1146.50 m<sup>3</sup>/ha.

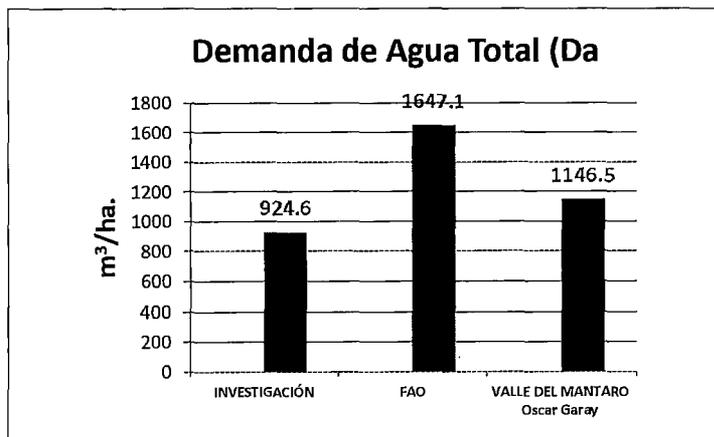
27

**Gráfica N°11. Representación Gráfica de la Demanda de Agua en m<sup>3</sup> /ha calculados por la Investigación, FAO y Oscar Garay en el Valle del Mantaro – Junín- Perú.**



En el grafico N°10, la representación gráfica de la demanda de agua en m<sup>3</sup> /ha calculados por la investigación, FAO y Oscar Gary en el Valle del Mantaro – Junín- Perú, se observa que existe diferencia en la demandas de agua calculadas, obteniendo en la investigación una demanda agua máxima de 348.08 L, en comparación con el cálculo de la FAO, que alcanzó una demanda de agua máxima de 545.10 L y Oscar Garay Valle del Mantaro – Junín- Perú, alcanzó una demanda de agua máxima de 383.32 L respectivamente.

**Gráfica N°12. Representación Gráfica de la Demanda de Agua Total en m<sup>3</sup> /ha calculados en la Investigación, FAO y por Oscar Gary en el Valle del Mantaro – Junín- Perú.**



En el grafico N°11, la representación gráfica de la demanda de agua total en m<sup>3</sup>/ha calculados por la Investigación, FAO y por Oscar Gary en el Valle del Mantaro – Junín-Perú, se observa que la demanda de agua total de la investigación fue 924.6 m<sup>3</sup>/ha, la mayor demanda de agua pertenece a los cálculos de la FAO con 1647.1 m<sup>3</sup>/ha y los cálculos de Oscar Garay en el Valle del Mantaro obtuvo 1146.5 m<sup>3</sup>/ha.

## 4.2. Discusión

**4.2.1.** La emergencia, el número de vainas por planta y el rendimiento por tratamiento, se vieron afectados por la disponibilidad de agua en el suelo, debido a los niveles de capa freática utilizados en la investigación, siendo el nivel freático de 0.25m el más accesible al agua y con resultados más favorables manteniendo la humedad del suelo adecuado para un buen enraizamiento, así mismo dando una mayor disponibilidad y transporte de nutrientes a la planta.

**4.2.2.** Con respecto a la altura de planta se observa que el agua disponible afecta a la altura, las plantas con nivel freático de 0.35m de la superficie del suelo puesto que obtuvieron alturas más bajas en comparación con las plantas que recibieron mayor dotación de agua y cuyo nivel freático se ubica a 0.25m. del ras del lisímetro.

**4.2.3.** La evapotranspiración total de las plantas se vio afectada por los niveles de capa freática siendo los valores más altos para el tratamiento con nivel freático de 0.25m de profundidad obteniéndose en promedio 26.42 L / tratamiento.

**4.2.4.** La demanda de agua calculada en la presente investigación se diferencia en 722.55 m<sup>3</sup>/ha con la demanda de agua de la FAO y se diferencia en 221.9 m<sup>3</sup>/ha con la demanda de agua calculada con datos de Oscar Garay en Valle del Mantaro, esto se debe a las condiciones.

## CONCLUSIONES

1. De los resultados obtenidos en el presente trabajo concluimos que la tasa de la evapotranspiración potencial ETP en Acobamba Huancavelica es: fase inicial **107,291 m<sup>3</sup> / ha**; fase de desarrollo: **252,604 m<sup>3</sup> / ha**; fase de fructificación: **307,552 m<sup>3</sup> / ha**; fase de madurez: **149,479 m<sup>3</sup> / ha**.
2. De los tres niveles de capa freática estudiados y comparados entre si se concluye que, el nivel óptimo de capa freática para el cultivo de haba (*Vicia faba* L.), para cálculos de la evapotranspiración potencial ETP en Acobamba Huancavelica es a una **profundidad de 0.25 m**. puesto que este nivel ofreció mejores resultados en emergencia, vigor, número de vainas, rendimiento que los otros niveles esto debido exclusivamente a la disponibilidad de agua.
3. Los coeficientes de Kc calculados con los datos de la evapotranspiración potencial ETP del cultivo de haba (*Vicia faba* L.), y la evapotranspiración potencial ETP del cultivo de referencia, utilizando las fórmulas de Hargreaves en base a la Temperatura realizada con la investigación para condiciones de Acobamba Huancavelica resultaron: **fase inicial: Kc = 0.363; fase de desarrollo: Kc= 0.735; fase de fructificación: Kc= 0.844; fase de madurez: Kc= 0.443**.
4. 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.
5. Queda sentenciado que a una mayor disponibilidad de agua sin perjuicio de la capa capilar del suelo se favorece el proceso fenológico del cultivo de haba quedando

demostrado que existe una relación positiva entre emergencia, altura de planta, peso de vaina y número de vainas con el rendimiento en haba verde.

6. Se concluye así mismo que la evapotranspiración depende, entre otros aspectos, de las condiciones climáticas, tipo y estado de desarrollo del cultivo, así como de la disponibilidad de agua del suelo el que debe reponerse periódicamente al suelo para no dañar el potencial productivo de la planta por estrés hídrico.
7. 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 ciclo vegetativo del cultivo de haba.
8. Se infiere que la demanda de agua calculada para el cultivo de habas en Acobamba utilizando lisímetros con capa freática a 0.25 m., de la superficie del suelo es de **924.6 m<sup>3</sup> /ha.**, lo cual difiere con la demanda que refiere la FAO en 722.55 m<sup>3</sup>/ ha., y se diferencia en 221.9 m<sup>3</sup>/ ha., con la demanda de agua calculado con datos de Oscar Garay realizado en el Valle del Mantaro, esto nos demuestra de manera indubitable que los requerimientos hídricos varían según el cultivo, etapa de desarrollo y región geográfica.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar otros trabajos similares para **Estudiar la Evapotranspiración Potencial ETP.**, en otros cultivos de la Provincia y Distrito de Acobamba Huancavelica.
2. Los cálculos de demanda de agua los proyectistas de riego lo realizan utilizando datos meteorológicos de otras latitudes según los periodos y estaciones disponibles similares a la zona en estudio sin embargo esto ocasiona error en el proceso de cálculos por lo que se recomienda utilizar datos propios de la zona de estudio a fin de garantizar resultados favorables en materia de riego.
3. La elaboración de la cédula de cultivo toma en cuenta el estado de crecimiento de los cultivos según **Uso Consuntivo (Kc)** y el periodo vegetativo de cada uno de ellos que definitivamente es variable dependiendo fundamentalmente de la variedad, época de siembra y piso ecológico por lo que es gravitante para su elaboración contar con información local y por sobre todo basado en la experiencia de campo del formulador en el manejo de cultivos en la zona del proyecto.
4. Para facilitar la estimación de la demanda de agua de los cultivos el **Comité Técnico para Requerimientos de Riego, de la Sociedad Americana de Ingenieros civiles (ASCE)** sugiere estimar los diferentes parámetros como evapotranspiración potencial, evapotranspiración actual, precipitación confiable y dependiente a partir de datos climáticos similares a la zona de estudio, como también referente al uso consuntivo Kc (coeficiente de cultivo = Indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por parte del cultivo cuyo consumo de agua se evalúa), **se debe aclarar que estos coeficientes se basan en la evapotranspiración de alfalfa ETP (alfalfa)**, por lo que para la formulación de perfiles de riego se deben utilizar datos de Kc determinados en campo mediante evaluación en Lisímetros que validados estos valores en la localidad de Acobamba Huancavelica mediante estudios de campo son más reales y se adaptan a nuestra realidad para el cálculo de la demanda de agua que aquellos recomendados por el: **Comité de ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles) para**

**necesidades de agua de riego (1), ASAE Transacciones, Vol 17, N°4, 1974 (8) y/o la FAO, Boletín N° 24, Sobre Riego y Drenaje (6)**, puesto que estos subestiman las necesidades hídricas de los cultivos de ahí el fracaso de muchos proyectos de riego en la operación de sus sistemas a falta de agua por una mala planificación de sus requerimientos; de seguirse manteniendo como patrón información exportada (FAO) se estaría mostrando informaciones FICTICIAS sobre demanda de agua.

5. Los investigadores deben esforzarse por lograr métodos de riego que utilicen solamente el agua requerida por el cultivo, sin desperdicios de nutrientes ni de tierras para riego así como de mejorar los sistemas existentes, buscando lograr la mayor eficiencia en la aplicación del agua de riego.
6. Debo manifestar que en materia de riego no está difundido aún la programación de estos considerando aspectos como: **uso consuntivo, frecuencia de riego, tiempo de riego, volumen y eficiencia de aplicación**. Por lo que se puede afirmar que estamos en una etapa incipiente para lograr este objetivo. Situación que deberá ser superada a través de la sostenibilidad y continuidad de investigaciones similares en esta parte del país.
7. Como consideración final, pienso que **Estudiar la Evapotranspiración Potencial ETP.**, en otros cultivos en la Provincia y Distrito de Acobamba Huancavelica debería ser un tema bien estudiado por parte de los profesionales del agro. Sería muy interesante la creación de campos de pruebas para estudios lisimétricos en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Huancavelica para poder experimentar in situ este tipo de pericias.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. **SÁNCHEZ MARTÍNEZ Marcela Inés**; (2001), Métodos de estimación de evapotranspiración utilizados en Chile, Revista de Geografía Norte Grande, 28: 3-10, 8 pp.
2. **SALAZAR LE ROY.** (1979). Guía para Estudios de Evapotranspiración e Instalación de Parcelas Demostrativas con Riego por Superficie, Programa de Asistencia Técnica CID – ATA/CLASS, Proyecto Especial de Pequeñas y Medianas Irrigaciones, 144 pp.
3. **CAMARENA MAYTA, FELIX; CHIAPPE VARGAS, LUÍS; HUARINGA JOAQUÍN, AMELIA; MOSTACERO NEYRA, ELVIA** (2003). Manual del Cultivo de Haba. La Molina / PERÚ.
4. **FAO., Estudio FAO Riego y Drenaje - Guía 56 (1990)**, Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, 322 pp.
5. **GARAY CANALES, Oscar Baldomero** (2009), Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos; INCAGRO, 34 pp.
6. **MARMOLEJO GUTARRA, DORIS y SUASNABAR ASTETE, CARLOS** (2000). Leguminosas de Grano. Ediciones "UNCP". Huancayo / PERÚ.
7. **ALIAGA BARRERA, ISAAC N.** (2004). Curso de Botánica. "Nomenclatura Botánica". Folleto. U.N.H. – E.A.P.A. Huancavelica / PERÚ.
8. **PENMAN - MONTEITH – PLAN MERIS I Etapa (1978)**, "Diagnóstico de los valles del Mantaro y Tarma en el departamento de Junín realizado por la Dirección General Ejecutiva del Proyecto Especial Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones del Ministerio de Agricultura y Alimentación", 209 pp.
9. **PROYECTO DE IRRIGACIÓN CHUPACA, (1979)**, convenio de préstamo AID 527 – T 059 "Plan de Mejoramiento de riego en la Sierra" PLAN MERIS I Etapa, 288 pp.
10. **MINAG - INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES - INRENA INTENDENCIA DE RECURSOS HIDRICOS OFICINA DE PROYECTOS DE AFIANZAMIENTO HIDRICO, (2006)**; Proyecto de Irrigación Molinos Volumen II, 22 pp.
11. **ALMOROX J., AGUIRRE M. E., V. Elisei, COMMEGNA M., (2012)**, Calibración del modelo de Hargreaves para la estimación de la evapotranspiración de referencia en Coronel Dorrego, Argentina, ISSN impreso 0370-4661, 109 pp.

# ARTICULO CIENTIFICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE AGRONOMIA**

**BACHILLER: JAIME MARMOLEJO, ALEX ROY JESLY**

**“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 HUANCAMELICA.”**

**“POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION STUDY ETP. OF BEAN  
FIELDS (*Vicia faba* L.), WITH THREE LEVELS OF CAPA  
FREÁTICA IN ACOBAMBA - HUANCAMELICA.”**

## RESUMEN

Este presente trabajo de investigación se realizó en el fundo "Vista Hermosa Casa Blanca" Acobamba – Huancavelica y con el apoyo de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Huancavelica, con el objetivo de hacer un estudio de la evapotranspiración potencial del cultivo de haba (*Vicia Faba* L.) y determinar la tasa de evapotranspiración potencial para las condiciones locales, así como también, determinar el nivel óptimo de capa freática y comparar las exigencias de agua, para establecer las demandas de riego en periodos de mayor necesidad.

Se utilizó el Diseño Experimental de Bloques Completamente Randomizados, con tres tratamientos y tres repeticiones empleando lisímetros para cada uno de ellos y para disminuir el efecto borde se sembró plantas de haba alrededor del área experimental, durante todo el proceso se realizó pruebas de confrontación de datos referidos a las cantidades de agua agregados en cada lisímetro según las distintas capas freáticas en estudio.

Los resultados indican que el nivel óptimo de capa freática para el cultivo de haba en Acobamba para hacer cálculos de riego se presentan a una profundidad de 0.25m de capa freática y la tasa de la evapotranspiración potencial es: Fase inicial 107,291 m<sup>3</sup> / ha; Fase de desarrollo: 252,604 m<sup>3</sup> / ha; Fase de fructificación: 307,552 m<sup>3</sup> / ha; Fase de madurez: 149,479 m<sup>3</sup> / ha. Además los coeficientes de cultivo calculados para la zona de Acobamba son Fase inicial: Kc = 0.363; Fase de desarrollo: Kc= 0.735; Fase de fructificación: Kc= 0.844; Fase de madurez: Kc= 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.

Los resultados obtenidos permitirán adaptarse en los cálculos de necesidad hídrica del cultivo de habas en las "distintas etapas fenológicas del cultivo", así como en la demanda de agua con fines de formular proyectos de riego más realistas al contar con información in situ y actualizada.

## ABSTRAC

This recent study was made in the big field "Vista Hermosa Casa Blanca" Acobamba-Huancavelica with the objective of making a study about the evapotranspiration around bean fields (*Vicia faba* L.), and determine the potential evapotranspiration rate for the local conditions as well as determine the ideal level of "capa freatica" and compare water requirements to establish irrigation demands during high need periods.

The Experimental Design of Randomized Blocks was used with three treatments and three replays using lysimeters for each one. To minimize "Edge effect" we planted beans around the experimental area, we took many tests about the amount of water in lysimeters to many phreatic layers.

The results indicate that the ideal level of phreatic layers from bean fields in Acobamba is 0.25m of depth and the potential evapotranspiration rate is: First Phase 107,291 m<sup>3</sup>/ha; Development Phase 252,604 m<sup>3</sup>/ha ; Fructification Phase:307, 552 m<sup>3</sup>/ha; Maturity Phase: 149,479 m<sup>3</sup>/ha.

Also the crop coefficient estimated for Acobamba are: First Phase: Kc= 0,363; Development Phase: Kc=0,735; Phase of results: Kc= 0,844; Maturity Phase: Kc= 0,433  
By the way, water demand for Bean Fields (*Pacae Jaspeado*) in Acobamba, Huancavelica is: First Phase: 121,429 m<sup>3</sup>/ha; Development Phase: 285,889 m<sup>3</sup>/ha; Fructification Phase: 348,077 m<sup>3</sup>/ha; Maturity Phase: 169,1175 m<sup>3</sup>/ha.

All of which play an important role for hydric calculation needs from bean fields during different phonological phases from the crop.

## INTRODUCCION

La producción de cultivos alimenticios en la provincia de Acobamba se ha convertido en una necesidad prioritaria, debido al crecimiento y desarrollo de la población, pues gran parte de los productos comestibles, son traídos de otros lugares alejados, la producción local tiene rendimientos por debajo del promedio nacional sin embargo estos podrían incrementarse con buenos cálculos de riego relacionados a factores climáticos.

Los diferentes factores de rendimiento son cada vez más estudiados y/o controlados por el hombre tal es así que el incremento de la producción agrícola se ha convertido cada vez más en una necesidad para los pueblos que quieren satisfacer sus necesidades de alimentación y por ende alcanzar el desarrollo económico y social de sus localidades.

Es por esta razón que viendo al cultivo de haba como una de las especies más cultivadas en esta zona y no habiendo ningún estudio de la evapotranspiración, a pesar de ser de importancia para el cálculo del manejo de riego, la presente investigación trata del “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.” Siendo el objetivo general: Establecer la evapotranspiración potencial, del cultivo de haba en Acobamba Huancavelica y los objetivos específicos: Comparar entre sí, para las condiciones locales, las tasas de evapotranspiración potencial (ETp) a partir de diferentes niveles de capa freática. Obtener los coeficientes de cultivo (Kc) de haba a través de la relación  $ETA / ETp$ . Establecer la demanda de agua para el riego de haba en Acobamba Huancavelica. Comparar las exigencias de agua en periodos de mayor necesidad de este elemento y finalmente llegar a otros resultados que aplicados contribuyan a incrementar la producción de los cultivos y sea útil al sector especializado de investigadores, ingenieros agrónomos, estudiantes y agricultores.

## MATERIALES Y METODOS

### Materiales e Insumos de Campo:

- Semilla de Haba
- Fertilizante foliar
- Fungicida (Homai)
- Baldes de 20 L.
- Tubos de ½
- Codos
- Pegamento
- Atomizador manual
- Costales
- Yeso
- Azadón
- Pico
- Rastrillo
- Hoz
- Balanza
- Wincha
- Regla
- Plumón indeleble

### Método de Investigación:

El método de investigación se basará mediante trabajo de campo y gabinete para evaluar la evapotranspiración potencial mediante lisímetros con tres niveles de capa freática en el cultivo de haba, el cual estará constituido por las siguientes etapas:

1. **Primera Etapa.-** Recopilación de Información y preparación de terreno.
2. **Segunda Etapa.-** Instalación de lisímetros en campo, pruebas iniciales e instalación del cultivo, labores de campo y mantenimiento del nivel de capa freática en forma diaria.
3. **Tercera Etapa.-** Evaluación y conducción del experimento complementado con la sistematización de la información obtenida.
4. **Cuarta Etapa.-** Análisis y discusión de resultados
5. **Quinta Etapa.-** Elaboración del informe y Publicación de resultados.

### Diseño de Investigación

El experimento se conducirá en un Diseño de Block Completamente Randomizado (DBCR). Con prueba de Significación de Tukey.

### Tratamientos y Repeticiones de Estudio:

#### Variedad:

Variedad de Haba: **V** = Pacae jaspeado

<b>Tratamientos:</b> Niveles de capa freática: (profundidad)	<b>Repeticiones</b>
T1 =0.25 m	R1
T2 =0.30 m	R2
T3 =0.35 m	R3

#### Unidades Experimentales en Estudio:

T1R1	T2R1	T3R1
T1R2	T2R2	T3R2
T1R3	T2R3	T3R3

## CONCLUSIONES

1. De los resultados obtenidos en el presente trabajo concluimos que la tasa de la evapotranspiración potencial ETP en Acobamba Huancavelica es: Fase inicial **107,291 m<sup>3</sup> / ha**; Fase de desarrollo: **252,604 m<sup>3</sup> / ha**; Fase de fructificación: **307,552 m<sup>3</sup> / ha**; Fase de madurez: **149,479 m<sup>3</sup> / ha**.
2. De los tres niveles de capa freática estudiados y comparados entre si se concluye que, el nivel óptimo de capa freática para el cultivo de haba (*Vicia faba* L.), para cálculos de la evapotranspiración potencial ETP en Acobamba Huancavelica es a una **profundidad de 0.25 m**. puesto que este nivel ofreció mejores resultados en emergencia, vigor, número de vainas, rendimiento que los otros niveles esto debido exclusivamente a la disponibilidad de agua.
3. Los coeficientes de Kc calculados con los datos de la evapotranspiración potencial ETP del cultivo de haba (*Vicia faba* L.), y la evapotranspiración potencial ETP del cultivo de

referencia, utilizando las fórmulas de Hargreaves en base a la Temperatura realizada con la investigación para condiciones de Acobamba Huancavelica resultaron: **Fase inicial:  $K_c = 0.363$ ; Fase de desarrollo:  $K_c = 0.735$ ; Fase de fructificación:  $K_c = 0.844$ ; Fase de madurez:  $K_c = 0.443$ .**

4. 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.
5. Queda sentenciado que a una mayor disponibilidad de agua sin perjuicio de la capa capilar del suelo se favorece el proceso fenológico del cultivo de haba quedando demostrado que existe una relación positiva entre emergencia, altura de planta, peso de vaina y número de vainas con el rendimiento en haba verde.
6. Se concluye así mismo que la evapotranspiración depende, entre otros aspectos, de las condiciones climáticas, tipo y estado de desarrollo del cultivo, así como de la disponibilidad de agua del suelo el que debe reponerse periódicamente al suelo para no dañar el potencial productivo de la planta por estrés hídrico.
7. 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 ciclo vegetativo del cultivo de haba.
8. Se infiere que la demanda de agua calculada para el cultivo de habas en Acobamba utilizando lisímetros con capa freática a 0.25 m., de la superficie del suelo es de **924.6 m<sup>3</sup> /ha.**, lo cual difiere con la demanda que refiere la FAO en 722.55 m<sup>3</sup>/ ha., y se diferencia en 221.9 m<sup>3</sup>/ ha., con la demanda de agua calculado con datos de Oscar Garay realizado en el Valle del Mantaro, esto nos demuestra de manera indubitable que los requerimientos hídricos varían según el cultivo, etapa de desarrollo y región geográfica.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar otros trabajos similares para **Estudiar la Evapotranspiración Potencial ETP.**, en otros cultivos de la Provincia y Distrito de Acobamba Huancavelica.
2. Los cálculos de demanda de agua los proyectistas de riego lo realizan utilizando datos meteorológicos de otras latitudes según los periodos y estaciones disponibles similares a la zona en estudio sin embargo esto ocasiona error en el proceso de cálculos por lo que se recomienda utilizar datos propios de la zona de estudio a fin de garantizar resultados favorables en materia de riego.
3. La elaboración de la cedula de cultivo toma en cuenta el estado de crecimiento de los cultivos según **Uso Consuntivo (Kc)** y el periodo vegetativo de cada uno de ellos que definitivamente es variable dependiendo fundamentalmente de la variedad, época de siembra y piso ecológico por lo que es gravitante para su elaboración contar con información local y por sobre todo basado en la experiencia de campo del formulador en el manejo de cultivos en la zona del proyecto.
4. Para facilitar la estimación de la demanda de agua de los cultivos el **Comité Técnico para Requerimientos de Riego, de la Sociedad Americana de Ingenieros civiles (ASCE)** sugiere estimar los diferentes parámetros como evapotranspiración potencial, evapotranspiración actual, precipitación confiable y dependiente a partir de datos climáticos similares a la zona de estudio, como también referente al uso consuntivo Kc (coeficiente de cultivo = Indica el grado de desarrollo o cobertura del suelo por parte del cultivo cuyo consumo de agua se evalúa), **se debe aclarar que estos coeficientes se basan en la evapotranspiración de alfalfa ETP (alfalfa)**, por lo que para la formulación de perfiles de riego se deben utilizar datos de Kc determinados en campo mediante evaluación en Lisímetros que validados estos valores en la localidad de Acobamba Huancavelica mediante estudios de campo son más reales y se adaptan a nuestra realidad para el cálculo de la demanda de agua que aquellos recomendados por el: **Comité de ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles) para**

⋮

**necesidades de agua de riego (1), ASAE Transacciones, Vol 17, N°4, 1974 (8) y/o la FAO, Boletín N° 24, Sobre Riego y Drenaje (6)**, puesto que estos subestiman las necesidades hídricas de los cultivos de ahí el fracaso de muchos proyectos de riego en la operación de sus sistemas a falta de agua por una mala planificación de sus requerimientos; de seguirse manteniendo como patrón información exportada (FAO) se estaría mostrando informaciones FICTICIAS sobre demanda de agua.

5. Los investigadores deben esforzarse por lograr métodos de riego que utilicen solamente el agua requerida por el cultivo, sin desperdicios de nutrimentos ni de tierras para riego así como de mejorar los sistemas existentes, buscando lograr la mayor eficiencia en la aplicación del agua de riego.
6. Debo manifestar que en materia de riego no está difundido aún la programación de estos considerando aspectos como: **uso consuntivo, frecuencia de riego, tiempo de riego, volumen y eficiencia de aplicación**. Por lo que se puede afirmar que estamos en una etapa incipiente para lograr este objetivo. Situación que deberá ser superada a través de la sostenibilidad y continuidad de investigaciones similares en esta parte del país.
7. Como consideración final, pienso que **Estudiar la Evapotranspiración Potencial ETP.**, en otros cultivos en la Provincia y Distrito de Acobamba Huancavelica debería ser un tema bien estudiado por parte de los profesionales del agro. Sería muy interesante la creación de campos de pruebas para estudios lisimétricos en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Huancavelica para poder experimentar in situ este tipo de pericias.

## LITERATURA CITADA

1. **SÁNCHEZ MARTÍNEZ Marcela Inés**; (2001), Métodos de estimación de evapotranspiración utilizados en Chile, Revista de Geografía Norte Grande, 28: 3-10, 8 pp.
2. **SALAZAR LE ROY.** (1979). Guía para Estudios de Evapotranspiración e Instalación de Parcelas Demostrativas con Riego por Superficie, Programa de Asistencia Técnica CID – ATA/CLASS, Proyecto Especial de Pequeñas y Medianas Irrigaciones, 144 pp.
3. **CAMARENA MAYTA, FELIX; CHIAPPE VARGAS, LUÍS; HUARINGA JOAQUÍN, AMELIA; MOSTACERO NEYRA, ELVIA** (2003). Manual del Cultivo de Haba. La Molina / PERÚ.
4. **FAO., Estudio FAO Riego y Drenaje - Guía 56 (1990)**, Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, 322 pp.
5. **GARAY CANALES, Oscar Baldomero (2009)**, Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos; INCAGRO, 34 pp.
6. **MARMOLEJO GUTARRA, DORIS y SUASNABAR ASTETE, CARLOS (2000)**. Leguminosas de Grano. Ediciones "UNCP". Huancayo / PERÚ.
7. **ALIAGA BARRERA, ISAAC N. (2004)**. Curso de Botánica. "Nomenclatura Botánica". Folleto. U.N.H. – E.A.P.A. Huancavelica / PERÚ.
8. **PENMAN - MONTEITH – PLAN MERIS I Etapa (1978)**, "Diagnóstico de los valles del Mantaro y Tarma en el departamento de Junín realizado por la Dirección General Ejecutiva del Proyecto Especial Programa Nacional de Pequeñas y Medianas Irrigaciones del Ministerio de Agricultura y Alimentación", 209 pp.
9. **PROYECTO DE IRRIGACIÓN CHUPACA, (1979)**, convenio de préstamo AID 527 – T 059 "Plan de Mejoramiento de riego en la Sierra" PLAN MERIS I Etapa, 288 pp.
10. **MINAG - INSTITUTO NACIONAL DE RECURSOS NATURALES - INRENA INTENDENCIA DE RECURSOS HIDRICOS OFICINA DE PROYECTOS DE AFIANZAMIENTO HIDRICO, (2006)**; Proyecto de Irrigación Molinos Volumen II, 22 pp.
11. **ALMOROX J., AGUIRRE M. E., V. Elisei, COMMEGNA M., (2012)**, Calibración del modelo de Hargreaves para la estimación de la evapotranspiración de referencia en Coronel Dorrego, Argentina, ISSN impreso 0370-4661, 109 pp.

::

## **ANEXOS**

## TESTIMONIO FOTOGRAFICO

Foto N° 01, baldes de 20L para los Lisímetros.

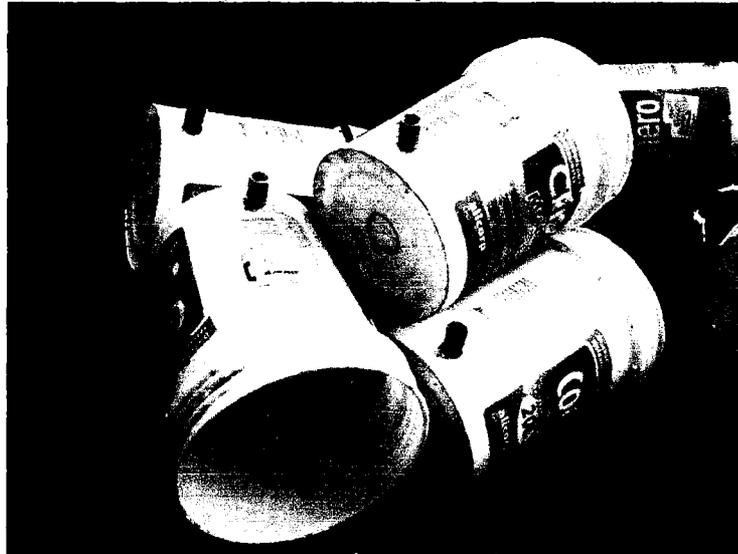


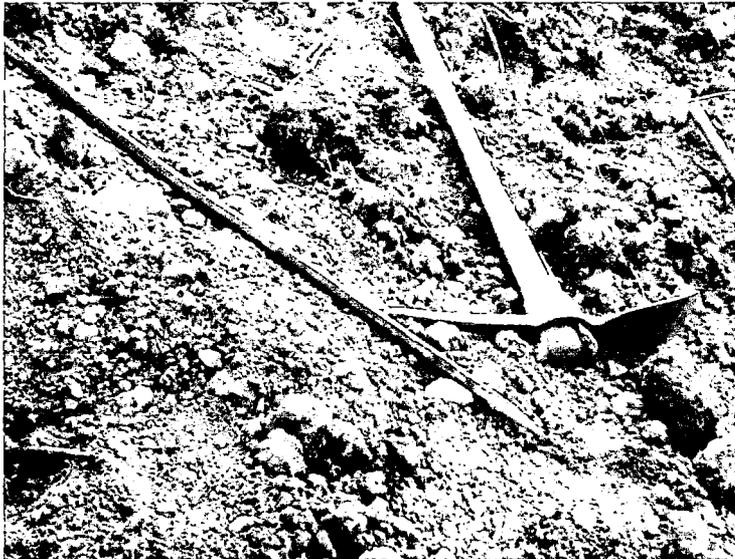
Foto N° 02, tubos de media pulgada para los Lisímetros.



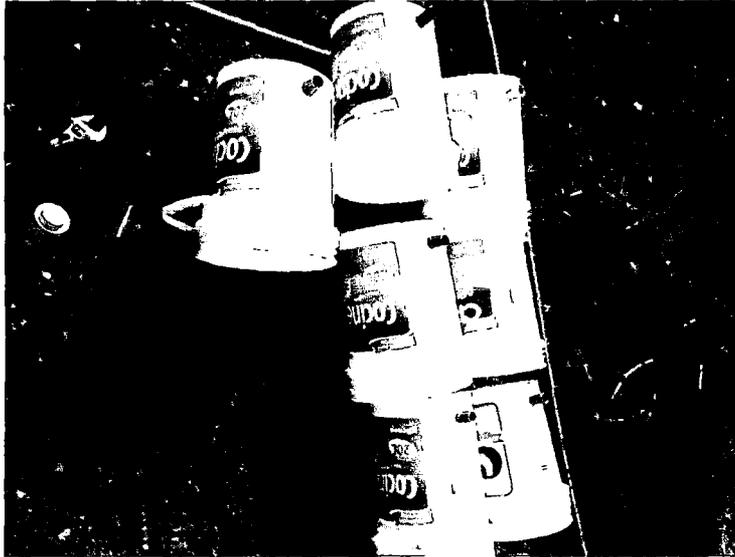
**Foto N° 03, wincha métrica para las mediciones.**



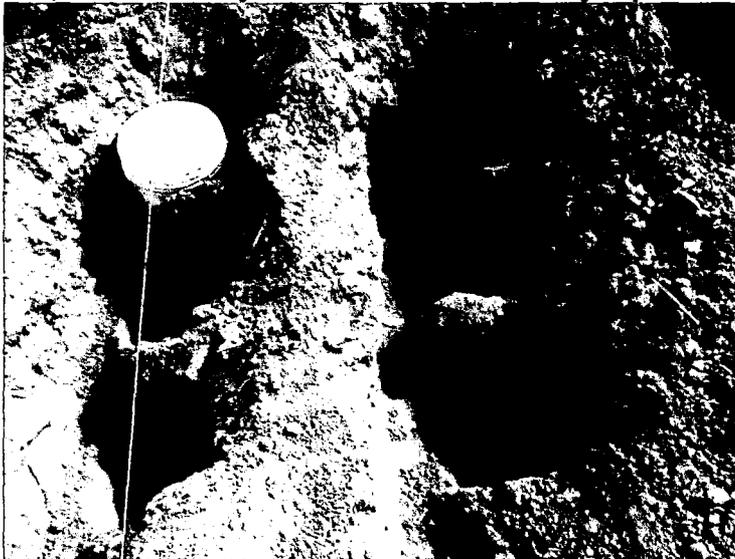
**Foto N° 04, pico y barreta para hacer las instalaciones.**



**Foto N° 05, baldes con machos con rosca de media pulgada, pegamento, sierra y lima.**



**Foto N° 06, excavaciones y ubicación de baldes en hoyos para lisímetros.**



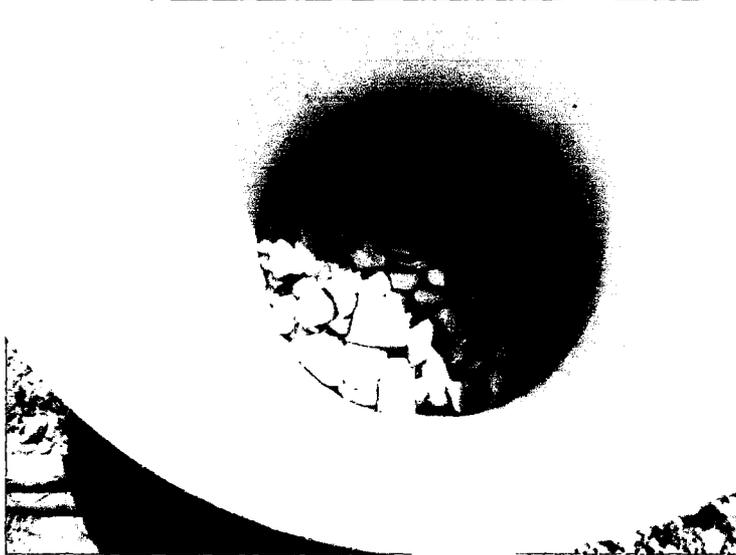
**Foto N° 07, nivelación de lisímetros.**



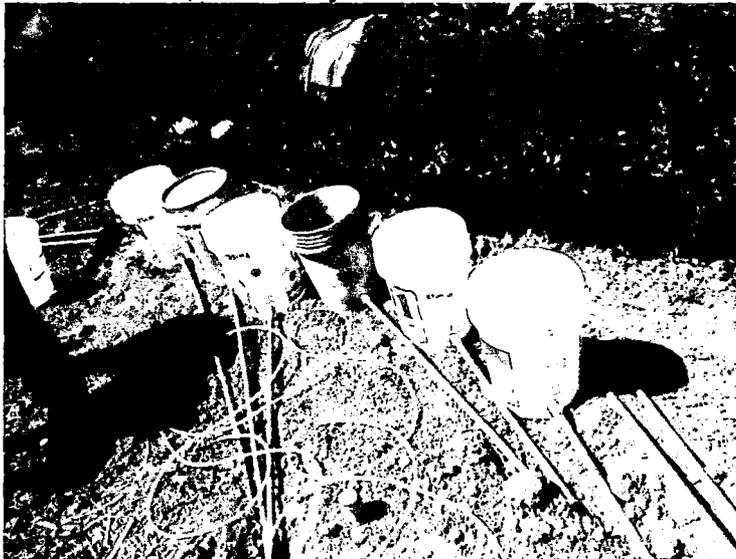
**Foto N° 08, mediciones de la profundidad.**



**Foto N° 09, llenado de material en lisímetros.**



**Foto N° 10, ubicación y nivelación de los controles.**



**Foto N° 11, surqueado del campo experimental.**



**Foto N° 12, siembra del cultivo de haba.**



Foto N° 13, emergencia de las plantas de haba.



Foto N° 14, control de los niveles de humedad de los lisímetros.



1

Foto N° 15, control de los rendimientos.



Foto N° 15, control de los rendimientos.

