

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE CINCO FÓRMULAS EMPÍRICAS PARA
DETERMINAR LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN EN
CANAAN - AYACUCHO, 2016**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**

**PRESENTADO POR:
VICTOR FELIX TELLO LLAMOJA**

**AYACUCHO – PERÚ
2016**

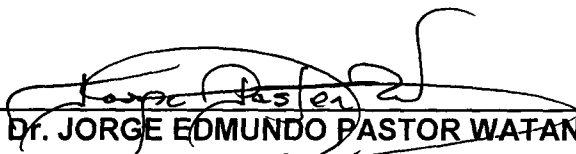
**COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE CINCO FÓRMULAS EMPÍRICAS
PARA DETERMINAR LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA Y
EVAPOTRANSPIRACIÓN EN CANAÁN - AYACUCHO, 2016**

Recomendado : 21 de junio de 2016

Aprobado : 21 de julio de 2016



Ing. EFRAÍN CHUCHÓN PRADO
Presidente del Jurado



Dr. JORGE EDMUNDO PASTOR WATANABE
Asesor



Ing. JOHN SAMUEL CAZORLA ORIHUELA
Miembro del Jurado



M. Sc. SANDRA DEL ÁGUILA RÍOS
Miembro del Jurado



Dr. ANTONIO JERÍ CHÁVEZ
Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias

DEDICATORIA:

A mi gran Dios Ezequiel Jonás, por ser mi fuente de vida y luz de esperanza.

A mi madre y hermanos, con mucho amor y cariño, les dedico todo el esfuerzo puesto en la realización de esta tesis.

AGRADECIMIENTOS

- ✓ A mi Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga por haberme permitido llevar mis estudios de Pre Grado en sus cálidas aulas, considerando que son pocas las universidades que brindan formación profesional en Ingeniería Agrícola.
- ✓ Un profundo agradecimiento a todos mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por haberme conducido a este maravilloso e incesante mundo que es la Ingeniería Agrícola.
- ✓ Quiero agradecer a mi asesor Dr. Jorge Edmundo Pastor, que ha sido capaz de aguantar mis eternos viajes a Lima, gracias a sus insistentes llamadas de preocupación esta tesis pasó del oscuro mundo del no voy a poder, a lo posible.
- ✓ Quiero agradecer también a la Arq. Diana González Cabrera, jefa inmediata en mi centro de labores, por haber soportado mis constantes permisos por motivo de tesis; así como también no quisiera dejar de lado a todos mis compañeros de trabajo de la Sub Gerencia de Estudios, Proyectos y Obras Públicas de la Municipalidad de Lurín.
- ✓ Al Ing. Cesar Gutiérrez Ninahuamán, por su apoyo en la ingeniería computacional, facilitándome su programa de cómputo PETP, tomando en cuenta las cansadas e infinitas horas que le habrá costado la realización de aquel software.
- ✓ Y como dejar de lado a todas aquellas personas que creyeron en mí, y a todos los incrédulos también, porque gracias a sus palabras necias obtuve fuerzas para realizar la tesis, y además paralelamente trabajar.
- ✓ Y como siempre lo mejor se deja para el final, quiero agradecer a Edith Herrera Huamaní, por ser la más interesada en que esto salga adelante, por acompañarme y alentarme renglón tras renglón durante el procedimiento de esta tesis.

LISTA DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
INDICE	iv
INDICE DE TABLAS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN.....	01
I.- REVISION DE LITERATURA	03
1.1. Antecedentes.....	03
1.2. Definición de términos	03
1.2.1. Evaporación.....	03
1.2.2. Transpiración.....	04
1.2.3. Evapotranspiración	05
1.3. Evapotranspiración y precipitación efectiva	06
1.3.1. Necesidades de agua en los cultivos	06
1.3.2. Evapotranspiración potencial (ETP).....	07
1.3.3. Precipitación efectiva	16
II.- MATERIAL Y MÉTODOS	26
2.1. Descripción de la zona	26
2.1.1. Ubicación Política	26
2.1.2. Ubicación UTM	26
2.1.3. Climatología.....	26
2.2. Materiales y equipo.....	28
2.2.1. Material.....	28
2.2.2. Equipo	28
2.2.3. Software	28
2.3.1. Fase preliminar	28
2.3.2. Fase de campo.....	29
2.3.3. Fase de gabinete	29

III.- RESULTADOS	43
IV.- DISCUSIÓN	59
V.- CONCLUSIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
ANEXOS	62
1. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA	
2. INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO	
3. PLANO DE UBICACIÓN	
4. PANEL FOTOGRÁFICO	

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1: Evapotranspiración por zonas	08
TABLA 1.2: Tasa de evaporación para diferentes condiciones climáticas.....	09
TABLA 1.3: Valores de f_t (coeficientes de tanque para Evapotranspiración medidas en un tanque evaporímetro bajo diferentes condiciones.....	11
TABLA 1.4: Factor de corrección c en la ecuación de Penman	15
TABLA 1.5: Valores de Factor de ponderación W para los efectos de la radiación sobre la ETO a diferentes temperaturas y alturas.....	16
TABLA 1.6: Factores para corregir la velocidad del viento.....	16
TABLA 1.7: Precipitación efectiva (PE).....	19
TABLA 1.8. Precipitación efectiva (PE).....	20
TABLA 1.9: Factor de ajuste.....	21
TABLA 1.10: Razón "E" para estimar la lluvia efectiva en la ecuación de Renfro... 24	
TABLA 1.11: Número de días de un grupo para diferentes tipos de suelos y condiciones climáticas	25
TABLA 2.1: Datos meteorológicos de la Estación INIA.....	34
TABLA 3.1: Fórmula de U.S. Bureau of Reclamation.....	43
TABLA 3.3: Fórmula del tanque evaporímetro.....	48
TABLA 3.4: Fórmula de Setzer	49
TABLA 3.5: Fórmula de Serruto Colque	50
TABLA 3.6: Resumen de resultados de precipitación Efectiva.....	52
TABLA 3.7: Resumen de resultados de Evapotranspiración.....	53
TABLA 3.8: Análisis de variancia de los resultados de la aplicación de los cinco métodos de determinación de la Precipitación.....	54
TABLA 3.9: Prueba de significancia de Duncan de los resultados de la aplicación de los cinco métodos de determinación de la precipitación efectiva	55
TABLA 3.10. Prueba de significancia de Duncan de los resultados con variables a, b	55
TABLA 3.11: Análisis de variancia de los resultados de la aplicación de los cinco métodos de determinación de la Evapotranspiración.....	58
TABLA 3.12. Prueba de significancia de Duncan de los resultados de la aplicación de los cinco métodos de determinación de la evapotranspiración.....	58
TABLA 3.13: Prueba de significancia de Duncan de los resultados con variables a, b	59

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. Mapa de Ubicación Departamental.....	27
FIGURA 2.2. Mapa de Ubicación Regional y Provincial.....	27
FIGURA 2.3. Mapa de Ubicación Distrital.....	27
FIGURA 2.4. Inicio de la Fórmula de Hargreaves, programa PETP.....	36
FIGURA 2.5. Introducción de datos, fórmula de Hargreaves, programa PETP.....	36
FIGURA 2.6. Inicio de la fórmula de Penman Monteith, programa PETP.....	37
FIGURA 2.7. Introducción de datos, fórmula de Penman, programa PETP.....	38
FIGURA 2.8. Inicio de la fórmula de Thornthwaite, programa PETP.....	39
FIGURA 2.9. Introducción de datos, fórmula de Thornthwaite, programa PETP....	39
FIGURA 2.10. Inicio de la fórmula de Linacre, programa PETP.....	40
FIGURA 2.11. Introducción de datos, Fórmula de Linacre, programa PETP.....	41
FIGURA 2.12. Inicio de la fórmula de Turc, programa PETP.....	42
FIGURA 2.13. Introducción de datos, fórmula de Turc, programa PETP.....	42
FIGURA 3.1 Cálculo de la ETP (fórmula de Penman) con el programa CROPWAT51	
FIGURA 3.2. Precipitación Efectiva Vs Meses.....	52
FIGURA 3.3. Evapotranspiración Vs. Meses.....	53
FIGURA 3.4. Comparativo de Métodos de determinación de la Precipitación Efectiva.....	56
FIGURA 3.5. Comparativo de Porcentajes de las cuatro fórmulas con respecto al patrón.....	57
FIGURA 3.6. Comparativo de Fórmulas empíricas de determinación de Evapotranspiración.....	60
FIGURA 3.7. Comparativo de Porcentajes de las cinco Fórmulas Empíricas con respecto al patrón o testigo.....	61

RESUMEN

El estudio consistió en el cálculo de la precipitación efectiva bajo cinco distintas fórmulas empíricas (Método U. S. Bureau of Reclamation Method, de la FAO, del Tanque evaporímetro, de Serruto-Colque, y de Setzer basado en la Ley de Van't Hoff.), su posterior comparación y evaluación; asimismo el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) bajo cinco distintas fórmulas empíricas (Fórmula de Hargreaves, de Penman, de Thornwaite, Linacre y Turc), su comparación y evaluación,

Se utilizaron datos meteorológicos mensuales del año 2015 (Precipitación, temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento y evaporación) correspondientes a la estación meteorológica de Canaan – Ayacucho, cuyas coordenadas Geográficas son: Latitud Sur 13°, 10',00.06" Longitud Oeste 74°, 12', 22.92"y Altitud 2756 msnm, considerada la Estación Meteorológica más moderna de la región.

Realizada la presente investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones: De la aplicación de las cinco fórmulas empíricas, para la determinación de la Precipitación efectiva en base a información meteorológica de la Estación INIA Ayacucho, se ha determinado para la fórmula empírica de la U. S. Bureau of Reclamation un valor de 477.70 mm anuales, para la fórmula de la FAO un valor de 409.33 mm anuales, fórmula de Serruto Colque un valor de 418.00 mm anuales, fórmula del tanque evaporímetro un valor de 383.33 mm anuales y para la fórmula de Setzer un valor de 177.18 mm anuales.

Así también de la aplicación de las cinco fórmulas empíricas para la determinación de la Evapotranspiración en base a información meteorológica de la Estación INIA Ayacucho, se ha determinado para la fórmula de Penman Monteith un valor de 1339.51 mm/anuales, para la fórmula de Hargreaves un valor de 1204.15 mm anuales, fórmula de Turc un valor de 1256.97 mm/anuales, fórmula de Linacre un valor de 1030.52 mm/anuales y para la fórmula de Thornthwaite un valor de 786.62 mm/anuales.

INTRODUCCIÓN

La Precipitación efectiva y la Evapotranspiración son datos de mucha importancia en el cálculo preliminar de la necesidad de agua de los cultivos; esto independientemente del tipo de riego que se utilice (gravedad, aspersión, etc.); por lo tanto es necesario conocer la Evapotranspiración y la precipitación efectiva.

La precipitación Efectiva es definida como aquella parte de la Precipitación Pluvial que es utilizable por los cultivos, que se propone en el planeamiento del desarrollo agrícola y en la ejecución de los proyectos de riego, conforme a De la Cruz (2010).

El concepto de evapotranspiración potencial se introdujo en estudiar la demanda evaporativa de la atmósfera de forma independiente de los factores del suelo. Para dar un tipo de vegetación, los únicos factores que afectan el ETP son los parámetros climáticos, en consecuencia es el ETP un parámetro climático y puede ser calculado a partir de datos meteorológicos, conforme a Xu y Chen (2005).

Para determinar la precipitación efectiva existen muchos métodos y fórmulas empíricas, algunas de ellas utilizan datos de campo como pendiente del terreno, textura, estructura del suelo, profundidad de raíces, entre otras; así también tenemos las que utilizan datos meteorológicos (Precipitación total, Temperatura media, Radiación solar, Evapotranspiración, entre otras).

Para determinar la evapotranspiración potencial existen distintos métodos de campo y fórmulas empíricas, para su cálculo es necesaria la información meteorológica de la zona en la cual se lleva a cabo el proyecto de riego.

Vale resaltar que todas estas fórmulas empíricas nos brindan resultados aproximados, tanto de la precipitación efectiva así como también de la Evapotranspiración.

El término de precipitación efectiva ha sido interpretada de modo diverso, no sólo por especialistas de distintos campos, sino también de otras áreas del conocimiento, así tenemos: Al ingeniero civil le interesa abastecer una ciudad de agua potable mediante un depósito o lago. Según él, la parte de la precipitación total que entra en su depósito o embalse es la precipitación efectiva.

Para un ingeniero de riego; la lluvia que llega a su embalse directamente y por escorrentía superficial, indirectamente, desde la zona circundante, es la porción efectiva; pero aunque el concepto es el mismo en los dos casos, los valores de la precipitación efectiva son diferentes respecto a la misma precipitación total.

Desde el punto de vista de un ingeniero hidroeléctrico, la precipitación que es útil para mover las turbinas que producen la electricidad es la precipitación efectiva.

Los hidrogeólogos definirían como efectiva aquella porción de la precipitación que contribuye al almacenamiento subterráneo. La subida del nivel freático o de los pozos será la precipitación efectiva, conforme a De la Cruz (2010).

La presente investigación toma como objetivo general y específicos los siguientes:

Objetivo General

Comparar cinco fórmulas empíricas de determinación de la precipitación efectiva: Fórmula de la U. S. Bureau of Reclamation Method, de la FAO, de Serruto – Colque, del Tanque Evaporímetro y de Setzer basado en la ley de van't Hoff, y cinco fórmulas empíricas de determinación de la Evapotranspiración: Fórmula de Hargreaves, de Penman, de Thornthwaite, Linacre y de Turc.

Objetivos específicos

- Determinar cuantitativamente la Precipitación Efectiva mediante cinco fórmulas empíricas, en base a información meteorológica de la Estación de Canaan - Ayacucho.
- Determinar cuantitativamente la Evapotranspiración potencial mediante cinco fórmulas empíricas en base a información meteorológica de la Estación de Canaan - Ayacucho.
- Determinar estadísticamente la fórmula más adecuada para la determinación de la Precipitación Efectiva.
- Determinar estadísticamente la fórmula más adecuada para la determinación de la Evapotranspiración.

I.- REVISION DE LITERATURA

1.1. Antecedentes

En Ayacucho se viene trabajando la demanda de agua para riego, calculando la ETP mediante la fórmula empírica de Hargreaves; y la precipitación efectiva determinando el 75% de la precipitación total, debido a esto es que nace la iniciativa de buscar en otras alternativas la mejor solución, y encontrar así la que estadísticamente se ajuste mejor a nuestra región.

En el año 2007 en la Universidad Nacional Agraria la Molina, el M. Sc. Ingeniero Eduardo Luis Flores Quispe, presentó una Tesis de Maestría denominada, Modelación de la Evapotranspiración potencial en el Altiplano Puno, en la cual calcula la evapotranspiración para diferentes provincias de dicha región.

En el año 2010 en la Universidad Nacional del Altiplano, la ingeniera Flora Estela De la cruz Condori, presentó una investigación para determinar la precipitación efectiva en la región de Puno, resultando como las fórmulas empíricas más adecuadas, la de Serruto Colque y la U. S. Bureau of Reclamation.

En el año 2013 el Ingeniero Cesar Vidal Gutiérrez Ninahuamán, presentó un programa realizado con el Visual Estudio denominado PETP V1, utilizando como lenguaje de programación el Visual Basic, para determinar la Evapotranspiración potencial, mediante las más conocidas fórmulas empíricas.

1.2. Definición de términos

1.2.1. Evaporación

Vásquez, (2009). Es el proceso físico, mediante el cual, el agua cambia del estado líquido a vapor. La evaporación constituye una de las fases del ciclo hidrológico, y está influenciada por diversos factores entre los cuales se tienen:

viento, temperatura, humedad relativa, radiación, composición y color del suelo, entre otros.

En el caso de los cultivos, cuando hablamos de evaporación, nos estamos refiriendo a la evaporación del agua que se encuentra en el suelo.

Flores, E. (2007) cita a Allen et al. (1998), menciona que, la evaporación es el proceso por el cual el agua líquida es convertida a vapor de agua (vaporización) y removida desde la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua evapora desde una variedad de superficies tales como lagos, ríos, pavimentos, suelos y vegetación mojada.

Energía es requerida para cambiar el estado de las moléculas de agua de líquido a vapor. La radiación solar directa y, menos extendida, la temperatura ambiental del aire, proveen esta energía. La fuerza impulsora para remover el vapor de agua desde la superficie de evaporación es la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie de evaporación y la de los alrededores de la atmósfera. Tal como gana evaporación, el aire de alrededores llega a saturarse y el proceso baja lentamente y puede parar si el aire húmedo no es transferido a la atmósfera. El reemplazo de aire saturado con aire seco depende enormemente de la velocidad del viento, son los parámetros climatológicos a considerar cuando se estima el proceso de evaporación.

1.2.2. Transpiración

Vásquez, (2009). Es el fenómeno por el cual el agua en estado de vapor se mueve desde el mesófilo de la planta hacia la atmósfera. Es decir, el flujo de agua de la planta a la atmósfera ocurre a través de las estomas y de las otras células epidérmicas, a través de la cutícula de la planta. Puede considerarse como una pérdida de agua de los tejidos de las plantas, pero no es estrictamente así, puesto que desempeña una función refrigerante de las plantas.

El movimiento del agua en el medio planta-atmósfera se da cuando se cumple la condición:

$$\Psi \text{ Planta} > \Psi \text{ atmósfera}$$

La transpiración contribuye al balance térmico de la hoja, mediante la descarga de parte de la energía recibida. Si esa energía no se gastara o liberase de esa manera, se produciría un aumento de la temperatura de la hoja a un nivel indeseable en la mayoría de los procesos metabólicos y enzimáticos de las plantas.

Flores, E. (2007), indica que, la transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en el tejido de la planta y el vapor removido a la atmósfera. Los cultivos predominantemente pierden su agua a través de los estomas. Estas son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las que pasan gases y vapor de agua. El agua, junto con algunos nutrientes, es tomada por la raíz y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, a saber en los espacios intercelulares, y el cambio de vapor es controlado por la abertura de la estoma. Casi toda el agua tomada es perdida hacia arriba por transpiración y sólo una diminuta fracción esa usada dentro de la planta. La transpiración, como la evaporación directa, depende del suministro de energía, el gradiente de presión de vapor y viento; son considerados cuando se estima la transpiración. El contenido de agua del suelo y la habilidad del suelo para conducir agua a las raíces también determinan el valor de la transpiración, así como lo hace una inundación y la salinidad del agua del suelo. El valor de la transpiración es también influenciado por las características del cultivo, aspectos ambientales y prácticas culturales de cultivo. Diferentes especies de plantas pueden tener diferentes valores de transpiración. No sólo el tipo de cultivo, pero también el desarrollo del cultivo, el ambiente y el manejo serán considerados cuando se estima la transpiración.

1.2.3. Evapotranspiración

Vásquez, (2009). Es el proceso de flujo de agua hacia la atmósfera proveniente de la evaporación del agua del suelo, y de la transpiración de las plantas. Es un proceso complejo, que depende no sólo de los elementos físicos (climático) que afectan la evaporación, sino también de las características morfológicas y fisiológicas de la cobertura vegetal, del suelo y su nivel de humedad. La evapotranspiración es un proceso combinado de evaporación y transpiración. En el periodo vegetativo de un cultivo hay etapas críticas, durante las cuales las plantas son exigentes en agua o por lo contrario requieren de un stress o déficit de agua, según la fisiología de cada cultivo, para lograr el óptimo rendimiento y calidad de los productos a la cosecha.

Chow et al. (1994), mencionan que, la evapotranspiración es la combinación de evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de la vegetación. Los mismos factores que dominan la evaporación desde la superficie de agua abierta también dominan la evapotranspiración, los cuales son: el suministro de energía

y el transporte de vapor. Además, el suministro de humedad a la superficie de evaporación es un tercer factor que se debe tener en cuenta. A medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido.

Flores, E. (2007) cita a Allen et al. (1998), indican que, la evaporación y transpiración ocurren simultáneamente y allí no es fácil la manera de distinguir entre los dos procesos. Con excepción del agua disponible en la capa vegetal superior del suelo, la evaporación del suelo cultivado es principalmente determinada por la fracción de la radiación solar extendida en la superficie del suelo. Esta fracción decrece sobre el periodo de crecimiento tal como el cultivo de desarrolla y el cultivo cubre de sombra más y más el área del suelo. Cuando el cultivo es pequeño, el agua es predominantemente perdida por evaporación del suelo, pero una vez que el cultivo está bien desarrollado y completamente cubierto el suelo, la transpiración llega a ser el principal proceso.

1.3. Evapotranspiración y precipitación efectiva

1.3.1. Necesidades de agua en los cultivos

Vásquez, (2009). Un aspecto fundamental en la Ingeniería de riegos es lo referente a la cuantificación del consumo de agua o necesidades de agua de los cultivos, elemento básico que se utiliza para dimensionar las obras de infraestructura de riego, así como para planificar y programar el riego de los cultivos a nivel parcelario.

La determinación del consumo de agua de los cultivos o llamada también evapotranspiración real se efectúa mediante la utilización de diferentes métodos. La mayoría de ellos utiliza variables climáticas como: evaporación de tanque de clase "A", temperatura, humedad relativa, radiación solar, entre otros.

La determinación del consumo de agua de un cultivo por los diversos métodos que se mencionan es una primera aproximación para satisfacer los propósitos que se han mencionado. El criterio de asignación del agua de riego puede ser mejorado, mediante el conocimiento de la función de producción y el valor económico del agua. Esto quiere decir que hay un requerimiento de agua técnico-fisiológico y un requerimiento de agua económico: no hay, estrictamente hablando, un determinado consumo de agua fijo.

1.3.2. Evapotranspiración potencial (ETP)

Irmak y Haman (2003), el primer concepto de evapotranspiración potencial fue introducido a finales de los 1940s 50s por Penman y este es definido como “la cantidad de agua transpirada en un tiempo dado por un cultivo verde y corto, cubriendo completamente el suelo, de altura uniforme y con adecuado estado de agua en el perfil del suelo”. Se debe notar que en la definición de evapotranspiración potencial, el valor de evapotranspiración potencial no está relacionado a un cultivo específico. La principal confusión con la definición de evapotranspiración potencial es que allí están tipos de cultivos hortícolas y agronómicos que se adecúan a la descripción de cultivo verde corto. Así, científicos pueden ser confundidos como que cultivo a ser seleccionado para ser usado como un cultivo verde corto porque los valores de evapotranspiración desde cultivos agrícolas bien humedecidos pueden ser por lo mucho de 10 a 30% más grandes que los ocurridos desde grass verde corto.

Irmak y Haman (2003), la evapotranspiración de referencia es definida como “El valor de evapotranspiración desde un cultivo hipotético de referencia con una altura de cultivo asumida de 0.12m (4.72 in), una superficie de resistencia fija de 70 seg.m⁻¹ (70 seg 3.2 ft⁻¹) y un albedo de 0.23, cerradamente asemejando la evapotranspiración desde una superficie extensa de cultivo de grass verde de altura uniforme, creciendo activamente, bien humedecido, y cubriendo completamente el suelo”. En la definición de la evapotranspiración de referencia, el grass está específicamente definido como el cultivo de referencia y este cultivo es asumido libre de estrés hídrico y de enfermedades. En la literatura los términos “evapotranspiración de referencia” y “evapotranspiración del cultivo de referencia” han sido usados intercambiabilmente y ellos ambos representan el mismo valor de evapotranspiración desde una superficie de grass verde corto.

Doorenbos y Pruitt (1977), la definen como “la tasa de evapotranspiración desde una superficie extensa cubierta por pasto verde de altura uniforme entre 8 y 15 cm que crece en forma normal, cubre completamente el suelo con su sombra y no carece de agua”.

Vásquez, (2009). El principio en el que se basa el método indirecto para obtener la evapotranspiración real de los cultivos a partir de la evapotranspiración potencial consiste en considerar que si dentro de un mismo ambiente se mide simultáneamente la evapotranspiración, tanto del pasto de referencia como del cultivo, durante un determinado periodo de tiempo, entonces existirá una relación

entre ambos valores de la evapotranspiración, cuya cuantificación estará dada por un factor de proporcionalidad al que se le denomina coeficiente de cultivo o factor de cultivo. Como es de suponer, este coeficiente tendrá valores distintos de acuerdo al cultivo de referencia que se utilice. Por ejemplo, si se está empleando la alfalfa como pasto de referencia y al maíz como el cultivo, en la relación de evapotranspiración, entonces se obtiene un determinado valor del coeficiente de cultivo, que será diferente al obtenido cuando se hubiese relacionado al mismo cultivo con otro pasto (ejemplo, ray grass).

Según experiencias obtenidas en trabajos realizados en zonas alto andinas del Perú, se ha podido apreciar que la temperatura, el viento y la humedad relativa no varían mucho de un día para otro, motivo por el cual los valores referenciales para ETP son:

Otra fuente de importancia respecto a la evapotranspiración del cultivo de referencia (en mm/día) para distintas regiones agroclimáticas, según la FAO, son los que se muestran en la tabla 1.1:

TABLA 1.1: Evapotranspiración por zonas

Zonas	Evapotranspiración potencial (ETP)
Valles (de 1000 a 2000 msnm)	4.0 mm/día
Zona Quechua (de 2000 a 3000 msnm)	3.0 mm/día
La Jalca (de 3000 msnm o más)	2.5 mm/día

Fuente: PRONAMACHCS, 1998

Para zonas intermedias, se interpola entre estos valores. Ejemplo: un área de riego que está a 2500 msnm, justo entre las zonas de Valle y Quechua, tendría un valor ETP de aproximadamente 3.6mm/día.

TABLA 1.2: Tasa de evaporación para diferentes condiciones climáticas

REGIONES	Temperatura Meedia Diurna, °C		
	Fría <10°C	Moderada 20°C	Cálida 30°C >
1.1 TROPICAL			
Húmeda	3 - 4	4 - 5	5 - 6
Subhúmeda	3 - 5	5 - 6	7 - 8
Semiárida	4 - 5	6 - 7	8 - 9
Árida	4 - 5	7 - 8	9 - 10
1.2 SUBTROPICAL			
Luvia de verano:			
Húmeda	3 - 4	4 - 5	5 - 6
Subhúmeda	3 - 5	5 - 6	6 - 7
Semiárida	4 - 5	6 - 7	7 - 8
Árida	4 - 5	7 - 8	10 - 11
Luvia de invierno:			
Húmeda - subhúmeda	2 - 3	4 - 5	5 - 6
Semiárida	3 - 4	5 - 6	7 - 8
Árida	4 - 5	6 - 7	10 - 11
1.3 TEMPLADA			
Húmeda - subhúmeda	2 - 3	3 - 4	5 - 7
Semiárida - árida	3 - 4	5 - 6	8 - 9

Fuente: FAO, 1980

Las diferencias en ETP, según las zonas, se deben especialmente a las diferencias de temperatura entre zonas más bajas y las alturas.

1.3.2.1. Métodos para determinar la evapotranspiración potencial (ETP)

Vásquez, (2009). Existen varios métodos para determinar la evapotranspiración potencial. Los más comunes son los siguientes:

- Por muestreo de humedad del suelo;
- Lisímetro;
- Tanque de evaporación;
- Balance de agua;
- Balance de energía;
- Métodos o fórmulas empíricas.

De todos estos métodos, los que tienen mayor aplicación práctica son los métodos empíricos, lisimétricos y el tanque de evaporación clase "A".

1.3.2.1.1 Métodos Directos para la determinación de la ETP

Vásquez, (2009). Como métodos directos para medir la ETP, se consideran a los lisímetros, el tanque de evaporación tipo "A" y los muestreos de suelo para determinación del contenido de humedad.

a. Método de Lisímetro

El método de lisímetro es la forma directa y exacta de medir la evapotranspiración potencial, a partir de un aparato o estructura llamado lisímetro, durante un periodo determinado.

En el interior del lisímetro, se encuentra el cultivo patrón o pasto que es materia de análisis de la cantidad de agua evaporada o transpirada. Este método generalmente se usa en trabajos de investigación y es poco empleado en estudios de requerimiento de agua de los cultivos de proyectos de irrigación en marcha.

b. Método de Tanque de Evaporación Clase "A"

Vásquez, (2009). Este método consiste en encontrar una relación entre la tasa de evapotranspiración producida en un lisímetro y la tasa de evaporación producida en un tanque de evaporación clase "A", que mide 1.20m de diámetro, 0.25m de profundidad, y se instala a 0.15m por sobre el nivel del terreno.

Generalmente, es mayor la evaporación directa de una superficie de agua que la de un cultivo, por muy húmedo que se encuentre el suelo; es decir, la evapotranspiración de un cultivo de referencia como el de la alfalfa o el pasto es una fracción de la evaporación observada en el tanque. A esta fracción o factor, se le ha denominado "coeficiente de tanque" (Ft). Ver tabla N° 1.3. Según FAO (1976), la evapotranspiración potencial (ETP) se estima de la siguiente manera:

$ETP = Ft * Eo$ (1)
-----------------	-----------

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial, (mm/día),

Ft = Coeficiente empírico, válido para las condiciones ambientales del Tanque, y

Eo = Evaporación libre de tanque clase "A", (mm/día)

La evaporación (Eo) se lee directamente del tanque; el coeficiente (Ft) se obtiene de la tabla 1.3.

Este método es altamente eficiente y preciso, siempre que se cumpla con todas las condiciones que se requiere para su instalación y uso, Además, es un método sumamente práctico.

1.3.2.1.2. Métodos Indirectos para la determinación de la ETP

Vásquez, (2009). Las fórmulas empíricas están consideradas como métodos indirectos y consisten en fórmulas o ecuaciones deducidas por diversos investigadores y que están basadas en la aplicación de variables meteorológicas como factores que afectan la tasa de la evapotranspiración potencial y que han sido desarrolladas para zonas con características propias.

Las fórmulas empíricas más conocidas y de mayor aplicación son:

- Método de Blaney – Criddle,
- Método de Radiación,
- Método de Christiansen, y
- Método de Jensen – Haise.

TABLA 1. 3 : Valores de ft (coeficientes de tanque para Evapotranspiración medidas en un tanque evaporímetro bajo diferentes condiciones

Viento (Km/d)	Radio de cultivo (m)	CASO A: Tanque situado sobre pasto o cultivo			Radio de suelo desnudo (m)	CASO B: Tanque situado sobre suelo desnudo		
		Humedad relativa media (%)				Humedad relativa media (%)		
		Bajo <40	Medio 40-70	Alto >70		Bajo <40	Medio 40-70	Alto >70
Ligero <175 Km/d (<12m/s)	0	0.55	0.65	0.75	0	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
Moderado 175-425Km/d (2-5 m/s)	0	0.50	0.60	0.65	0	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
Fuerte 425-700 Km/dia (5-8m/s)	0	0.45	0.50	0.60	0	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.50	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
Muy fuerte > 700Km/dia (>8m/s)	0	0.40	0.45	0.50	0	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.35	0.40	0.45

Fuente: Vásquez, 2009

a. Método de Hargreaves

Vásquez, (2009). Los datos climáticos necesarios para la aplicación de este método son la temperatura media mensual, radiación solar medida y calculada, radiación extraterrestre equivalente, factor mensual de latitud, humedad relativa y la altitud.

Los cálculos de la evapotranspiración potencial pueden ser en base a la radiación y temperatura.

a.1 En base a la radiación

Existen dos fórmulas:

- En base a datos registrados de radiación solar

La ecuación es la siguiente:

$$ETP = 0.004 * TMF * RS \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes).

TMF = Temperatura media mensual (°F), medida.

$$TMF = 9/5 * T_{media} (°C) + 32, y \dots\dots\dots (2)$$

RS = Radiación solar media mensual (cal/cm²/día), medida.

- En base a datos de radiación solar equivalente

Las fórmulas usadas son:

$$ETP = 0.0075 * RSM * TMF \dots\dots\dots (3)$$

$$RSM = 0.0075 * RMM * S \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes).

RSM = Radiación solar equivalente en mm de evaporación mensual, (mm/mes),

TMF = Temperatura media mensual (°F), medida,

$$TMF = 9/5 * T_{media} (°C) + 32$$

RMM = Radiación extraterrestre equivalente en mm de evaporación mensual, (mm/mes).

A la vez:

$$RSM = 0.075 * RMM * S * 0.5 \dots\dots\dots (5)$$

$$RMM = R_a * DM \dots\dots\dots (6)$$

R_a: Radiación extraterrestre equivalente en mm de evaporación diaria, (mm/día); se obtiene del Anexo N° 02

DM: Número de días del mes que se analiza, y

S: Porcentaje de horas de insolación (%)

$$S = n/N * 100 \dots\dots\dots (7)$$

n: Horas de insolación fuerte promedio del lugar, medida,

N: Horas de insolación fuerte, según mes y latitud del lugar; se obtiene del anexo N° 1

a.2 En base a la temperatura

La ecuación es la siguiente:

$$ETP = MF * TMF * CH * CE \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/mes).

MF = Factor mensual de latitud, se obtiene del Anexo N°02

TMF = Temperatura media mensual, (°F), medida,

CH = Factor de corrección para la humedad relativa, y

CE = Factor de corrección para la altura o elevación del lugar

$$CH = 0.166 * (100 - HR) * 1/2 \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

HR = Humedad relativa media mensual (%), medida,

Si, HR > 64%, se emplea la fórmula anterior, en caso HR < 64%, CH = 1, y

$$CE = 1.0 + 0.04 E / 2000 \dots\dots\dots (10)$$

E = Altitud o elevación del lugar (msnm)

b. Método de Penman Modificado

Vásquez, (2009). Penman (1948) obtuvo una ecuación para calcular la evaporación de una superficie de agua libre (Eo), de manera que para pasar a evapotranspiración se usa un factor reductor, cuyos valores oscilan desde 0.6 para los meses invernales a 0.8 para los de verano. Dicho factor tiene en cuenta el menor número de horas diarias que las estomas permanecen abiertos. Posteriormente, Penman y Schofield (1951) propusieron una ecuación para calcular directamente la evapotranspiración potencial (ETP):

$$ETP = (Rn + Eo) / (ye'd) \dots\dots\dots (11)$$

Donde esta representa la resistencia a la difusión a través de los estomas, ya que es un factor estomático y "d" es un factor derivado de la duración del día.

Vásquez, (2009). La ecuación de penman fue luego simplificada por el propio autor en 1963. Las verificaciones que ha sido sometida permitió un mejoramiento sustancial de la misma; a tal punto que el estudio de la American Society of Civil Engineers (Jensen, 1974) lo ubica como el procedimiento más exacto para un amplio rango de condiciones meteorológicas, lo que coincide con la conclusión a que arriba el estudio de la FAO.

Las consideraciones que siguen para estimar la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia (ETP) con la fórmula de penman han sido tomadas del estudio de la FAO, que es aplicable para zonas en donde se dispone de datos de: temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, entre otras variables. La ecuación de penman ha sido obtenida a través de un procedimiento de ecuaciones combinadas.

La relación propuesta por la FAO y que utiliza este método es la siguiente:

$$ETP = c [W * R_n + (1 - W) * f(u) * (P_{sv} - P_{va})] \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial (mm/día);

c = Factor de corrección para compensar los efectos del clima; durante el día y la noche .Tabla 1.4

w = Factor de ponderación, que considera el efecto de la radiación sobre la ETP a diferentes temperaturas y altitudes, dado en la Tabla 1.5

R_n = Radiación neta en equivalente de evaporación (mm/día);

CE = Factor de corrección para la altura o elevación del lugar

f(u) = Función relacionada con el viento;

P_{sv} = Presión de saturación del vapor (mb);

P_{va} = Presión del vapor medio del aire (mb);

TABLA 1.4: Factor de corrección c en la ecuación de Penman

RS, mm/día	RH max = 30%				RH max = 60%				RH max = 90%			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
Udía, m/seg	Udía / Unosche=4.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.79	0.24	0.92	0.97	0.92	1.00	1.11	1.19	0.99	1.10	1.27	1.32
6	0.68	0.77	0.87	0.93	0.85	0.96	1.11	1.19	0.94	1.10	1.26	1.33
9	0.55	0.65	0.78	0.9	0.76	0.88	1.02	1.14	0.88	1.01	1.16	1.27
	Udía / Unosche=3.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.76	0.81	0.88	0.94	0.87	0.96	1.06	1.12	0.94	1.04	1.18	1.28
6	0.61	0.68	0.81	0.88	0.77	0.88	1.02	1.10	0.86	1.01	1.15	1.22
9	0.46	0.56	0.72	0.82	0.67	0.70	0.88	1.05	0.78	0.92	1.06	1.18
	Udía / Unosche=2.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	0.10	1.06	1.10	1.10
3	0.69	0.76	0.85	0.92	0.83	0.91	0.99	1.05	0.89	0.98	1.10	1.14
6	0.53	0.61	0.74	0.84	0.70	0.80	0.94	1.02	0.79	0.92	1.05	1.12
9	0.37	0.48	0.65	0.76	0.59	0.70	0.84	0.95	0.71	0.81	0.96	1.06
	Udía / Unosche=1.0											
0	0.86	0.90	1.00	1.00	0.96	0.98	1.05	1.05	1.02	1.06	1.10	1.10
3	0.64	0.71	0.82	0.89	0.78	0.86	0.94	0.99	0.85	0.92	1.10	1.05
6	0.43	0.53	0.68	0.79	0.62	0.70	0.84	0.93	0.72	0.82	0.05	1.00
9	0.27	0.41	0.59	0.70	0.50	0.60	0.75	0.87	0.62	0.72	0.87	0.96

Fuente: Vásquez, 2009

Además:

$$a. R_n = R_{ns} - R_{nl} \dots\dots\dots (13)$$

Donde:

R_{ns} = Radiación neta de onda corta;

R_{nl} = Radiación neta de onda larga;

TABLA 1.5: Valores de Factor de ponderación W para los efectos de la radiación sobre la ETO a diferentes temperaturas y alturas

Altitud msnm \ Tmedia (°C)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
0	0.43	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.68	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78	0.8	0.82	0.83	0.84	0.85
500	0.44	0.48	0.51	0.54	0.57	0.60	0.62	0.65	0.67	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86
1000	0.46	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.80	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87
2000	0.49	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88
3000	0.52	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89
4000	0.55	0.58	0.61	0.64	0.66	0.69	0.71	0.73	0.75	0.77	0.79	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.89	0.90	0.90

Fuente: Vásquez, 2009

$$b. f(u) = 0.27 * (1 + U2 / 100) \dots\dots\dots (14)$$

Donde:

U2 = Velocidad del viento en Km/día, a la altura de 2m sobre el suelo.

Cuando no se cuenta con datos de viento a una altura de 2m, se puede utilizar la siguiente expresión:

$$fc = 1.1663 - 0.05082 * h \dots\dots\dots (15)$$

Donde:

h = Altitud del anemómetro en metros sobre el nivel del suelo

fc = Factor de corrección de la velocidad del viento a una altura h.

Luego:

$$U2 = fc * Uh \dots\dots\dots (16)$$

Uh = Velocidad del viento a la altura h, sobre el suelo.

La tabla adjunta permite obtener fc para diferentes altitudes de medición de viento.

TABLA 1. 6 : Factores para corregir la velocidad del viento

Altura de medición h (m)	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	10.00
Factor de corrección (fc)	1.35	1.15	1.06	1.00	0.93	0.88	0.85	0.83	0.77

Fuente: Vásquez, 2009

1.3.3. Precipitación efectiva

Vásquez, (2009). Durante el proceso de almacenamiento hídrico del reservorio “suelo”, la precipitación pluvial constituye un alto porcentaje (en algunos casos el

total) del contenido de agua en el suelo; pero parte de la lluvia de que dispone la planta para su desarrollo es únicamente una fracción de ésta; la otra parte se pierde por escorrentía, percolación o evaporación.

En este sentido, al volumen de lluvia parcial utilizado por las plantas para satisfacer sus correspondientes necesidades hídricas para su normal desarrollo, se le ha definido como precipitación efectiva (PE).

(Doorembos, 1979). La lluvia efectiva no es sino una parte de la lluvia total. Parte de la lluvia puede perderse debido a la escorrentía superficial, a una percolación profunda por debajo de las regiones de lluvias fuertes o intensas puede ocurrir que solamente entre y quede almacenada en la rizósfera una parte de ellas, y por consiguiente, la eficacia de la lluvia será baja. En el caso de lluvias frecuentes y ligeras puede ser muy importante la intercepción por las hojas de las plantas; las plantas húmedas tienden a transpirar menos, lo cual queda sin embargo más contrarrestado por el aumento de evaporación de la lluvia interceptada por esas hojas. En la práctica, en condiciones de cubierta sombreada completa, se puede suponer razonablemente que las lluvias ligeras interceptadas tienen una eficacia cercana al 100%. Cuando un gran porcentaje del suelo no quede cubierto por los cultivos, y la superficie haya estado seca durante cierto tiempo antes de la lluvia, podrá ser considerable la evaporación de la superficie húmeda del suelo. Unas lluvias de 6 a 8mm al día pueden perderse prácticamente en su casi totalidad, debido a la evaporación. Incluso unas lluvias de 25 a 30mm durante la fase inicial y temprana de desarrollo del cultivo con un porcentaje reducido de cubierta sombreada pueden traer consigo una ganancia neta que sea tan solo de un 60% de las lluvias recibidas.

Se emplean diferentes criterios en diversos países para estimar la lluvia efectiva como porcentaje de la total. En la India, según uno de esos métodos se considera que solamente son efectivas el 60% de las lluvias estacionales medias; en otro, se equipara la lluvia efectiva a la lluvia media pero no se toman en consideración las lluvias diarias inferiores a 5mm y las superiores a 75mm en un día y a 125mm en diez; tampoco se consideran efectivas las lluvias caídas después de 5 días del último riego. En Birmania, se consideran que no son efectivas las lluvias diarias inferiores a 12mm, y que son efectivas en un 80% las superiores a 12mm. En Tailandia, se consideran como efectivas el 80% de las lluvias de noviembre y el 90 % de diciembre a marzo. En el Japón, en el caso del arroz no inundado, se considera que las lluvias tiene una efectividad del 80%

pero las lluvias diarias inferiores a 1.85mm y superiores a 30 mm no se toman en consideración, cuando la lluvia efectiva y la humedad residual del suelo el día anterior rebasan 30mm, se excluye del cálculo al excedente. En Vietnam, las lluvias diarias de menos de 5mm y de más de 50 se pasan por alto, y se considera que no son efectivas las lluvias en días consecutivos que rebasan una ET (cultivo) de más de 50 mm; según la estación, se considera que las lluvias mensuales tienen una efectividad del 65 al 90%.

Un criterio aproximado para estimar las lluvias efectivas es el método que sigue el "Bureau of Reclamations" de los EE.UU. para su uso en las zonas áridas y semiáridas. Se emplean como base las precipitaciones estacionales media de los años consecutivos más secos, y la efectividad de los incrementos de las lluvias mensuales oscila entre un 90% para los 25 primeros mm y un 0% en las precipitaciones de más de 150mm.

Vásquez, (2009). Existen diversos métodos empíricos para estimar la PE, como el Water Power Resources Service, Bureau of Reclamation y el servicio de conservación de Suelos.

- Incremento mensual (mm)	25	50	75	100	125	150	> 150
- Lluvia efectiva%	30	85	75	50	30	10	0

1.3.3.1 Métodos empíricos para determinar la lluvia efectiva

Hay varios métodos para evaluar la lluvia efectiva. Cada uno de ellos ofrece ventajas y limitaciones.

1.3.3.1.1 Método del Water Power Resources Service (WPRS-USA)

Vásquez, (2009). Este método considera la distribución de la precipitación efectiva de la siguiente forma:

TABLA 1. 7 : Precipitación efectiva (PE)

Incremento de la precipitación (mm)	% de la precipitación Efectiva
5	0
30	95
55	90
80	82
105	65
130	45
155	25
más de 155	5

Vásquez, (2009). Dado que la precipitación es una variable aleatoria, conviene analizar la lluvia total, probabilísticamente, con el objeto de determinar el valor probable de la precipitación que cae. Por eso, se determina la frecuencia o probabilidad de ocurrencia mediante la fórmula de Weibull:

$$f = \frac{m}{N + 1} \dots\dots\dots (17)$$

Donde:

f = Frecuencia o probabilidad de ocurrencia,

m = Valor de posición de la lluvia ordenada en forma creciente, y

n = Número total de valores de precipitación mensual (mm)

Los resultados se pueden plotear en un papel de probabilidades con los valores de frecuencia en el eje de las abcisas y la precipitación en el eje de las ordenadas.

La probabilidad de ocurrencia de la lluvia que se adopte dependerá del valor económico del cultivo, considerándose por lo general un valor de 75% de probabilidad de ocurrencia como el más adecuado.

En algunos casos, debido a las mismas características de la lluvia, resulta demasiado conservador adoptar el valor de 75% de probabilidad de ocurrencia, siendo más conveniente trabajar con la precipitación total promedio mensual.

1.3.3.1.2. Método del Bureau of Reclamation

Vásquez, (2009). Este método es adecuado para climas áridos y semiáridos. Permite obtener la precipitación efectiva acumulada en mm para rangos prefijados de incremento de la precipitación, como se muestra en la tabla 1.8.

TABLA 1. 8 . Precipitación efectiva (PE)

Rango de incremento de precipitación (mm)	% de la Precipitación Efectiva	Rango de precipitación efectiva acumulada (mm)
0.0 - 25.4	90 - 100	22.9 - 25.4
25.4 - 50.8	85 - 95	44.4 - 49.5
50.8 - 76.2	75 - 90	63.5 - 72.4
76.2 - 101.6	50 - 80	76.2 - 92.7
101.6 - 127.0	30 - 60	83.8 - 107.9
127.0 - 152.4	10 - 40	86.4 - 118.1
más de - 152.4	0 - 10	86.4 - 120.6

Fuente: Vásquez, 2009

1.3.3.1.3. Método del Servicio de Conservación de Suelos

Vásquez, (2009). El método más completo en su concepción es el del servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos; basado en la precipitación media mensual, la evapotranspiración media mensual y la lámina neta de riego. En la tabla N°08, se obtiene la precipitación efectiva en función de la precipitación del mes, para una lámina neta de riego $d_n = 75\text{mm}$. La tabla N°1.9, permite ajustar el valor promedio con un factor mayor que la unidad, cuando $d_n > 75\text{mm}$ y menor de la unidad $d_n < 75\text{mm}$.

Al analizar trabajos de acondicionamiento de tierras para riego, indirectamente se está controlando la efectividad de la precipitación, pues cambia la relación lluvia-escorrentía que afecta particularmente a la percolación profunda. En un sistema de riego donde una lluvia encuentra a los suelos con grandes diferencias de humedad, el análisis de la efectividad de la precipitación debe abarcar otros aspectos.

Dado que la precipitación es un factor muy variable, conviene conocer su valor probable mediante el análisis estadístico, a fin de obtener la precipitación que realmente contribuye al proceso evapotranspirativo. El riesgo depende lógicamente del valor económico del cultivo.

En general, para una agricultura de regadío donde se realizan inversiones considerables, conviene trabajar con una probabilidad del 80%.

TABLA 1. 9 : Factor de ajuste

dn (mm)	factor	dn (mm)	factor	dn (mm)	factor
10.0	0.620	31.25	0.818	70.0	0.990
12.5	0.650	32.0	0.826	75.0	1.000
15.0	0.676	35.0	0.842	80.0	1.004
17.5	0.703	37.5	0.860	85.0	1.008
18.75	0.780	40.0	0.876	90.0	1.012
20.0	0.728	45.0	0.905	95.0	1.016
22.5	0.749	50.0	0.930	100.0	1.020
25.0	0.770	55.0	0.947	125.0	1.040
27.5	0.790	60.0	0.963	150.0	1.060
30.0	0.808	65.0	0.977	175.0	1.070

Fuente: Vásquez, 2009

Ello significa que en dos años de cada diez puede producirse una precipitación mensual menor de lo previsto. En el caso de pasturas naturales, podría en cambio adoptarse una probabilidad menor.

1.3.3.1.4. Cambios de la humedad del suelo

De la Cruz (2010). El agua que se halla en la zona de las raíces puede medirse mediante muestreo y secado al horno del suelo antes y después de cada aguacero. El aumento de la humedad del suelo, más la pérdida por evapotranspiración (E_t) desde el momento en que comienza la lluvia hasta que se toman muestras del suelo, es la cantidad de lluvia efectiva. Después de un fuerte aguacero puede darse por supuesto que la evapotranspiración es del orden de la tasa potencial durante el breve periodo que va desde el cese de la lluvia hasta el momento del muestreo. Esta puede considerarse como 0,4 a 0,8 veces el valor de evaporación de la cubeta de la clase A.

1.3.3.1.5. Método del balance diario de la humedad

De la Cruz (2010). Un balance diario del agua es algo parecido a una cuenta bancaria. La lluvia y el riego figuran en el haber, mientras que el agotamiento de la humedad del suelo corresponde al debe. Para este método se necesitan datos

precisos sobre la capacidad máxima de retención del agua (capacidad de campo). Toda cantidad en exceso de esta capacidad es un excedente y será una pérdida por percolación profunda o escorrentía. Cuando el balance llega a cero, no es posible ninguna retirada más, y por ellos todo nuevo agotamiento se considera como un déficit de agua. La lluvia y el riego se miden directamente mientras que la evapotranspiración se calcula con arreglo o cualquiera de las diversas fórmulas disponibles.

En la agricultura de regadío, no se consiente nunca que el contenido de agua del suelo sea inferior a cierto valor, pues entonces el agua se convierte en un factor limitativo de la producción agrícola. Cuando el agua se agota hasta el límite inferior de la humedad fácilmente disponible, se aplica el riego. De aquí que los cálculos pueden basarse en la Evapotranspiración potencial (Etp).

En las zonas de secano o parcialmente regadas, donde la humedad del suelo no llega al límite inferior de la humedad fácilmente disponible, los cálculos han de basarse en la evapotranspiración real. La Eta puede estimarse con el método de Thornthwaite y Mather (1955), el de Baier y Robertson (1966), o mediante la relación entre Eta y Etp al disminuir el contenido de agua del suelo.

1.3.3.1.5. Dispositivo para medir la lluvia efectiva

De la Cruz (2010). Un dispositivo para medir la lluvia efectiva, consiste en un receptor de la lluvia que está conectado a un depósito de agua, el cual, a su vez está conectado con una superficie evaporante que representa un cultivo, el depósito corresponde a la capacidad máxima de retención de agua del suelo en cuestión. El agua de lluvia que rebase la capacidad máxima sale y se mide como lluvia inefectiva. La superficie evaporante pierde humedad continuamente, haciendo bajar el nivel puede leerse directamente en cualquier momento.

1.3.3.1.6. El método de Ramdas

De la Cruz (2010). Ramdas propuso un método de campo, utilizando un pequeño dispositivo portátil que contiene suelo del campo, con lo que se elimina la necesidad del muestreo. Consiste en un cilindro de unos 30 cm de diámetro, con una base perforada y un embudo que conduce a una botella receptora. Todas estas partes se hallan encerradas en un cilindro exterior. El cilindro está lleno de un suelo representativo con igual densidad que la del campo. La altura es idéntica a la profundidad de la zona efectiva de las raíces del cultivo. El aparato

se instala en el cultivo del campo donde va medirse la precipitación efectiva. El cultivo del recipiente se riega al mismo tiempo que el del campo. El exceso del agua de lluvia o de riego desagua en la botella receptora y se mide de vez en cuando. La lluvia total menos la inefectiva da el valor de la lluvia efectiva. Se supone que no hay escorrentía superficial. Se utilizan cilindros de diferentes dimensiones compatibles con la profundidad de las raíces de los diferentes cultivos. Con un adecuado número de repeticiones, el método es muy útil. Es sencillo y práctico y proporciona lecturas directas.

1.3.3.2. Determinación de la lluvia efectiva mediante fórmulas

De la Cruz (2010). Pueden utilizarse diversas fórmulas determinadas empíricamente. Se han elaborado en virtud de una serie dada de condiciones que pueden ser muy diferentes de las que rigen donde han de aplicarse. Su empleo en otros lugares es, pues, dudosa.

1.3.3.2.1 Ecuación de Renfro

De la Cruz (2010). Renfro, citado por Chow, propuso la siguiente ecuación para estimar la lluvia efectiva:

$$ER = E * Rg + A \quad \dots\dots\dots (18)$$

ER = lluvia efectiva

Rg = lluvia en la temporada de crecimiento

A = riego medio

E = razón del consumo de agua (CU) respecto a la lluvia durante la temporada de crecimiento.

El valor "E" implica el grado de lluvia que es probable se utilice para atender a las necesidades del consumo de agua.

TABLA 1.10: Razón “E” para estimar la lluvia efectiva en la ecuación de Renfro

CU/Rg	E	CU/Rg	E
0	0	2.4	0.72
0.2	0.1	2.6	0.75
0.4	0.19	2.8	0.77
0.6	0.27	3.0	0.80
0.8	0.35	3.5	0.84
1.0	0.41	4.0	0.88
1.2	0.47	4.5	0.91
1.4	0.52	5.0	0.93
1.6	0.57	6.0	0.96
1.8	0.61	7.0	0.98
2.0	0.65	9.0	0.99
2.0	0.69	/	/

Cuando mayor sea el valor de E, más alto será el valor de la lluvia efectiva. Por ejemplo, si la lluvia durante los cuatro meses de la temporada vegetativa suma 400mm, el consumo de agua es de 700mm y la aplicación media del riego es de 100mm, entonces la lluvia efectiva es igual a $0.60 \times 400 + 100 = 340\text{mm}$. El método es empírico y puede convenir en muchas situaciones.

1.3.3.2 Método de la razón evapotranspiración potencial / Precipitación

De la Cruz (2010). Este sencillo método semi-empírico se utiliza en la India en algunos proyectos. Se calcula una razón de la evapotranspiración potencial, tomada como 0.8 de los datos del tanque de evaporación Clase A (EE. UU.), respecto a la lluvia total de cierto grupo de días durante la temporada vegetativa. El número de días de un grupo se basa en general a un tipo de suelo o en las propiedades de humedad del suelo, así como en las condiciones atmosféricas generales o en las tasas de evapotranspiración. El máximo de días de un grupo es 15 durante el tiempo cálido y 30 durante el tiempo frío para los cultivos diferentes del arroz. Cuanto menor sea la capacidad de retención de agua del suelo y/o más elevada sea la tasa de evapotranspiración, más breve sería el periodo del grupo, según se indica en el cuadro siguiente:

TABLA 1. 11 : Número de días de un grupo para diferentes tipos de suelos y condiciones climáticas

Cultivo	Media Mensual ETP (mm/día)	Textura del suelo y capacidad de almacenamiento de agua (mm/m)			
		Ligera (menos de 40)	Media (40 a 80)	Fuerte (80 a 120)	Muy fuerte (mas de 120)
Arroz	3 a 12	2	3	4	7
Otros Cultivos	Mas de 6 Menos de 6	4 7	7 10	10 15	15 30

II.- MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Descripción de la zona

2.1.1. Ubicación Política

La zona de estudio se encuentra en el lugar denominado Canaan, distrito de Ayacucho que se encuentra ubicada en la Provincia de Huamanga.

Región	: Ayacucho
Departamento	: Ayacucho
Provincia	: Huamanga
Distrito	: Ayacucho
Lugar	: Canaan

2.1.2. Ubicación UTM

Norte	: 1456071.35
Este	: 413954.06
Altitud	: 2,756 m.s.n.m

2.1.3. Climatología

Climatológicamente, la ciudad de Ayacucho está ubicada en la región quechua, de acuerdo a la clasificación hecha por el geógrafo peruano Javier Pulgar Vidal; quien dividió el territorio del Perú en ocho regiones naturales. Esta región se caracteriza por tener quebradas amplias con fondos planos. El clima es templado y seco, con una temperatura promedio de 17.5 °C y una humedad relativa promedio de 56%.

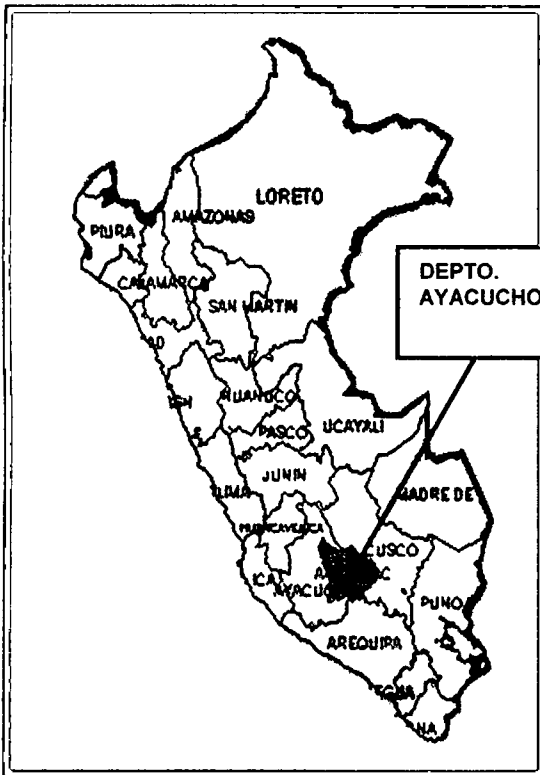


FIGURA 2. 2. Mapa de Ubicación Departamental

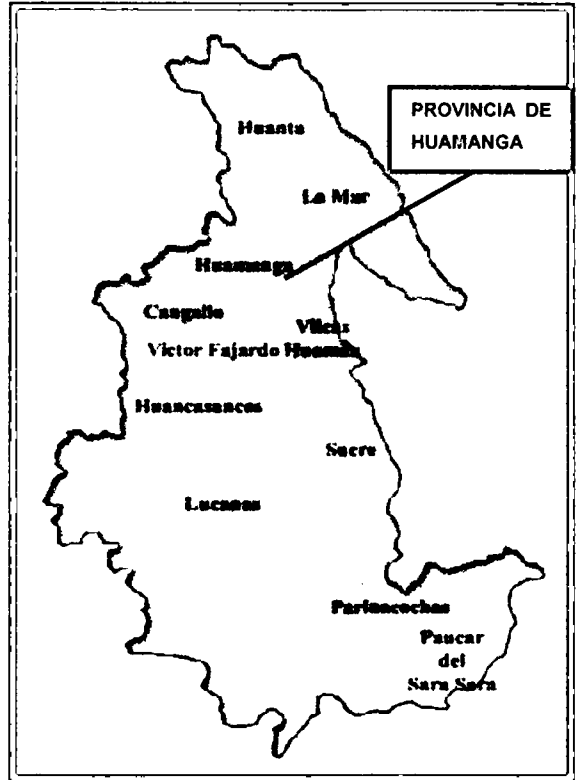
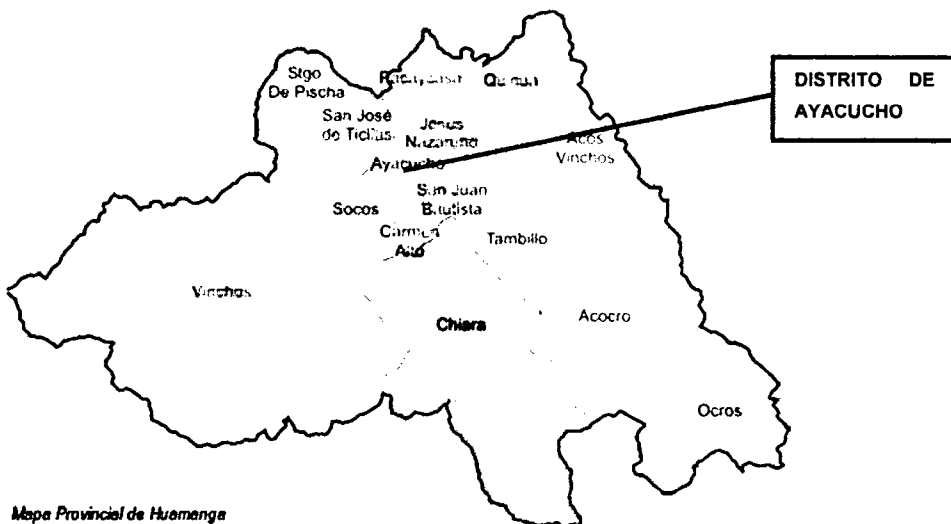


FIGURA 2. 1. Mapa de Ubicación Regional y Provincial



Mapa Provincial de Huamanga

FIGURA 2. 3. Mapa de Ubicación Distrital

Puede considerársele como valle a mediana altura; en cuanto a la humedad es considerada como zona semiárida. La temporada de lluvias es entre noviembre y marzo. Desde el punto de vista ecológico corresponde a la formación vegetal denominada "Bosque seco montano bajo" dentro del sistema de clasificación de zonas de vida Holdridge. La cuenca está limitada por los contrafuertes de los Andes, cuyos cerros rodean la ciudad y son de baja altura: el cerro La Picota al oeste y el cerro Acuchimay al sur. En estas condiciones de topografía se dan la irradiación, la formación de nubes y lluvias, que en conjunto forman el clima de Ayacucho.

2.2. Materiales y equipo

Entre los materiales, equipos y software que se utilizaron durante la elaboración del estudio tenemos las siguientes:

2.2.1. Material

- Datos meteorológicos de la estación meteorológica Canaan.
- Libreta de campo.

2.2.2. Equipo

- Computadora portátil
- Impresora y escáner
- Cámara fotográfica
- Calculadora científica

2.2.3. Software

- Microsoft office 2010
- Cropwat
- PETP
- SPSS

2.3. Métodos

2.3.1. Fase preliminar

Se realizó la búsqueda de bibliografías referentes al tema de estudio, así también la recopilación de fórmulas, hojas de cálculo y programas de cómputo.

2.3.2. Fase de campo

Se visitó las dos estaciones existentes en la ciudad de Huamanga, con el fin de elegir la Estación meteorológica más equipada y moderna, de las cuales se optó por la estación meteorológica INIA ubicado en la localidad de Canaan, por poseer la mayor cantidad de equipos modernos.

Se realizó la recopilación de información meteorológica, para esto se elaboró la solicitud a la institución encargada de administrar dicha estación meteorológica, la cual nos proporcionó toda la información requerida para la realización de la investigación.

2.3.3. Fase de gabinete

En esta fase se realizó el proceso de la información; para esto se utilizaron las siguientes metodologías empíricas de determinación de la Precipitación Efectiva, así también de Evapotranspiración:

2.3.3.1 Fórmulas empíricas para calcular la Precipitación Efectiva

Las fórmulas empíricas de determinación de la Precipitación efectiva y Evapotranspiración aplicados en el presente trabajo de investigación, se basaron en información meteorológica registrada en la Estación Meteorológica INIA.

En el presente trabajo de investigación de investigación se comparan cinco fórmulas empíricas de determinación de la Precipitación Efectiva y Evapotranspiración, las mismas que se detallan a continuación:

2.3.3.1.1. Fórmula empírica de la U. S. Bureau of Reclamation Method

Se recomienda para las regiones áridas y semiáridas y utiliza la precipitación estacional media de los cinco años consecutivos más secos. Se dan porcentajes respecto a los incrementos de la precipitación mensual, que oscilan entre más del 90% para los primeros 25mm (1 pulgada) o fracción hasta el 0 % para los aumentos de la precipitación superiores a los 150mm (6 pulgadas), según se indica en el cuadro siguiente:

Rango de incremento de precipitación (mm)	% de la Precipitación Efectiva	Rango de precipitación efectiva acumulada (mm)
0.0 - 25.4	90 - 100	22.9 - 25.4
25.4 - 50.8	85 - 95	44.4 - 49.5
50.8 - 76.2	75 - 90	63.5 - 72.4
76.2 - 101.6	50 - 80	76.2 - 92.7
101.6 - 127.0	30 - 60	83.8 - 107.9
127.0 - 152.4	10 - 40	86.4 - 118.1
más de - 152.4	0 - 10	86.4 - 120.6

Fuente: FAO, 1980

2.3.3.1.2. Fórmula empírica de la FAO

Se expone un método más detallado a propósito de la relación entre evapotranspiración y precipitaciones para determinar la lluvia efectiva. En él se indica la relación existente entre la lluvia efectiva mensual media y las lluvias mensuales medias para distintos valores de la ET (cultivo) mensual media. Se supone que la capacidad de almacenamiento de agua de la variación es mayor o menor que 75mm en el momento del riego. En los datos presentados no se tienen en cuenta las variaciones de las tasas de infiltración en el suelo y la intensidad de la lluvia; cuando la infiltración es baja y la intensidad de la lluvia alta, se puede perder un porcentaje considerable del agua debido a la escorrentía, que no se tiene en cuenta en este método. Habrá que tomar en consideración los efectos de la programación del riego sobre el volumen de lluvia efectiva previsto en relación con la cantidad de agua almacenada y en el suelo y disponible en el momento del riego.

2.3.3.1.3. Fórmula empírica del Tanque Evaporímetro

Se toma en cuenta la razón evapotranspiración potencial / precipitación. Se determina la evapotranspiración mensual con el registro de evaporación obtenido mediante el tanque evaporímetro. Este método es altamente eficiente y preciso, siempre que se cumpla con todas las condiciones que se requiere para su instalación y uso. Además, es un método sumamente práctico.

2.3.3.1.4. Método de Serruto Colque

Toma en cuenta también la relación evapotranspiración potencial / precipitación. La nueva fórmula empírica para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial o

Evapotranspiración en Referencia desarrollada por Serruto-Colque es la siguiente:

$$\boxed{ETP = 0.003(RS)^{2.5} + 0.16 (T)^{0.88}} \quad \dots\dots\dots (19)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración Potencial o Evapotranspiración de referencia, expresada en mm/día.

RS = Radiación Solar Extraterrestre expresada en equivalente de Evaporación en mm/día (tabla 1 del anexo), con valores de acuerdo con el mes y la altitud del lugar.

T = Temperatura Media Mensual, expresado en °C.

Conforme se puede observar, la nueva fórmula considerará solamente dos factores: la Radiación Solar Extraterrestre, como factor interno y constante, ha sido calculada por diversos autores y generalmente se encuentra en tablas de la bibliografía de la especialidad. El otro factor es la Temperatura como factor local y variable, es el más medido y por tanto los datos también son relativamente fáciles de ser obtenidos.

La fórmula propuesta ha sido comparada con las fórmulas de Blaney y Criddle, Radiación y Penman, que son recomendados por el Grupo Consultivo de la FAO, y por qué son los más usados según la disponibilidad de datos. La fórmula empírica de Penman es más exigente porque requiere mayor información.

La fórmula también es comparada con la fórmula de Holdridge y la fórmula de Thornthwaite, de aplicación común y recomendada por la FAO.

2.3.3.1.5. Método de Setzer basado en la Ley de Van't Hoff

El Ingeniero Químico José Setzer, Pedólogo del Departamento de Geología de la Facultad de Filosofía, Ciencias y Letras de la Universidad de Sao Paulo (Brasil), presenta interesantes consideraciones en torno de un perfeccionamiento de la clasificación del clima ideado por C. Warren Thornthwaite. Se trata de una nueva interpretación de la Precipitación Efectiva utilizada por Thornthwaite.

Setzer, basándose en la conocida Ley de Van't Holf que dice: la velocidad de las reacciones químicas se duplica cuando la temperatura pasa 10°C., trata el tema de modo diferente al de Thornwaite. El autor considera que es un error considerar la influencia de la temperatura en biología como procesándose según una Ley lineal sugerida por la escala lineal del termómetro. La referida influencia

de la temperatura obedece, en realidad, a funciones exponenciales. Así las temperaturas mínima, óptima y máxima son en el sentido fisiológico equidistantes entre sí, solamente cuando usadas como exponentes de cierta constante K, que debe ser encontrada en cada caso, más que acostumbra variar entre 1.05 y 1.14. El empleo de escala termométrica lineal torna la temperatura más próxima de la óptima de ésta de la mínima, lo que no corresponde a la realidad, bajo el punto de vista fisiológico.

Setzer, basado en la Ley de Van't Hoff presenta una nueva fórmula empírica para el cálculo de la Precipitación Efectiva, siendo tal fórmula una función de tipo exponencial, suministra progresiones geométricas cuyos valores sirven de base para delimitar los climas según el grado de humedad. La fórmula es la siguiente:

$$PE = \frac{P}{1.07^t} \quad \dots\dots\dots (20)$$

PE = Precipitación Efectiva Mensual en mm,
P = Precipitación total Mensual Media en mm.
t = Temperatura Media Mensual en °C.

2.3.3.2 Fórmulas empíricas para calcular la Evapotranspiración

2.3.3.2.1. Fórmula de Hargreaves

Propone la temperatura, humedad relativa media diaria, velocidad del viento, insolación y altitud como factores para la determinación de la ETP.

ETP: Evapotranspiración potencial (mm/mes)

$$ETP = MF \times TMF \times CH \times CE \quad \dots\dots\dots (21)$$

CH: Factor de corrección para la humedad relativa media mensual.

Si HR<64% entonces CH = 1

$$Si HR>64% entonces CH = 0.166 \times \sqrt{100 - HR} \quad \dots\dots\dots (22)$$

CE: Factor de corrección para la altura o elevación del lugar

$$CE = 1 + 0.04 \times \frac{E}{2000} \quad \dots\dots\dots (23)$$

2.3.3.2.2. Fórmula de Penman Monteith

ETP: Evapotranspiración potencial (mm/día)

$$ETP = \frac{0.408 \times \Delta X (R_n - G) + \gamma X \frac{900}{T_m + 273} \times U_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 \times U_2)} \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$R_{nl} = \sigma \times \left[\frac{T_{max} (^{\circ}K)^4 + T_{min} (^{\circ}K)^4}{2} \right] \times (0.34 - 0.14 \times \sqrt{e_a}) \times (1.35 \times \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35) \dots (25)$$

$$\Delta = \frac{4098 \times [0.6108 \times e^{\frac{17.27 \times T_m}{T_m + 237.3}}]}{(T_m + 237.3)^2} \dots\dots\dots (26)$$

$$e_a = e^0(T_{med}) \times \frac{HR_{med}}{100} \dots\dots\dots (27)$$

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \dots\dots\dots (28)$$

$$R_{ns} = (1 - \alpha) \times R_s \dots\dots\dots (29)$$

$$R_s = (0.25 + 0.50 \times \frac{n}{N}) \times R_a \dots\dots\dots (30)$$

$$R_{so} = (0.75 + 2 \times 10^{-5} \times z) \times R_a \dots\dots\dots (31)$$

$$\gamma = 0.0674 \times \left(\frac{293 - 0.0065 \times z}{293} \right)^{5.26} \dots\dots\dots (32)$$

$$e_s = \frac{e^0(T_{max}) + e^0(T_{min})}{2} \dots\dots\dots (33)$$

$$e^0(T) = 0.6108 \times e^{\frac{17.27 \times T}{T + 237.3}} \dots\dots\dots (34)$$

$$G_{mes.1} = 0.07 \times (T_{mes.i+1} - T_{mes.i-1}) \dots\dots\dots (35)$$

2.3.3.2.3. Fórmula de Thornthwaite

ETP: Índice térmico mensual (i):

$$i_n = \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.514} \dots\dots\dots (36)$$

ETP: Índice térmico mensual (I):

$$I = \sum_{n=1}^{n=12} i_n \dots\dots\dots (37)$$

Exponente (a)

$$a = 0.6751 \times 10^{-6} \times I^3 - 0.771 \times 10^{-4} \times I^2 + 0.01792 \times I + 0.49239 \dots (38)$$

ETP: Evapotranspiración mensual (ETP')

$$ETP' = 16 \times \left(\frac{10 \times t}{I} \right)^a \dots\dots\dots (39)$$

ETP: Evapotranspiración potencial mensual corregida (mm/mes)

$$ETP = ETP' \times \frac{N}{12} \times \frac{d}{30} \dots\dots\dots (40)$$

2.3.3.2.4. Fórmula de Linacre

$$ETP = \frac{\frac{500 \times (T_m - 0.006 \times H)}{100 - A} + 15 \times (T_m - T_{pr})}{80 - T_m} \dots\dots\dots (41)$$

$$T_m - T_{pr} = 0.0023 \times H + 0.37 \times T_m + 0.53 \times R + 0.35 \times R_A - 10.9 \dots (42)$$

2.3.3.2.5. Fórmula de Turc

$$ETP = f \times \frac{T_m}{T_m + 15} \times (R_s + 50) \times c \dots\dots\dots (43)$$

Si HR < 50% entonces C = 1

Si $HR > 50\%$ entonces $C = 1 + \left(\frac{50 - HR}{70}\right)$ (44)

2.3.3.3 Análisis del procedimiento

El resumen de la información meteorológica básica para su aplicación en las cinco fórmulas empíricas de determinación de la Precipitación Efectiva y Evapotranspiración, se presenta en la tabla 2.1, donde los datos tanto de las precipitaciones medias mensuales, temperaturas medias mensuales, velocidades media mensuales, evaporaciones del tanque evaporímetro, humedades relativas y duración de horas de sol, han sido obtenidos de la estación meteorológica INIA administrado por el Gobierno Regional de Ayacucho.

TABLA 2. 1 : Datos meteorológicos de la Estación INIA

MES	PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)	TEMPERATURA PROMEDIO (°C)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/seg)	EVAPORACIÓN (mm/mes)	HUMEDAD RELATIVA (%)	DURACIÓN HORAS SOL (%)
ENERO	178.2	16.95	2.4	102.6	82.6	5.8
FEBRERO	116.6	17.65	2.0	98.6	85.7	6.2
MARZO	62.8	17.6	2.4	110.8	87.1	6.3
ABRIL	11.7	17.35	2.1	126.3	85.1	6.7
MAYO	5.6	17.6	2.5	124	80.9	6.5
JUNIO	0	15.95	1.8	120.1	82.3	7.6
JULIO	6.6	15.4	1.7	137.1	81.0	7.9
AGOSTO	18.6	16.7	2.3	121.8	80.0	6.9
SETIEMBRE	8.6	18.1	2.2	121.3	76.9	6.6
OCTUBRE	32.6	18.2	2.0	123.9	80.8	7.0
NOVIEMBRE	31.8	18.9	2.4	111.9	81.0	6.2
DICIEMBRE	105.4	17.8	2.0	98.7	85.8	5.0

2.3.3.3.1 Análisis de Precipitación efectiva para cada método

- Fórmula de la U. S. Bureau of Reclamation Method
 Para utilizar esta fórmula se utilizó la tabla propuesta por la U. S. Bureau of Reclamation Method mostrada en el anexo N° 2, en la cual se ingresó para cada mes los datos mensuales de precipitación, y así de manera directa se obtuvo los resultados de Precipitación Efectiva.
- Fórmula de la FAO
 Para este método se utilizó el cuadro propuesto por la FAO mostrada en el anexo N° 2, en la cual se ingresaron para cada mes los datos

mensuales de precipitación total, así como también los datos de evapotranspiración determinados mediante el tanque evaporímetro, así de manera directa se obtuvo los resultados de Precipitación Efectiva.

- **Fórmula del tanque evaporímetro**

Para este método se utilizaron los datos mensuales del tanque evaporímetro para determinar la Evapotranspiración potencial. A continuación se determina el factor de corrección para cada mes indicados en la tabla 1.3, para ello se utilizan los datos de humedad relativa y velocidad del viento. La diferencia entre la precipitación total y la evapotranspiración viene a ser la lluvia aprovechada por la planta o también llamada precipitación efectiva.

- **Fórmula de Setzer basada en la Ley de Van' Hoff**

Para el uso de esta fórmula empírica

se utilizaron los datos mensuales de precipitación total y temperatura promedio mensual, los cuales se reemplazan en la fórmula 20 de Setzer, para cada mes.

- **Fórmula de Serruto Colque**

- Para usar esta fórmula empírica se utilizaron los datos de radiación solar y temperatura, los cuales se reemplazan en la fórmula de Serruto para cada mes, de esto se obtiene la evapotranspiración potencial para cada mes; una vez obtenida la evapotranspiración, se determina la diferencia entre la precipitación total y la evapotranspiración determinada por la fórmula de Serruto, esta diferencia viene a ser la lluvia aprovechada por la planta o también llamada precipitación efectiva.

2.3.3.3.2 Procedimiento de Evapotranspiración para cada fórmula empírica

Se aplicó cada una de las fórmulas empíricas descritas a continuación:

- ✓ Para este método se utilizó el programa de cómputo para el cálculo de la evapotranspiración denominado PETP; el cual utiliza dos fórmulas empíricas basadas en la radiación y en la temperatura; para nuestro análisis se utilizó la fórmula de Hargreaves basada en la temperatura. Se introdujeron al programa los datos de temperatura promedio mensual, la humedad relativa promedio mensual, la altitud y latitud de la zona en estudio.

Se procesaron los datos para cada mes, y se exportaron los resultados al Excel; a continuación se muestra el procedimiento de la operación, así como también los datos introducidos y ejecutados en el programa.

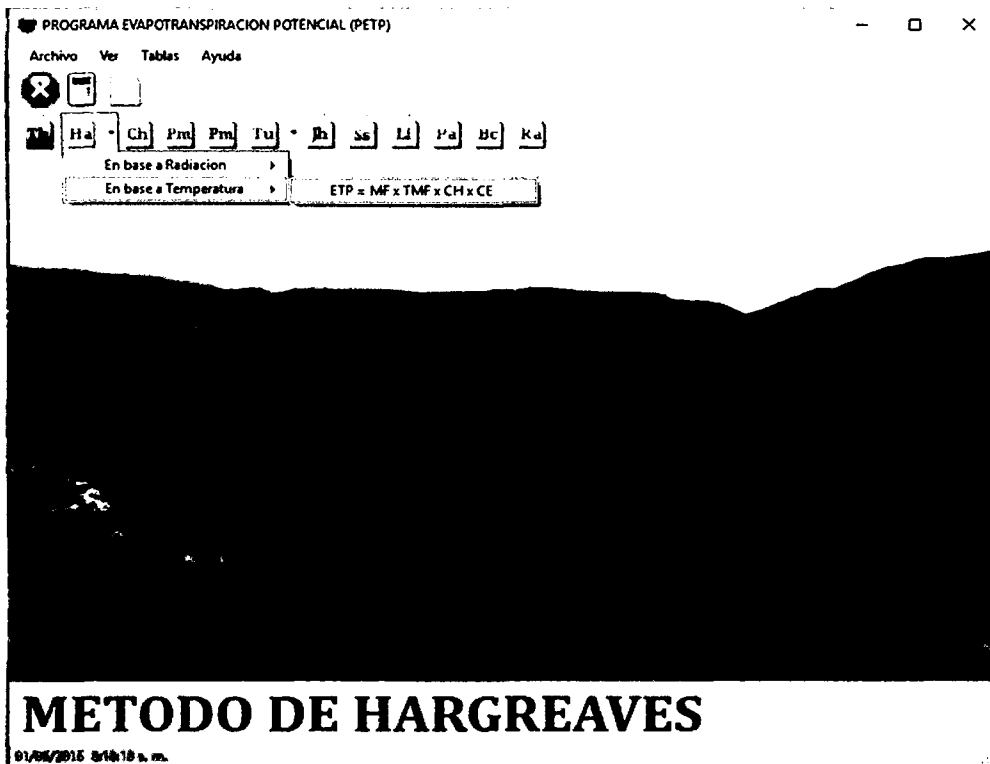


FIGURA 2. 4 Inicio de la Fórmula de Hargreaves, programa PETP

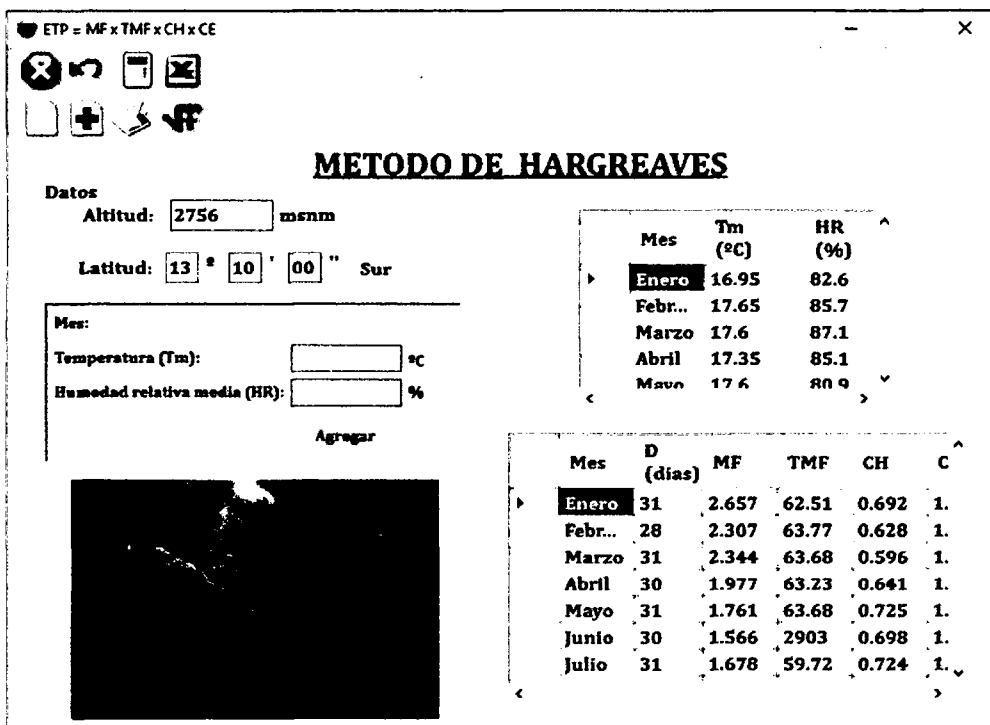


FIGURA 2. 5 Introducción de datos, fórmula de Hargreaves, programa PETP

- Para este método se utilizó el programa de cómputo para el cálculo de la evapotranspiración denominado PETP; el cual utiliza la metodología de Penman Monteith basado en datos meteorológicos.

Se introdujeron al programa los datos de las temperaturas máximas mensuales, temperaturas mínimas mensuales, velocidad media de viento, duración de las horas de sol, humedad relativa mensual, altitud y latitud de la zona en estudio.

Se procesaron los datos para cada mes, y se exportaron los resultados al Excel; a continuación se muestra el procedimiento de la operación, así como también los datos introducidos y ejecutados en el programa.

El método presenta mejores resultados que otros métodos, debido a la mayor cantidad de variables meteorológicas que utiliza.

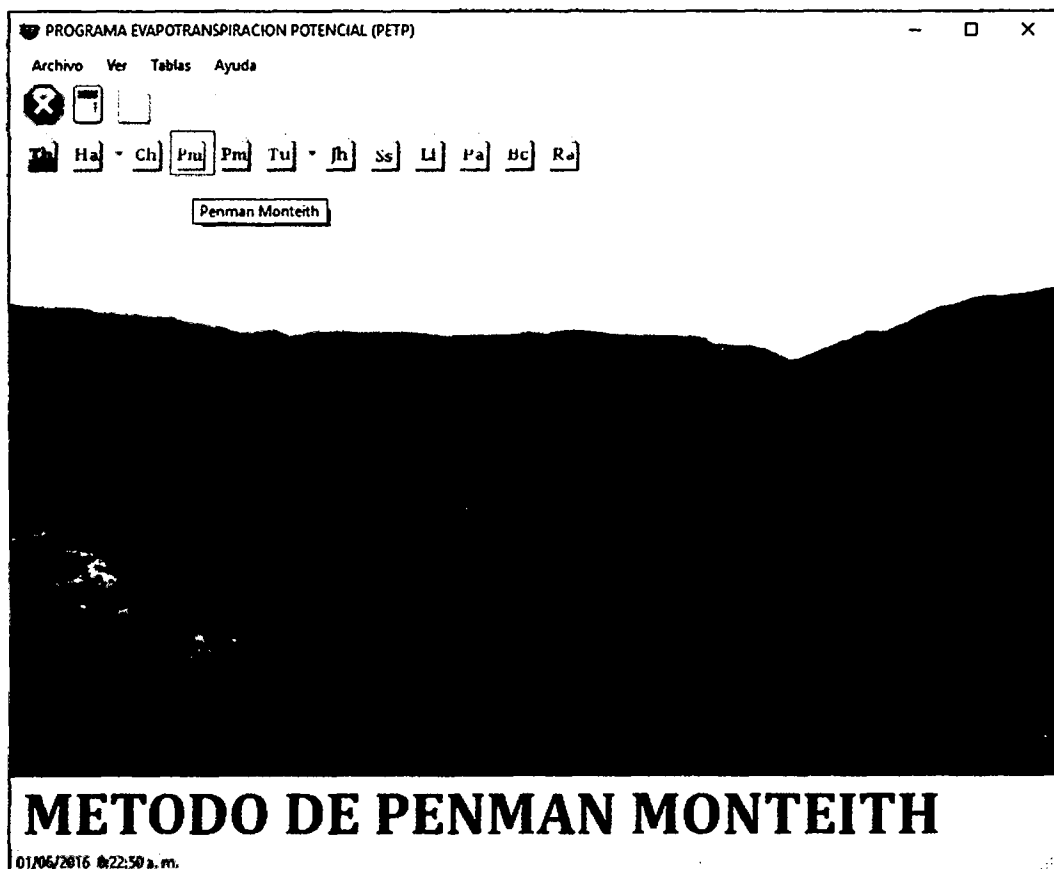


FIGURA 2. 6 Inicio de la fórmula de Penman Monteith, programa PETP

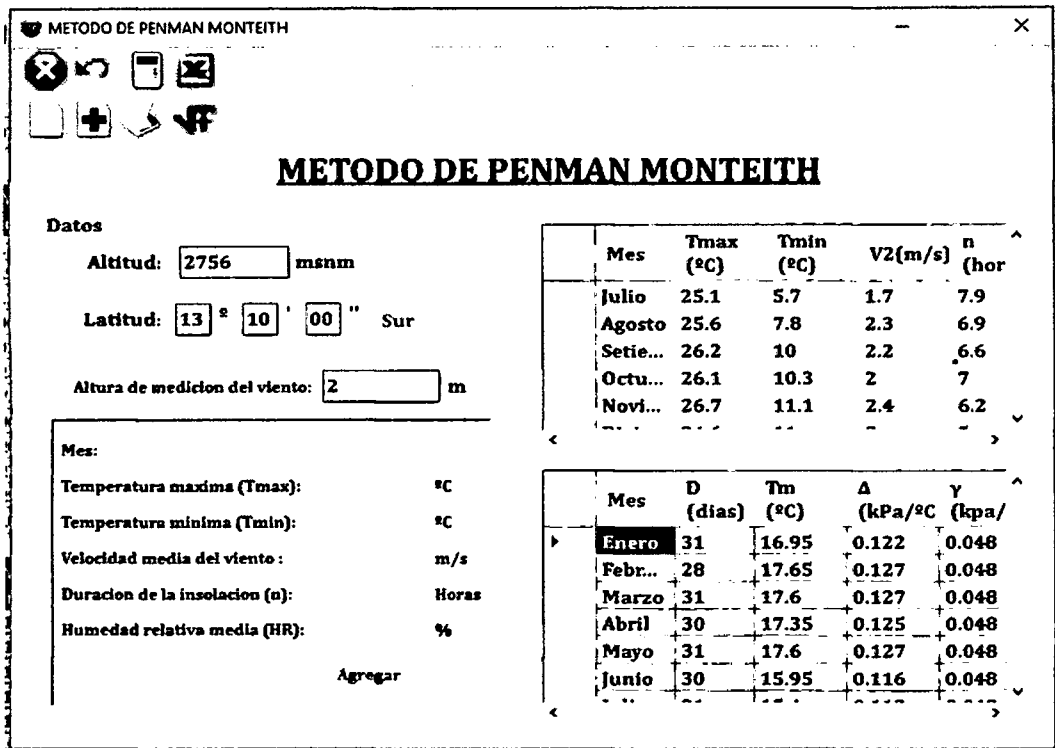


FIGURA 2. 7 Introducción de datos, fórmula de Penman, programa PETP

- Para este método se utilizó el programa de cómputo para el cálculo de la evapotranspiración denominado Petp; el cual utiliza la metodología de Thornthwaite basado únicamente en datos de temperaturas medias. Se introdujeron al programa los datos de temperatura media mensual, y latitud de la zona en estudio. Se procesaron los datos para cada mes, y se exportaron los resultados al Excel; a continuación se muestra el procedimiento de la operación, así como también los datos introducidos y ejecutados en el programa. El método presenta más limitaciones que los otros métodos, debido a la carencia de datos climatológicos, puesto que solo utiliza la eficiencia de la temperatura media mensual y latitud.

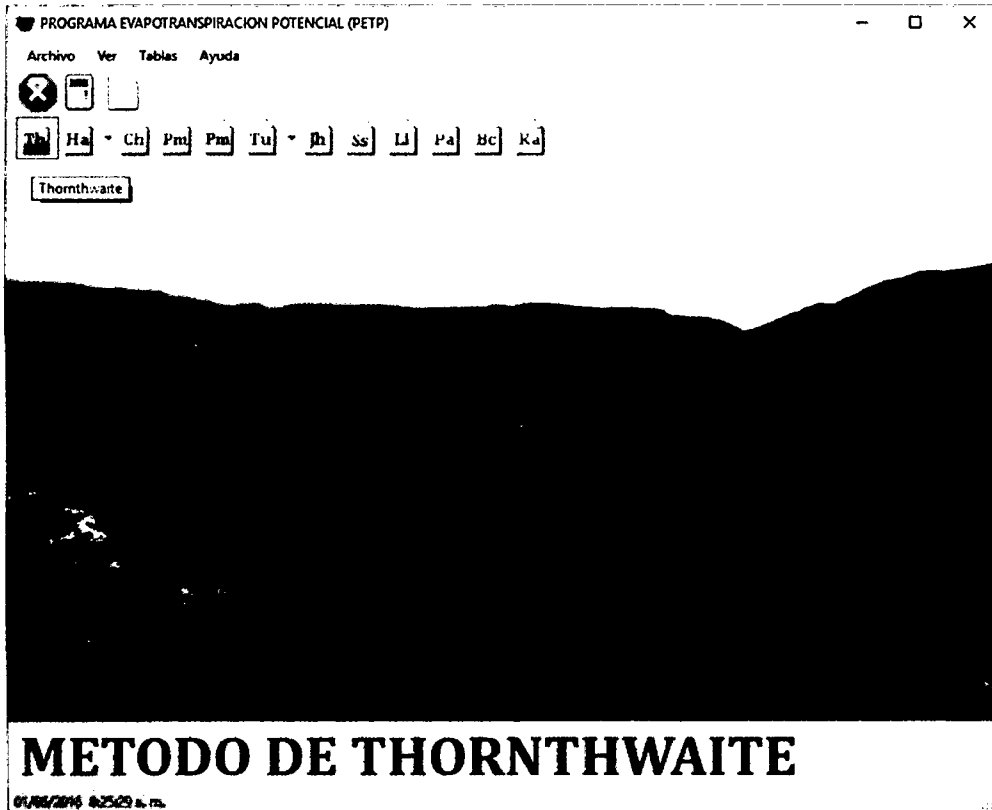


FIGURA 2. 8. Inicio de la fórmula de Thornthwaite, programa PETP

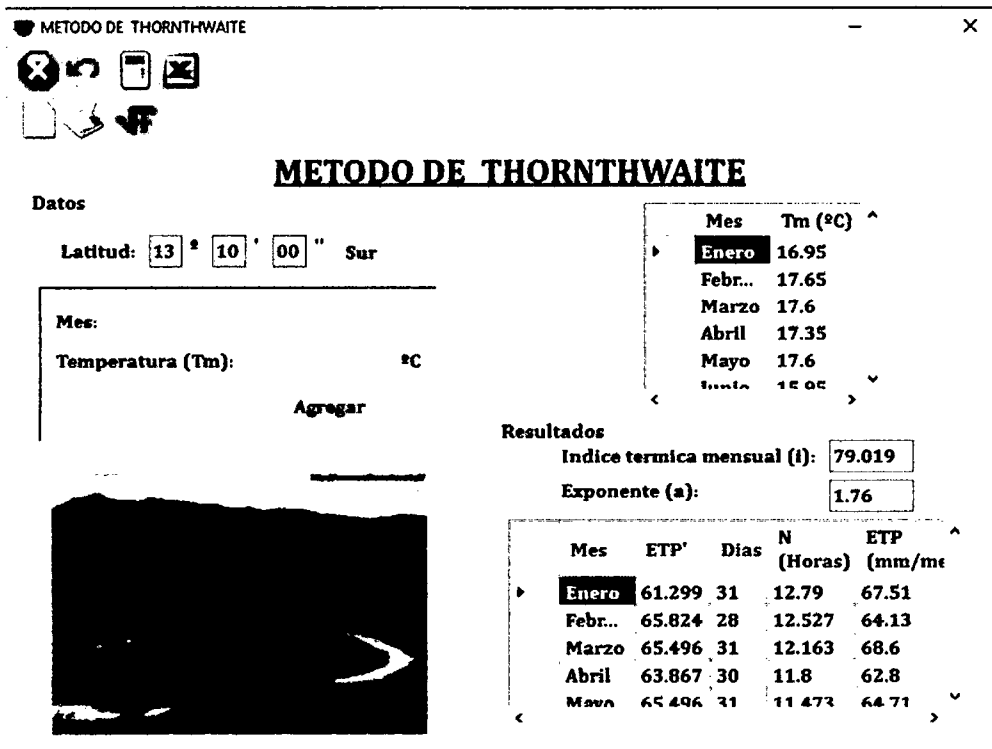


FIGURA 2. 9. Introducción de datos, fórmula de Thornthwaite, programa PETP

- Para este método se utilizó el programa de cómputo para el cálculo de la evapotranspiración denominado PETP; el cual utiliza la metodología de Linacre basado en datos de temperaturas máximas y temperaturas mínimas.

Se introdujeron al programa los datos de temperatura máxima mensual, y temperatura mínima mensual, y latitud de la zona en estudio.

El método presenta las lógicas limitaciones debidas a las simplificaciones introducidas, pero no obstante los valores obtenidos son muy realistas y permiten una buena evaluación del consumo de agua.

Se procesaron los datos para cada mes, y se exportaron los resultados al Excel; a continuación se muestra el procedimiento de la operación, así como también los datos introducidos y ejecutados en el programa.



FIGURA 2. 10. Inicio de la fórmula de Linacre, programa PETP

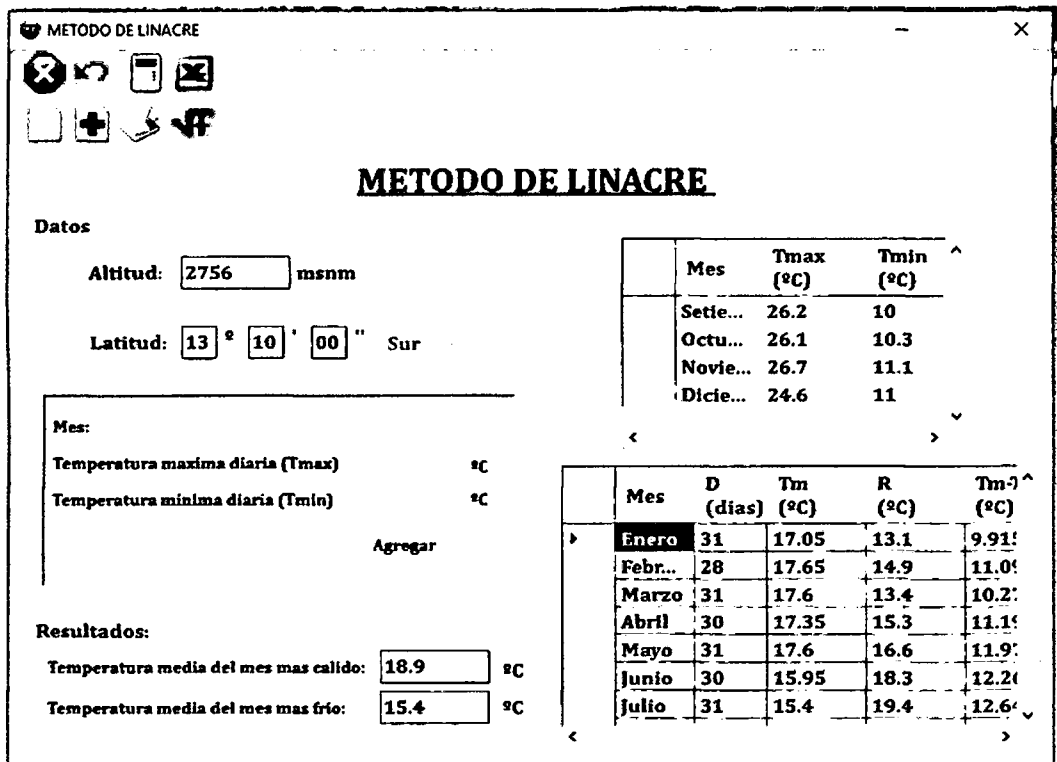
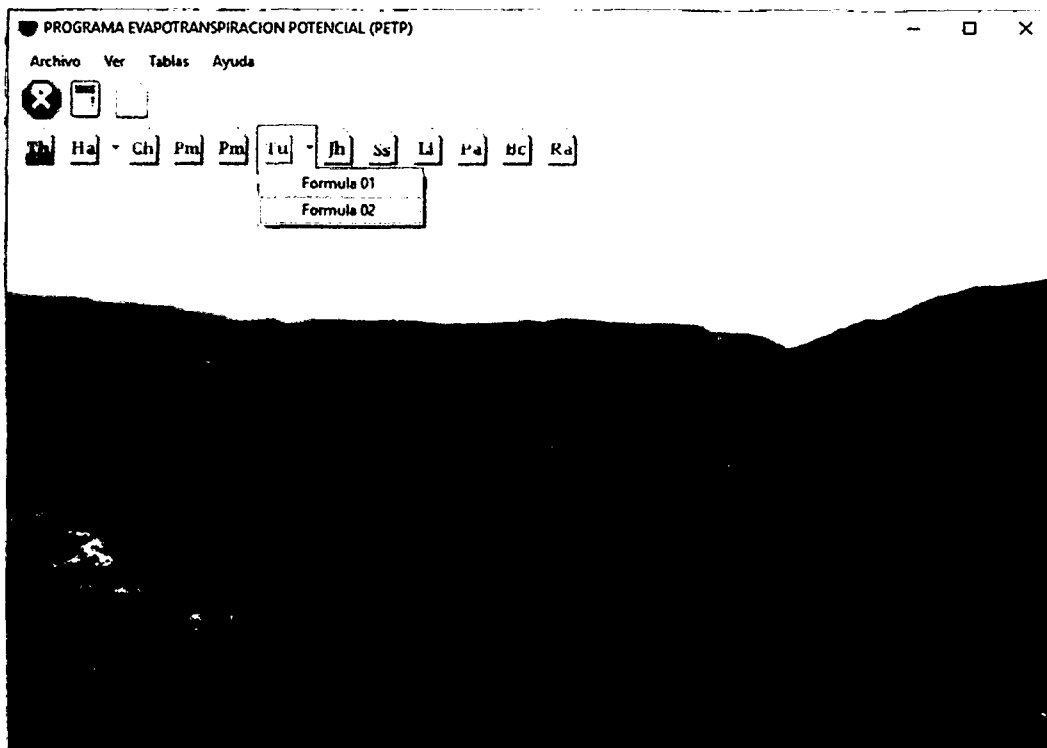


FIGURA 2. 11. Introducción de datos, Fórmula de Linacre, programa PETP

- Para este método se utilizó el programa de cómputo para el cálculo de la evapotranspiración denominado Petp; el cual utiliza dos fórmulas distintas según la disposición de datos, la fórmula 01 solo utiliza datos de temperatura media mensual y precipitación mensual; y la fórmula 02 utiliza datos mensuales de temperatura media, horas de sol, y humedad relativa. Para nuestro análisis se utilizó la fórmula 02 de Turc, como se muestra en la figura 2.12, esto porque posee mayores variables climatológicas. Se introdujeron al programa los datos de temperatura promedio mensual, horas de sol, humedad relativa mensual, la altitud y latitud de la zona en estudio. Se procesaron los datos para cada mes, y se exportaron los resultados al Excel; a continuación se muestra el procedimiento de la operación, así como también los datos introducidos y ejecutados en el programa.



METODO DE TURC

01/06/2016 8:30:10 a.m.

FIGURA 2. 12. Inicio de la fórmula de Turc, programa PETP

METODO DE TURC

Datos

Latitud: ° ' " Sur

Factor de correccion para zonas aridas

Mes:	Temperatura media mensual (Tm) °C	Horas de fuerte insolacion (n) Horas	Humedad relativa media (HR) %
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Agregar

Mes	Tm (°C)	n (Horas)
Enero	16.95	5.8
Febr..	17.65	6.2
Marzo	17.6	6.3
Abril	17.35	6.7
Mayo	17.6	6.5

Mes	D (dias)	N (horas)	Ra (mm/dia)	Rs (cal)
Enero	31	12.79	16.658	464.0
Febr..	28	12.527	16.358	476.0
Marzo	31	12.163	15.342	456.0
Abril	30	11.8	13.825	431.0
Mayo	31	11.473	12.267	382.0
Junio	30	11.31	11.367	389.0
Julio	31	11.41	11.767	410.0

FIGURA 2. 13. Introducción de datos, fórmula de Turc, programa PETP

III.- RESULTADOS

3.1- Resultados de precipitación efectiva

A continuación se muestran los resultados de precipitación efectiva para cada fórmula empírica:

En la tabla 3.1 se muestran los resultados obtenidos por el método de la U. S. Bureau of Reclamation Method, el cual nos muestra mayor precipitación efectiva en el mes de enero con 120.6 mm, esto debido a que es en el mes de enero en el que se registra mayor precipitación, así como también menor evapotranspiración; además se observa que para el mes de junio no se cuenta con precipitación efectiva, dado que para este mes la precipitación fue nula.

TABLA 3. 1 : Fórmula de U.S. Bureau of Reclamation

MÉTODO U.S. BUREAU OF RECLAMATION		
MES	PRECIPITACIÓN (mm)	PP EFECT (mm)
ENERO	178.2	120.6
FEBRERO	116.6	107.9
MARZO	62.8	63.5
ABRIL	11.7	11.7
MAYO	5.6	5.6
JUNIO	0	0
JULIO	6.6	6.6
AGOSTO	18.6	18.6
SETIEMBRE	8.6	8.6
OCTUBRE	32.6	25.4
NOVIEMBRE	31.8	25.4
DICIEMBRE	105.4	83.8

En la tabla 3.2 se muestran los resultados obtenidos por el método de la FAO, el cual nos muestra mayor precipitación efectiva en el mes de enero con 116mm, esto debido a que es en el mes de enero en el que se registra mayor precipitación, así como también menor evapotranspiración. Al igual que en el método anterior se registra precipitación nula en el mes de junio, como se puede observar la tendencia es semejante al método anterior, en la tabla se puede observar la influencia de la evapotranspiración en los resultados de precipitación efectiva, como se puede observar en los meses con mayor evapotranspiración se registran los menores datos de precipitación efectiva.

TABLA 3. 2 : Fórmula de la FAO

MÉTODO DE FAO			
MES	PRECIPITACIÓN (mm)	ETP (mm/mes)	PP EFECT (mm)
ENERO	178.2	71.82	116
FEBRERO	116.6	69.02	69
MARZO	62.8	77.56	41.38
ABRIL	11.7	88.41	9
MAYO	5.6	99.2	5.6
JUNIO	0	96.08	0
JULIO	6.6	95.97	6.6
AGOSTO	18.6	85.26	13.59
SETIEMBRE	8.6	84.91	8.6
OCTUBRE	32.6	86.73	23.94
NOVIEMBRE	31.8	78.33	50.62
DICIEMBRE	105.4	69.09	65

En la tabla 3.3 se muestran los resultados obtenidos por el método del tanque evaporímetro, este método resulta de la relación que existe entre la precipitación total y la evapotranspiración potencial.

Como se puede observar en la tabla 3.3 es en el mes de enero en el cual se registra la mayor precipitación efectiva con 106.38mm, esto debido a que es en el mes de enero en el que se registra mayor precipitación, así como también menor evapotranspiración. Al igual que en el método anterior se registra precipitación nula en el mes de junio.

También se observa que los valores resultantes de evapotranspiración son relativamente más bajos que con los métodos indirectos, esto incrementa el valor

de la precipitación efectiva, puesto que la evapotranspiración resulta inversamente proporcional a la precipitación efectiva; asimismo se observa que en los meses sin lluvias se registran los meses con mayor evapotranspiración.

La evapotranspiración fue obtenida por el método directo del tanque evaporímetro, se puede observar que la mayor evapotranspiración resulta en el mes de junio con 96.08 mm/mes, y la menor evapotranspiración en el mes de febrero con 69.02 mm/mes.

TABLA 3. 3 : Fórmula del tanque evaporímetro

MÉTODO DEL TANQUE EVAPORÍMETRO				
MES	EVAPORACIÓN (mm/mes)	FACTOR DE CORRECCIÓN	ETP (mm/mes)	PP EFECT (mm)
ENERO	102.6	0.7	71.82	106.38
FEBRERO	98.6	0.7	69.02	47.58
MARZO	110.8	0.7	77.56	77.56
ABRIL	126.3	0.7	88.41	11.70
MAYO	124	0.8	99.2	5.60
JUNIO	120.1	0.8	96.08	0.00
JULIO	137.1	0.7	95.97	6.60
AGOSTO	121.8	0.7	85.26	18.60
SETIEMBRE	121.3	0.7	84.91	8.60
OCTUBRE	123.9	0.7	86.73	32.60
NOVIEMBRE	111.9	0.7	78.33	31.80
DICIEMBRE	98.7	0.7	69.09	36.31

En la tabla 3.4 se muestran los resultados obtenidos por el método de Setzer basado en la Ley de Van't Hoff, este método resulta de la fórmula propuesta por Setzer, en las cuales intervienen la precipitación total mensual (mm) y la temperatura (°C).

Como se puede observar en la tabla 3.4 es en el mes de enero en el cual se registra la mayor precipitación efectiva con 56.60mm, esto debido a que es en el mes de enero en el que se registra mayor precipitación, así como también menor evapotranspiración. También se puede observar que en los meses de pocas lluvias o nulas es en el cual no se cuenta con precipitación efectiva.

La evapotranspiración en estos meses del año, tendrá que ser repuesta al suelo por medio del riego.

TABLA 3. 4 : Fórmula de Setzer

MÉTODO DE SETZER, BASADO EN VAN'HOFF			
MES	PRECIPITACIÓN (mm)	TEMPERATURA (°C)	PP EFECT (mm)
ENERO	178.2	16.95	56.60
FEBRERO	116.6	17.65	35.32
MARZO	62.8	17.6	19.09
ABRIL	11.7	17.35	3.62
MAYO	5.6	17.6	1.70
JUNIO	0	15.95	0.00
JULIO	6.6	15.4	2.33
AGOSTO	18.6	16.7	6.01
SETIEMBRE	8.6	18.1	2.53
OCTUBRE	32.6	18.2	9.52
NOVIEMBRE	31.8	18.9	8.85
DICIEMBRE	105.4	17.8	31.61

En la tabla 3.5 se muestran los resultados obtenidos por la fórmula de Serruto Colque, la evapotranspiración es calculada por la fórmula de Serruto Colque para cada mes, con estos datos de evapotranspiración mensuales obtenidos se procede a relacionar mes por mes con los datos de precipitación total, de aquí se obtienen los datos de precipitación efectiva para cada mes.

Como se puede observar en la tabla 3.5 es en el mes de Febrero en el cual se registra la mayor precipitación efectiva con 116.6mm, y el segundo el mes de diciembre con 105.4mm, esto se produce debido a que por resultar la precipitación total inferior a la evapotranspiración, entonces se asume que toda la lluvia precipitada es evapotranspirada.

Todo lo contrario sucede con el mes de enero en el cual se registra solo 17.70mm de precipitación efectiva, esto debido a que se determina la diferencia entre la precipitación total y la evapotranspiración, esto debido a que para este mes la precipitación total fue superior a la evapotranspiración.

En el mes de junio se registra una precipitación efectiva de 0.00mm dado a que en este mes no se registraron lluvias.

TABLA 3. 5 : Fórmula de Serruto Colque

MÉTODO SERRUTO-COLQUE					
MES	RADIACIÓN SOLAR	TEMPERATURA (°C)	ETP (mm/día)	ETP (mm/mes)	PP EFECT (mm)
ENERO	16.7	16.95	5.35	160.50	17.70
FEBRERO	16.4	17.65	5.27	158.06	116.6
MARZO	15.3	17.6	4.74	142.29	62.8
ABRIL	13.7	17.35	4.06	121.66	11.7
MAYO	12.1	17.6	3.52	105.72	5.6
JUNIO	11.2	15.95	3.09	92.69	0
JULIO	11.6	15.4	3.15	94.49	6.6
AGOSTO	12.9	16.7	3.70	110.97	18.6
SETIEMBRE	14.5	18.1	4.45	133.43	8.6
OCTUBRE	15.8	18.2	5.03	150.98	32.6
NOVIEMBRE	16.5	18.9	5.44	163.29	31.8
DICIEMBRE	16.6	17.8	5.38	161.52	105.4

3.2- Resultados de evapotranspiración

Los resultados de Evapotranspiración para las cinco fórmulas empíricas, podemos observarlos en la tabla 3.7, estos resultados fueron obtenidos directamente del programa PETP y exportados al excel.

A manera de comprobación, se realizó también el cálculo de la ETP mediante el uso del programa de cómputo Cropwat versión 8.0 de la FAO, en este caso solo se determinó la ETP para el método de Penman Monteith.

Como se puede apreciar los resultados de Evapotranspiración son bastante similares a los obtenidos por el programa PETP para cada mes, las pequeñas diferencias obtenidas se deben a que el programa Cropwat solo admite valores enteros en la humedad relativa, mientras que el programa PETP procesa valores decimales.

Se introdujeron al programa los datos meteorológicos de temperatura máxima mensual, temperatura mínima mensual, la humedad relativa promedio mensual, velocidad del viento, horas de sol, altitud, latitud y longitud de la zona en estudio.

Se procesaron los datos para cada mes, a continuación se muestran los resultados de Evapotranspiración en mm/día, y radiación solar obtenidos por el programa Cropwat.

Monthly ETo Penman-Monteith - untitled

Country Station

Altitude m. Latitude °S Longitude °E

Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day
January	10.3	23.6	82	207	5.8	19.3	3.82
February	10.2	25.1	85	172	6.2	19.8	3.88
March	10.9	24.3	87	207	6.3	19.1	3.63
April	9.7	25.0	85	181	6.7	18.0	3.46
May	9.3	25.9	80	216	6.5	15.9	3.34
June	6.8	25.1	82	155	7.6	16.3	3.07
July	5.7	25.1	81	146	7.9	17.1	3.15
August	7.8	25.6	80	198	6.9	17.4	3.48
September	10.0	26.2	76	190	6.6	18.8	3.96
October	10.3	26.1	80	172	7.0	20.7	4.18
November	11.1	26.7	81	207	6.2	19.8	4.21
December	11.0	24.6	85	172	5.0	18.0	3.66
Average	9.4	25.3	82	185	6.6	18.3	3.65

FIGURA 3. 1 Cálculo de la ETP (fórmula de Penman) con el programa CROPWAT

Síntesis de precipitación efectiva y evapotranspiración

Después de haber calculado la precipitación efectiva mensual, se procedió a encontrar el promedio total anual para cada método, se puede apreciar en la tabla 3.6 que la mayor precipitación efectiva anual fue obtenida con el método de la U. S. Bureau of Reclamation Method con 477.70 mm y la menor cantidad fue obtenida por medio del método de Setzer con 177.18 mm.

Asimismo se observa en la figura 3.2 las curvas del comportamiento mensual para cada método de precipitación efectiva, el método de la Fao posee valores mensuales más regulares, los cuales forman una curva más regular que los demás métodos,

El resumen de los resultados obtenidos de los cálculos mensuales de precipitación efectiva se presenta en la tabla 3.6 la cual se muestra a continuación:

TABLA 3. 6 : Resumen de resultados de precipitación Efectiva

MES	PRECIPITACIÓN EFECTIVA U.S. BUREAU OF RECLAMATION METHOD (mm)	PRECIPITACIÓN EFECTIVA MÉTODO FAO (mm)	PRECIPITACIÓN EFECTIVA MÉTODO TANQUE EVAPORÍMETRO (mm)	PRECIPITACIÓN EFECTIVA MÉTODO SERRUTO (mm)	PRECIPITACIÓN EFECTIVA MÉTODO SETZER VAN'T HOFF (mm)
ENERO	120.6	116	106.38	17.69591129	56.60
FEBRERO	107.9	69	47.58	116.6	35.32
MARZO	63.5	41.38	77.56	62.8	19.09
ABRIL	11.7	9	11.7	11.7	3.62
MAYO	5.6	5.6	5.6	5.6	1.70
JUNIO	0	0	0	0	0.00
JULIO	6.6	6.6	6.6	6.6	2.33
AGOSTO	18.6	13.59	18.6	18.6	6.01
SETIEMBRE	8.6	8.6	8.6	8.6	2.53
OCTUBRE	25.4	23.94	32.6	32.6	9.52
NOVIEMBRE	25.4	50.62	31.8	31.8	8.85
DICIEMBRE	83.8	65	36.31	105.4	31.61
TOTAL PROMEDIO	477.70	409.33	383.33	418.00	177.18

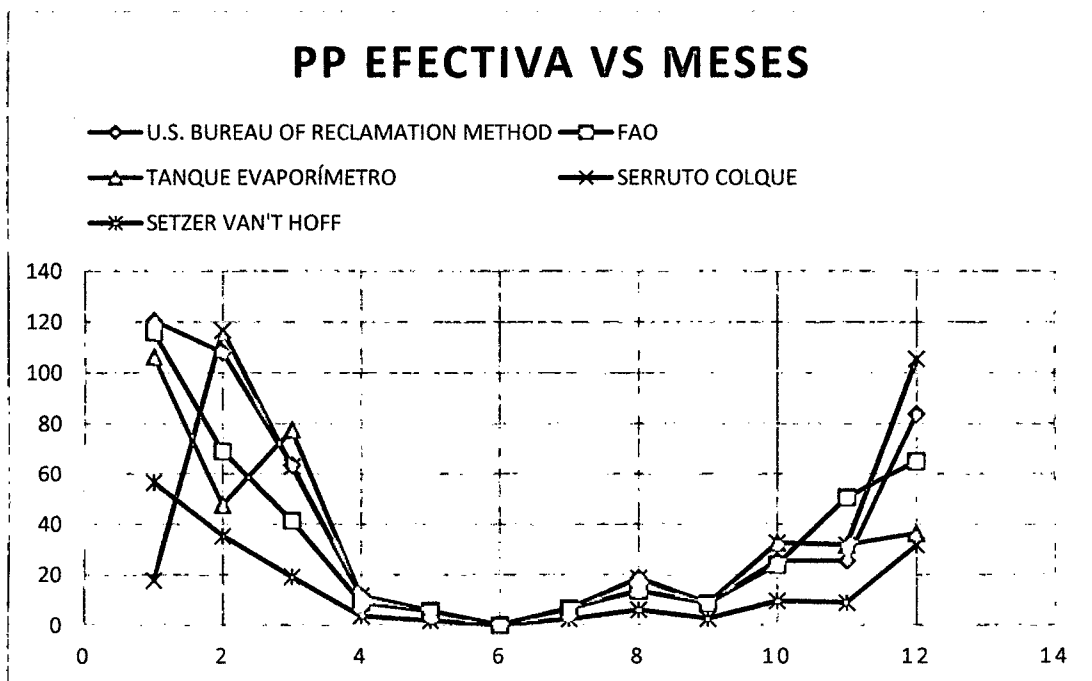


FIGURA 3. 2 Precipitación Efectiva Vs Meses

Así también se obtuvo el promedio anual de evapotranspiración para cada fórmula como se observa en la tabla 3.7; obteniéndose la mayor evapotranspiración promedio con el método de Penman Monteith con 1339.51 mm/mes y la menor evapotranspiración total promedio fue obtenida por el método de thornthwaite con 786.62 mm/mes.

TABLA 3. 7 : Resumen de resultados de Evapotranspiración

MESES	MÉTODO DE HARGREAVES		MÉTODO DE PENMAN		MÉTODO DE THORNTHWAITE		MÉTODO DE TURC		MÉTODO DE LINACRE	
	ETP(mm/mes)	ETP(mm/día)	ETP(mm/mes)	ETP(mm/día)	ETP(mm/mes)	ETP(mm/día)	ETP(mm/mes)	ETP(mm/día)	ETP(mm/mes)	ETP(mm/día)
Enero	121.24	3.91	117.49	3.79	67.51	2.18	109.23	3.52	74.71	2.41
Febrero	97.47	3.48	119.35	3.85	64.13	2.29	105.25	3.76	77.56	2.77
Marzo	93.86	3.03	111.29	3.59	68.6	2.21	109.47	3.53	79.67	2.57
Abril	84.55	2.82	106.64	3.44	62.8	2.09	103.39	3.45	82.5	2.75
Mayo	85.79	2.77	101.68	3.28	64.71	2.09	93.46	3.01	92.38	2.98
Junio	70.01	2.33	92.07	2.97	51.91	1.73	90.65	3.02	84.6	2.82
Julio	76.54	2.47	97.03	3.13	50.87	1.64	93.31	3.01	87.73	2.83
Agosto	93.15	3	106.95	3.45	60.03	1.94	103.14	3.33	90.52	2.92
Setiembre	117.16	3.91	120.59	3.89	68.81	2.29	108.93	3.63	91.2	3.04
Octubre	122.6	3.95	127.1	4.1	74.35	2.4	118.75	3.83	93.31	3.01
Noviembre	128.43	4.28	129.27	4.17	78.74	2.62	117.16	3.91	94.5	3.15
Diciembre	113.35	3.66	110.05	3.55	74.16	2.39	104.23	3.36	81.84	2.64
TOTAL PROMEDIO	1204.15	39.61	1339.51	43.21	786.62	25.87	1256.97	41.36	1030.52	33.89

En la figura 3.3 se observan las curvas del comportamiento mensual para cada fórmula empírica, las cinco curvas tienen comportamientos regulares, es decir no presentan valores muy altos y muy bajos, mantienen una curva regular.

La curva de la fórmula empírica de Penman posee los valores más altos, y la curva de la fórmula empírica de Thornthwaite posee los valores más bajos,

EVAPOTRANSPIRACIÓN VS MESES

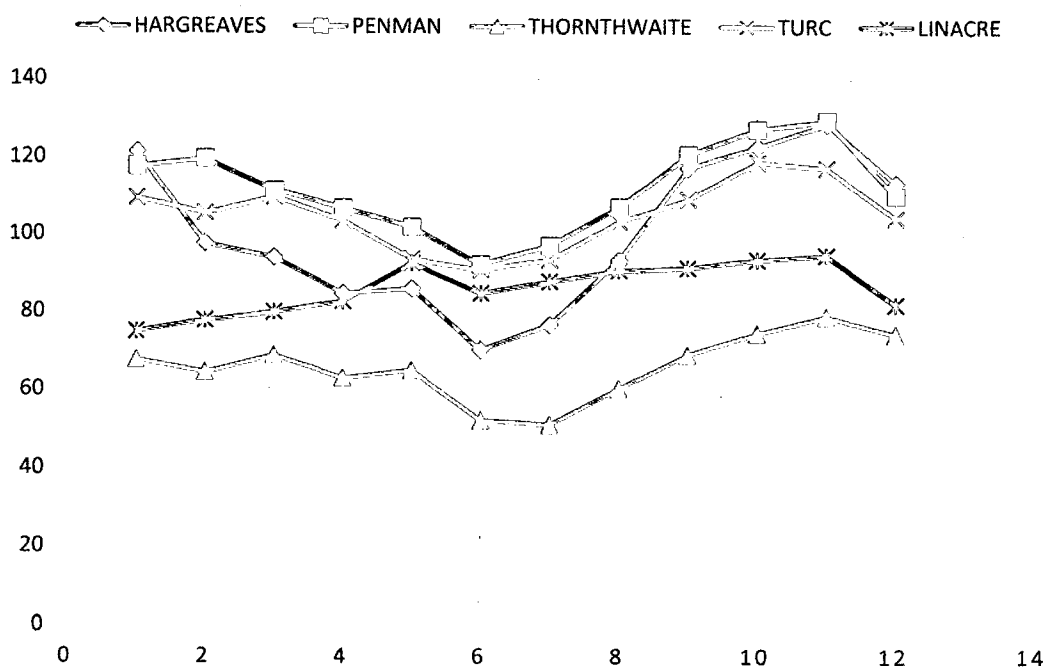


FIGURA 3. 3 Evapotranspiración Vs. Meses

3.3. Resultado de prueba estadística

En base a estos resultados de la aplicación de los cinco métodos de la determinación de la Precipitación Efectiva, se procedió al Análisis de Variancia que se presenta en la tabla 3.8, donde podemos observar que para la fuente de Variabilidad: Métodos existe una diferencia altamente significativa, es decir que entre los cinco métodos de determinación de la precipitación efectiva estadísticamente dan valores diferentes.

A continuación se muestra el análisis de variancia de los resultados de la aplicación de los cinco métodos de determinación de la precipitación efectiva.

TABLA 3. 8 : Análisis de variancia de los resultados de la aplicación de los cinco métodos de determinación de la Precipitación

Variable dependiente: Precipitación efectiva (mm)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	53912,802 ^a	15	3,594,187	9,710	,000
Interceptación	58,003,755	1	58,003,755	156,697	,000
Método	4,396,551	4	1,099,138	2,969	,030
MES	49,516,251	11	4,501,477	12,161	,000
Error	16,287,301	44	370,166		
Total	128,203,857	60			
Total corregido	70,200,103	59			

a. R al cuadrado = ,768 (R al cuadrado ajustada = ,689)

A continuación como se puede apreciar en la tabla 3.9 se procedió a realizar la prueba comparativa de significancia de Duncan, esto para encontrar los resultados estadísticamente homogéneos.

De la prueba de Duncan se puede observar que entre los métodos del tanque evaporímetro, de la FAO, Serruto colque y el método de la U. S. Bureau of Reclamation Method, no existen diferencias estadísticas, como muestra la tabla 3.10, es decir son homogéneos, por otro lado se observa que el método de Setzer basado en la Ley de Van't Hoff resultó con el valor más bajo de todos los métodos, como se puede apreciar claramente en la tabla 3.9.

Los resultados obtenidos de la prueba de Duncan para los cinco resultados de las cinco fórmulas de precipitación efectiva se pueden apreciar a continuación:

TABLA 3.9. Prueba de significancia de Duncan de los resultados de la aplicación de los cinco métodos de determinación de la precipitación efectiva

Precipitación efectiva (mm)			
Duncan ^{a,b}			
Método	N	Subconjunto	
		1	2
Precipitación efectiva método Setzer Van't Hoff (mm)	12	147,650	
Precipitación efectiva método tanque evaporímetro (mm)	12		319,442
Precipitación efectiva método FAO (mm)	12		341,108
Precipitación efectiva método Serruto (mm)	12		348,330
Precipitación efectiva U..S. Bureau of reclamation method (mm)	12		398,083
Sig.		1,000	,370
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.			
Se basa en las medias observadas.			
El término de error es la media cuadrática(Error) = 370,166.			
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 12,000.			
b. Alfa = ,05.			

TABLA 3.10. Prueba de significancia de Duncan de los resultados con variables a, b

Duncan ^{a,b}			
Método	N	Subconjunto	
		1	2
Precipitación efectiva método Setzer Van't Hoff (mm)	12	b	
Precipitación efectiva método tanque evaporímetro (mm)	12		a
Precipitación efectiva método FAO (mm)	12		a
Precipitación efectiva método Serruto (mm)	12		a
Precipitación efectiva U..S. Bureau of reclamation method (mm)	12		a
Sig.		1,000	,370
Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.			
Se basa en las medias observadas.			
El término de error es la media cuadrática(Error) = 370,166.			
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 12,000.			
b. Alfa = ,05.			

Se puede observar que entre los métodos del tanque evaporímetro, de la FAO, de Serruto Colque y la u. s. Bureau of Reclamation Method, no existen

diferencias estadísticas, es decir que son homogéneas, mientras que la fórmula de Setzer resultó ser distinta.

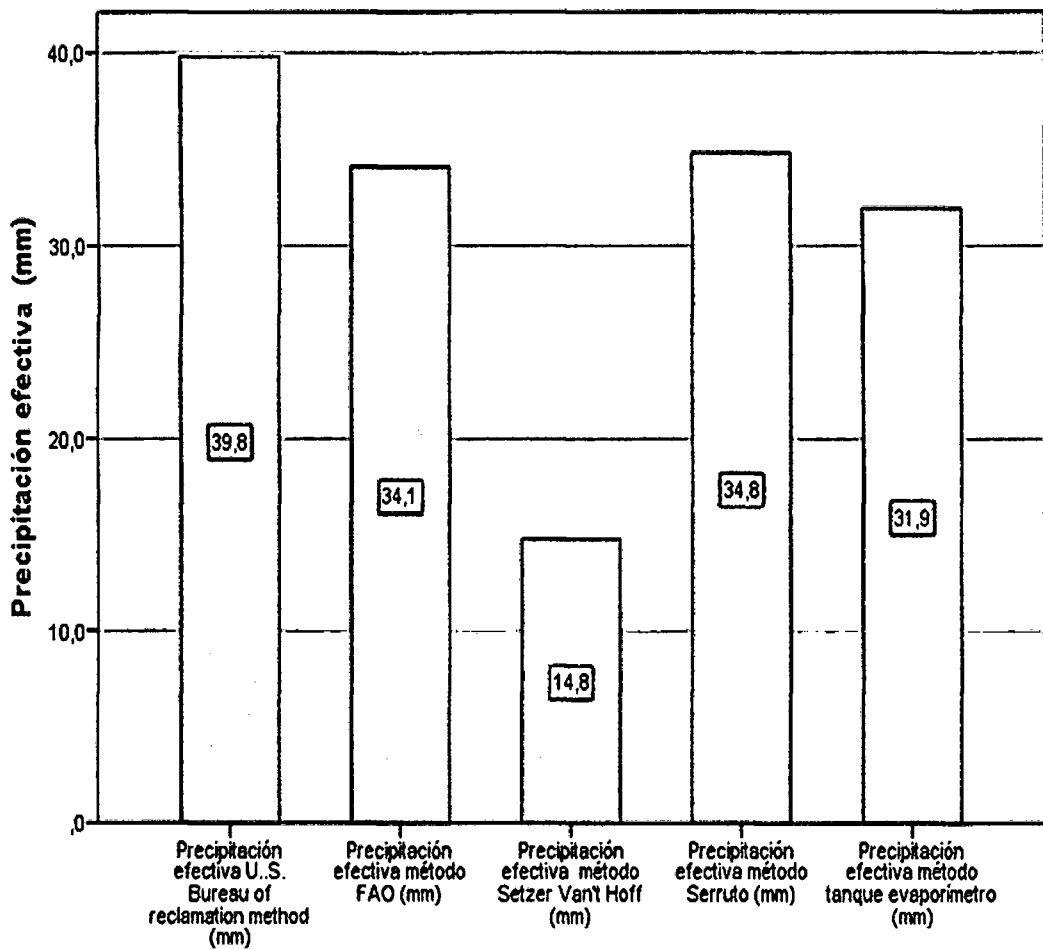


FIGURA 3.4. Comparativo de Métodos de determinación de la Precipitación Efectiva

Estas tres fórmulas son las que más se acercan a nuestro método patrón que es el método del tanque evaporímetro; estas tres fórmulas son las que más se acercan al patrón esto porque son las que utilizan mayores parámetros meteorológicos para su determinación.

Se puede observar en la Figura 3.4 que la fórmula de la FAO para determinar la precipitación efectiva es la que más se aproxima al método del tanque evaporímetro o método patrón, asimismo se observa que la fórmula de Setzer basado en la Ley de Van't Hoff es la menor de todas las fórmulas, por tanto la más diferente a nuestro método patrón.

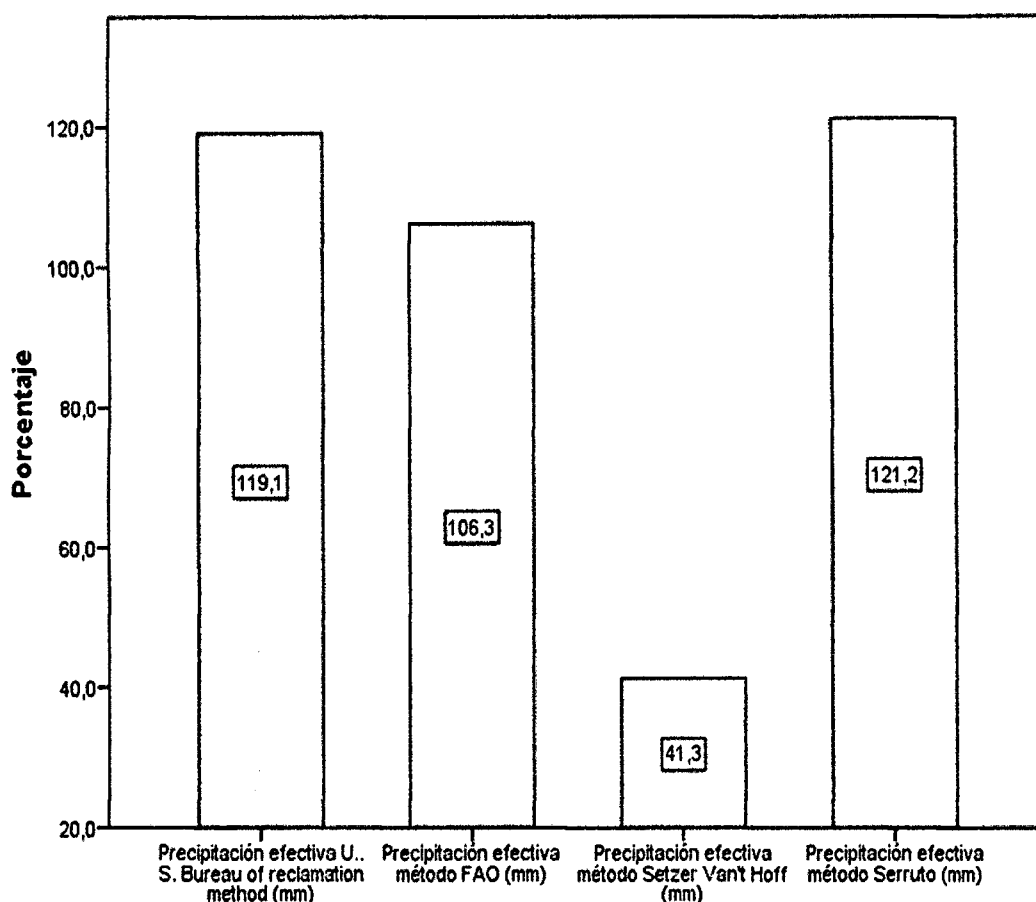


FIGURA 3.5. Comparativo de Porcentajes de las cuatro fórmulas con respecto al patrón

En base a los resultados de la aplicación de las cinco fórmulas empíricas de la determinación de la Evapotranspiración, se procedió al Análisis de Variancia que se presenta a en la tabla 3.11, donde podemos observar que para la fuente de Variabilidad: Métodos no existe una diferencia significativa, es decir que entre las cinco fórmulas de determinación de la Evapotranspiración estadísticamente dan valores similares.

Se observa que para la fuente variabilidad: Meses si existe diferencias significativas, es decir que entre los resultados por cada mes existen diferencias, de esto concluimos que estadísticamente los valores mensuales de Evapotranspiración son diferentes.

A continuación se muestra el análisis de variancia de los resultados de la aplicación de los cinco métodos de determinación de Evapotranspiración.

TABLA 3.11: Análisis de variancia de los resultados de la aplicación de los cinco métodos de determinación de la Evapotranspiración

Variable dependiente: Evapotranspiración (mm)					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	250015,628 ^a	16	15,625,977	63,311	,000
Interceptación	1,013,553,767	1	1,013,553,767	4,106,554	,000
Método	241,409,710	5	48,281,942	195,621	,000
Mes	8,605,918	11	782,356	3,170	,002
Error	13,574,752	55	246,814		
Total	1,277,144,148	72			
Total corregido	263,590,380	71			

a. R al cuadrado = ,949 (R al cuadrado ajustada = ,934)

A continuación se procedió a realizar la prueba de significancia de Duncan como se observa en la tabla 3.12, esto para encontrar los resultados de evapotranspiración estadísticamente homogéneos.

TABLA 3.12. Prueba de significancia de Duncan de los resultados de la aplicación de los cinco métodos de determinación de la evapotranspiración

Evapotranspiración					
Método	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
Thornthwaite	12	655,517			
Linacre	12		858,767		
Hargreaves	12			1,003,458	
Turc	12			1,047,475	
Penman	12			1,116,258	
Patrón	12				2,437,351
Sig.		1,000	1,000	,102	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
 Se basa en las medias observadas.
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 246,814.
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 12,000.
 b. Alfa = ,05.

De la prueba de Duncan se puede observar que entre las fórmulas de Hargreaves, Turc y Penman Monteith, no existen diferencias estadísticas, es decir que son homogéneos; por otro lado se observa que la fórmula empírica de Thornthwaite

resultó con el valor diferente entre las cinco fórmulas, como se puede apreciar claramente en la tabla 3.13.

Se puede observar en la tabla 3.13 que entre las fórmulas de Hargreaves, Turc y Penman, no existen diferencias estadísticas, es decir que son homogéneas.

Los resultados obtenidos de la prueba de Duncan para los cinco resultados de las cinco fórmulas empíricas de evapotranspiración se pueden apreciar a continuación:

TABLA 3.13: Prueba de significancia de Duncan de los resultados con variables a, b

Duncan ^{a,b}					
Método	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
Thornthwaite	12	d			
Linacre	12		c		
Hargreaves	12			b	
Turc	12			b	
Penman	12			b	
Patrón	12				a
Sig.		1,000	1,000	,102	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.
 Se basa en las medias observadas.
 El término de error es la media cuadrática(Error) = 246,814.
 a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 12,000.
 b. Alfa = ,05.

Según la prueba de Duncan la fórmula empírica de Hargreaves, Turc y Penman Montheit son las que más se acercan a nuestro método patrón, que es el método del tanque evaporímetro.

Se eligió al método del tanque evaporímetro como patrón, por ser un método directo de determinación de la evapotranspiración potencial, y se determinó cuáles de las cinco fórmulas empíricas se aproximaban más al método patrón.

El método de Linacre y de Thornthwaite resultaron las fórmulas estadísticamente diferentes según la prueba de Duncan, de estas dos fórmulas, la fórmula de Thornthwaite es la que se muestra más diferente.

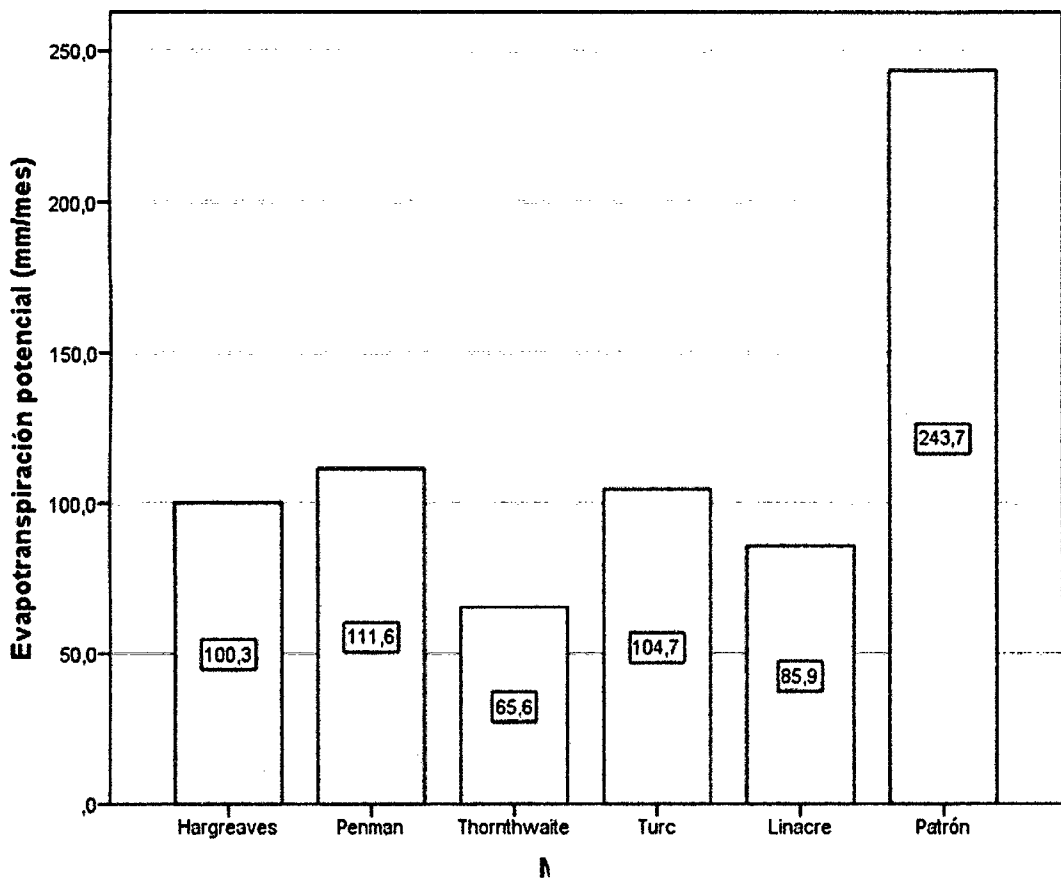


FIGURA 3.6. Comparativo de Fórmulas empíricas de determinación de Evapotranspiración

Estas tres fórmulas son las que más se acercan a nuestro patrón que es el método del tanque evaporímetro, estas tres fórmulas son las que más se acercan al patrón porque son los que utilizan mayores parámetros meteorológicos para su desarrollo.

Se puede observar en la Figura 3.6 que la fórmula de Penman Monteith para determinar la Evapotranspiración es el que más se aproxima al método del tanque evaporímetro, asimismo se observa que la fórmula de Thornthwaite es la menor de todas las fórmulas, por tanto la más diferente a nuestro patrón.

En la Figura 3.7 se observan los porcentajes con respecto al método patrón o testigo, se puede apreciar que es la fórmula de Penman la que posee mayor porcentaje del patrón o testigo que es el tanque evaporímetro.

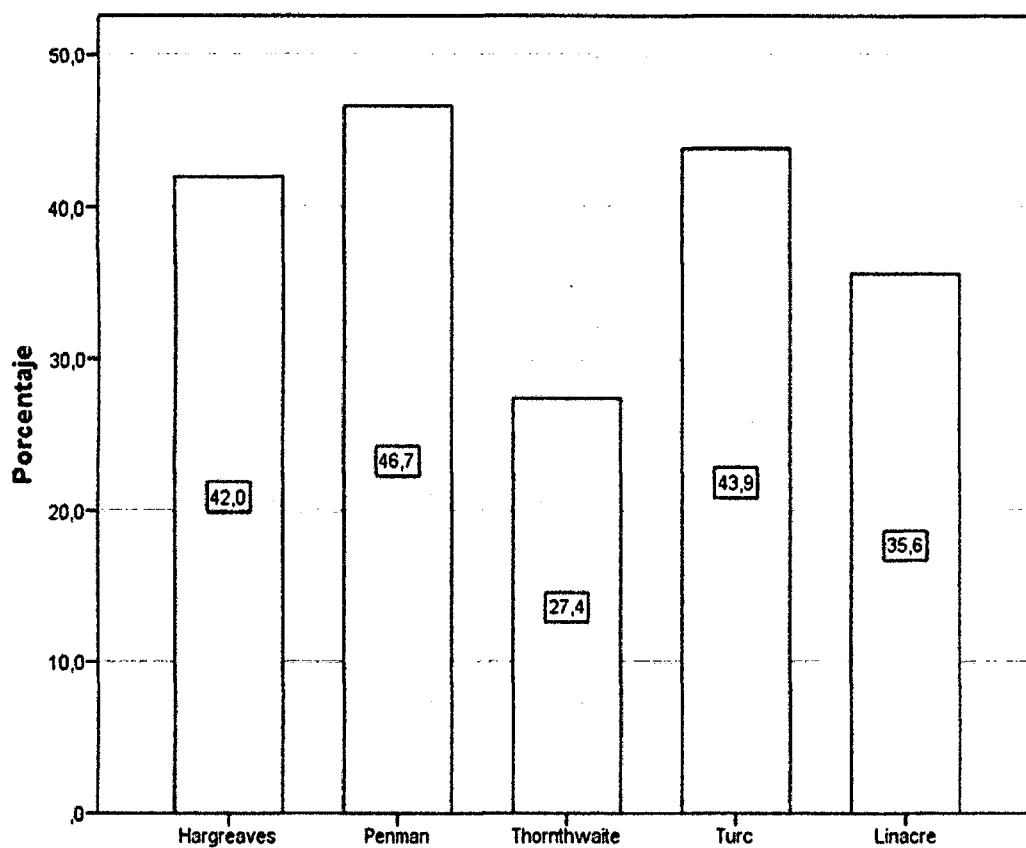


FIGURA 3.7. Comparativo de Porcentajes de las cinco Fórmulas Empíricas con respecto al patrón o testigo

IV.- DISCUSIÓN

Se realizó la comparación de cinco fórmulas empíricas de determinación de la precipitación efectiva en Ayacucho, para esto se utilizaron los datos meteorológicos obtenidos de la estación meteorológica INIA.

- Se determinó cuantitativamente la precipitación efectiva resultando la fórmula empírica más cercana al patrón o testigo la fórmula de la FAO con 409.33mm, esto sucede porque en la tabla de la FAO que se encuentra en el anexo 2, se involucran valores de precipitación total y valores de evapotranspiración para su determinación; por otro lado la fórmula que más se aleja del patrón resultó la fórmula de Setzer con 177.18mm.
- Asimismo la fórmula empírica de Penman con 1339.51mm, resultó la fórmula empírica más cercana al patrón o testigo, esto porque involucra mayor cantidad de variables meteorológicas.
- La fórmula empírica de la FAO resultó como la fórmula que mejor se adapta a la región para la determinación de la precipitación efectiva, se puede deducir que esto es debido a que es la fórmula empírica que utiliza mayor cantidad de variables meteorológica para su determinación, contrario a esto la fórmula de Setzer resultó ser la menos adecuada de todas, esto debido a que solo utiliza datos de temperatura para su determinación.
- La fórmula empírica de Penman Monteith resultó como la que mejor se adapta a la región para la determinación de la evapotranspiración, se puede deducir que esto es debido a que es la que utiliza mayor cantidad de variables meteorológica para su determinación, contrario a esto la fórmula empírica de Thornthwaite resultó ser la menos adecuada de todas, esto debido a que solo utiliza datos de temperatura para su determinación.

V.- CONCLUSIONES

Se realizó la comparación de cinco fórmulas empíricas de determinación de la precipitación efectiva en Ayacucho, para esto se utilizaron datos de las variables meteorológicas obtenidas de la estación meteorológica INIA Ayacucho: Fórmula U. S. Bureau of Reclamation Method, de la FAO, Fórmula de Serruto – Colque, Fórmula del Tanque Evaporímetro y la Fórmula de Setzer basado en la ley de Van't hoff, y cinco fórmulas empíricas de determinación de la Evapotranspiración: Fórmula de Hargreaves, Fórmula de Penman, Fórmula de Thornthwaite, Fórmula de Linacre y el Fórmula de Turc.

- Se determinó cuantitativamente la precipitación efectiva para las cinco fórmulas empíricas de determinación, siendo los resultados los siguientes: Fórmula U. S. Bureau of Reclamation Method: 477.70mm, de la FAO: 409.33mm, de Serruto – Colque: 418.00mm, del Tanque Evaporímetro: 383.33 mm y de Setzer basado en la ley de van't hoff: 177.18mm.
- Se determinó cuantitativamente la evapotranspiración para las cinco fórmulas empíricas de determinación, siendo los resultados los siguientes: Fórmula de Hargreaves: 1204.15mm, de Penman Monteith: 1339.51mm, de Thornthwaite: 786.62mm, Linacre: 1030.52mm y de Turc: 1256.97mm.
- Se determinó estadísticamente la fórmula más adecuada para la determinación de la Precipitación Efectiva, la cual resultó ser la fórmula de la FAO, por ser la más cercana a los resultados del patrón o testigo.
- Se determinó estadísticamente la fórmula más adecuada para la determinación de la Evapotranspiración, la cual resultó ser la fórmula de Penman Monteith, por ser la más cercana a los resultados del patrón o testigo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHOW, VEN TE. 1964. Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Compny, New York, United States of América, 869p.
- DASTANE, N. 1974. *Precipitación Efectiva en la Agricultura de Regadío* FAO. Roma, Italia. 68p.
- DE LA CRUZ, F. 2010. *Comparativo de cinco métodos para determinar la precipitación efectiva en Puno*. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional del Altiplano. Puno
- DOOREMBOS, J. y KASSAN, A. 1979. *Yield Response to Water*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. 225 p.
- FLORES, E. 2007. *Modelación de la Evapotranspiración Potencial en el Altiplano Puno*. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Recursos Hídricos. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima.
- IRMAK, S y HAMAN, D. 2003. *Evapotranspiration Potential of Reference*”, series of the Agricultural and Biological Engineering Department, Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS). Florida EE. UU.
- LOPEZ, J. y DENNETT, M. 2005. “*Comparación de dos métodos para estimar la evapotranspiración de referencia (ETo) en una zona semiárida de Venezuela*”. Bioagro. Barquisimeto. Venezuela, Páginas 35-40.
- MARTINEZ, R. et al. 2005. “*Correlación entre la evaporación en tina y la evapotranspiración de referencia en cinco estaciones climatológicas de Venezuela*”. Bioagro. Barquisimeto. Perú. Páginas 79-83.
- VÁSQUEZ, A. et al. 2009. *Principios básicos del riego*. Lima. Editorial FIMART. 265p.
- XU Y CHEN. 2005. “*Comparison of seven models for estimation of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany*”. Hydrological Processes. Monchengladbach - Alemania.

ANEXOS

1. INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA

SOLICITA:
DATOS METEOROLOGICOS DE LA
ESTACIÓN METEOROLOGICA DE
CANAAN - AYACUCHO

GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA DEL GOBIERNO REGIONAL
DE AYACUCHO

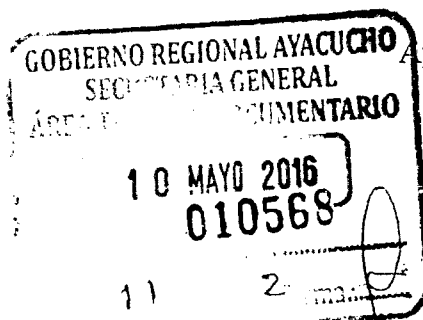
TELLO LLAMOJA, Víctor Félix con
DNI 43716245, egresado de la escuela
de Ingeniería Agrícola – UNSCH, con
domicilio en Jr. Castilla 527 Lurín -
Lima.

Ante Ud. me presento y expongo lo
Siguiete:

Que por motivo de la realización de la tesis de investigación denominada “Comparación y Evaluación de cinco metodologías para determinar la precipitación efectiva y Evapotranspiración en Ayacucho”, realizada en la UNSCH, solicito que se me proporcione los datos meteorológicos mensuales del año 2015 de: Precipitación total, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, radiación solar, evaporación del tanque evaporímetro.

POR TANTO:

A usted solicito, acceder a mi petición por ser de justicia.



Ayacucho, 09 de mayo del 2016.

Atte. TELLO LLAMOJA, Victor Félix



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias

RESOLUCION DECANAL N° 088-2016-FCA-D

Ayacucho, abril 27 de 2016

Vista la solicitud presentado por el señor Víctor Félix Tello Llamuja, participante del I Programa de Apoyo al Desarrollo de Tesis, sobre aprobación de Proyecto de Tesis; y

CONSIDERANDO:

Que, el señor Víctor Félix Tello Llamuja, egresado de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agrícola, ha solicitado la revisión y aprobación del proyecto de tesis titulado: "COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE CINCO METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN EN AYACUCHO, 2016" para la obtención del Título Profesional;

Que, con fecha 23 de marzo de 2016, se designó la Comisión Revisora, presidido por el Ing. Efraín Chuchón Prado, e integrada por los profesores Sr. Jorge Edmundo Pastor Watanabe, Ing. John Samuel Cazaoria Orihuela y MSc. Sandra Del Águila Ríos.

Que, la referida Comisión con fecha 31 de marzo de 2016, emitió el dictamen de aprobación del referido Proyecto de Tesis;

El Decano, en uso de las Facultades que le confiere la Ley;

RESUELVE:

1º.- **APROBAR**, el Proyecto de Tesis titulado: "COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE CINCO METODOLOGÍAS PARA DETERMINAR LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA Y EVAPOTRANSPIRACIÓN EN AYACUCHO, 2016", presentado por el señor VÍCTOR FÉLIX TELLO LLAMOJA egresado de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Agrícola.

2º.- **PRECISAR**, la conformación de la Comisión Revisora del referido Proyecto de Tesis, presidido por el Ing. Efraín Chuchón Prado, e integrada por los profesores Sr. Jorge Edmundo Pastor Watanabe, Ing. John Samuel Cazaoria Orihuela y MSc. Sandra Del Águila Ríos.

3º.- **TOMAR CONOCIMIENTO**, que el asesor del referido Proyecto de Tesis es el Dr. Jorge Edmundo Pastor Watanabe.

REGISTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE

Distribución:
EP. Ing. Agrícola
Interesado
Miembros Comis. Revisora (04)
Archivo
AJCH/rdtg.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN
CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Dr. Antonio Jeri Chávez
DECANO

REGISTRO DE TEMPERATURA MINIMA

Estación: : INIA Latitud: 13° 10' 00.06" S Dpto: AYACUCHO
 Parametro: : Temperatura Minirr Longitud: 74° 12' 22.92" W Prov: HUAMANGA
 Altitud: 2756 msnm Dist: HUAMANGA

DIA	ENE	FEB.	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	9.2	12.2	11.6	10.2	11.0	7.2	6.8	6.4	9.4	8.8	11.0	11.2	115.0
2	8.6	11.2	11.2	11.8	9.0	5.2	7.2	6.0	7.4	9.0	11.2	11.0	108.8
3	9.2	9.2	10.2	10.4	9.4	8.8	6.6	6.6	6.8	7.4	10.6	13.0	106.2
4	8.4	9.6	11.8	8.4	10.0	8.8	6.0	6.0	11.8	6.8	12.8	13.2	113.6
5	11.6	8.8	12.0	8.0	9.6	5.8	7.4	7.2	11.6	10.6	10.8	10.8	114.2
6	10.4	9.8	11.4	9.0	10.2	8.2	4.8	7.6	6.8	10.8	13.2	8.8	111.0
7	10.0	10.8	10.6	10.8	11.0	7.4	4.2	7.4	11.2	9.0	13.8	10.2	116.4
8	12.8	10.0	11.4	12.2	9.0	5.4	3.0	6.4	9.6	8.0	14.0	9.8	111.6
9	12.4	9.8	10.0	10.2	12.4	8.4	4.6	8.4	9.4	8.2	10.8	10.0	114.6
10	11.6	11.4	11.4	8.0	10.0	9.2	5.8	6.6	6.4	10.4	10.8	12.8	116.4
11	10.4	9.4	10.2	10.0	7.2	6.8	5.6	8.8	9.6	9.6	10.6	9.2	107.4
12	9.0	13.0	12.0	10.2	12.6	7.4	5.0	8.8	11.4	9.0	12.6	8.8	119.8
13	7.8	10.6	13.2	12.0	8.8	5.4	4.4	8.2	11.4	11.0	9.8	10.8	113.4
14	8.4	9.6	11.8	10.0	6.8	5.6	4.8	6.0	10.4	10.8	12.0	11.0	107.2
15	8.8	8.8	10.4	8.4	9.7	7.0	4.0	7.8	9.2	9.8	12.2	10.8	106.9
16	7.2	8.4	12.2	10.0	9.4	8.2	7.4	7.6	8.6	9.8	12.2	12.3	113.3
17	9.8	11.2	13.2	8.6	8.4	8.0	6.6	10.8	8.2	13.6	10.8	9.8	119.0
18	9.2	8.2	10.0	7.8	9.2	9.0	5.8	12.4	9.8	11.0	10.4	12.8	115.4
19	11.6	9.4	12.4	11.2	7.8	8.2	4.8	7.4	11.2	10.8	10.0	11.4	116.2
20	12.2	10.2	11.0	11.0	5.8	11.0	4.6	7.4	12.8	13.2	11.4	12.4	123.0
21	11.0	11.8	10.4	8.6	8.8	7.2	5.0	6.2	9.8	10.0	10.8	13.1	112.7
22	10.2	10.8	10.8	10.6	5.4	5.8	6.4	7.6	9.8	11.4	10.4	10.0	109.2
23	10.8	10.4	10.6	8.2	9.0	6.0	8.8	8.8	10.6	10.8	8.2	10.4	112.6
24	13.0	11.4	11.0	11.2	10.4	4.2	6.6	8.2	9.8	9.8	7.2	10.8	113.6
25	11.8	10.8	11.8	8.8	12.2	4.8	7.2	8.4	13.8	12.4	11.4	11.4	124.8
26	11.0	10.4	9.6	9.4	9.8	4.2	6.4	7.6	10.4	10.4	11.0	13.0	113.2
27	11.0	8.4	6.6	8.0	10.6	4.4	5.0	7.0	8.0	11.8	12.0	11.4	104.2
28	11.0	8.8	11.0	10.4	8.4	4.8	3.8	10.4	11.8	12.8	10.8	10.8	114.8
29	10.0		8.0	10.2	8.2	5.8	5.0	11.8	10.4	10.2	9.8	10.8	100.2
30	10.4		10.2	8.4	7.8	6.4	4.8	6.6	11.0	10.0	9.8	9.8	95.2
31	10.4		9.8		11.4		7.2	6.0		12.8		10.2	67.8
PROM	10.3	10.2	10.9	9.7	9.3	6.8	5.7	7.8	10.0	10.3	11.1	11.0	110.9
Max	13.0	13.0	13.2	12.2	12.6	11.0	8.8	12.4	13.8	13.6	14.0	13.2	124.8
Min	7.2	8.2	6.6	7.8	5.4	4.2	3.0	6.0	6.8	6.8	7.2	8.8	67.8

REGISTRO TEMPERATURA MAXIMA

Estación: : INIA Latitud: 13° 10' 00.06" S Dpto: AYACUCHO
 Parametro: : Temperatura Maxir Longitud: 74° 12' 22.92" W Prov: HUAMANGA
 Altitud: 2756 msnm Dist: HUAMANGA

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	20.8	22.6	24.8	26.4	25.0	24.8	26.2	26.6	25.6	24.2	27.8	22.6	297.4
2	20.6	24.6	24.6	25.2	27.6	26.2	25.4	27.6	24.2	26.4	29.0	24.2	305.6
3	23.4	26.4	24.8	27.0	27.8	25.2	21.8	28.0	24.0	24.6	26.8	28.4	308.2
4	17.6	28.2	25.0	26.0	28.4	20.4	21.0	26.8	23.8	25.4	27.4	25.2	295.2
5	20.0	27.2	22.0	20.4	26.0	23.8	22.4	27.4	25.2	28.4	28.4	27.4	298.8
6	23.4	26.4	23.2	22.4	28.8	23.2	21.0	29.2	24.6	27.8	29.0	28.4	305.4
7	24.0	21.6	25.6	25.0	24.6	22.8	26.6	28.2	27.0	28.0	28.8	26.0	308.2
8	23.0	20.2	25.0	24.8	24.8	24.0	24.0	27.6	27.6	26.2	26.0	23.6	296.8
9	22.6	24.6	25.2	28.2	28.0	25.6	25.6	24.8	27.2	29.0	18.8	26.4	304.0
10	24.0	24.2	25.2	22.8	28.4	27.2	25.4	25.2	25.0	28.6	25.4	24.8	306.2
11	25.2	22.6	20.4	24.8	28.8	25.6	23.8	19.2	26.6	29.2	26.0	23.6	295.8
12	23.8	24.0	25.4	25.6	27.4	24.2	24.0	23.4	28.0	29.2	20.6	24.8	300.4
13	25.4	25.6	23.2	25.8	25.0	26.0	23.2	18.4	26.0	29.4	26.6	28.8	303.4
14	25.4	26.0	26.4	26.2	24.0	27.0	25.2	22.2	25.8	28.6	23.4	28.4	308.6
15	26.8	25.8	22.2	25.0	21.0	25.0	26.0	24.0	27.6	27.8	25.4	26.2	302.6
16	26.8	25.8	25.4	26.0	20.4	25.4	25.4	25.4	27.8	23.2	26.2	24.8	302.6
17	27.8	22.4	23.8	25.2	24.8	27.0	25.0	24.2	28.0	18.8	28.0	25.4	300.4
18	25.8	27.4	21.6	25.2	23.0	25.6	25.0	25.4	27.0	18.4	29.6	22.8	296.8
19	28.2	26.8	22.0	26.4	24.4	23.4	22.4	25.8	25.8	27.0	30.6	19.8	302.6
20	23.0	28.0	23.6	25.2	24.8	27.2	27.4	25.0	26.8	27.6	26.8	23.4	308.8
21	22.4	28.2	19.4	25.0	26.2	26.0	27.2	24.8	27.2	25.8	26.6	19.4	298.2
22	24.8	26.8	23.6	23.2	25.6	25.4	25.8	26.6	27.4	25.6	19.2	22.4	296.4
23	22.4	26.0	24.2	24.2	28.4	25.4	27.6	27.0	27.2	24.8	28.4	22.2	305.6
24	21.8	22.8	25.6	23.4	27.6	23.6	27.8	25.8	25.2	25.2	28.8	20.6	298.2
25	24.0	23.8	24.0	22.0	24.8	25.8	27.6	26.6	22.6	24.2	26.6	23.2	295.2
26	23.2	23.2	25.6	25.4	27.4	24.8	26.4	27.2	24.8	28.0	28.0	22.4	304.4
27	23.2	26.8	28.0	28.4	27.2	24.6	26.4	27.2	27.2	22.0	26.8	23.0	306.8
28	20.0	24.8	25.8	23.6	26.6	25.0	26.6	27.2	27.2	27.0	27.4	23.2	304.4
29	25.6		27.0	27.2	27.0	26.2	28.4	26.4	27.6	26.4	29.4	25.2	294.6
30	25.6		27.4	27.2	27.0	26.2	25.0	25.2	25.2	26.6	29.4	28.0	292.8
31	22.0		26.2		25.4		25.4	25.4		26.8		27.0	178.2
PROM	23.6	25.1	24.3	25.0	25.9	25.1	25.1	25.6	26.2	26.1	26.7	24.6	297.5
Max	28.2	28.2	27.4	27.2	28.8	27.2	27.8	29.2	28.0	29.4	30.6	28.8	308.8
Min	17.6	20.2	19.4	20.4	20.4	20.4	21.0	18.4	22.6	18.4	18.8	19.4	178.2

REGISTRO DE HUMEDAD RELATIVA

Estación: : INIA Latitud: 13° 10' 00.06" S Dpto: AYACUCHO
 Parametro: : Humedad Relativa Longitud: 74° 12' 22.92" W Prov: HUAMANGA
 Altitud: 2756 msnm Dist: HUAMANGA

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	72.6	88.0	87.0	90.6	83.9	81.8	80.7	75.7	77.3	75.1	79.6	81.4	973.8
2	87.3	86.0	85.3	83.2	80.7	82.7	81.7	79.9	74.3	75.3	75.6	88.6	980.7
3	80.5	88.3	91.1	77.4	78.2	82.6	88.2	79.5	76.1	87.8	86.9	89.0	1005.5
4	89.2	83.5	87.0	75.7	73.3	88.0	88.6	76.8	84.4	79.9	81.5	83.9	991.8
5	75.4	81.5	93.6	93.0	79.7	85.4	85.5	79.9	80.0	74.9	84.5	80.5	994.0
6	90.6	84.3	83.6	91.4	78.1	85.8	84.3	75.3	79.4	72.7	72.8	84.7	983.0
7	84.9	87.2	86.7	88.3	81.4	87.6	71.7	78.5	72.9	73.0	80.1	81.8	974.1
8	84.6	87.1	86.0	88.4	79.5	79.2	82.1	78.6	74.8	M	83.8	91.5	915.4
9	85.6	90.8	151.3	88.1	80.8	84.3	87.8	78.1	71.1	70.8	95.0	86.4	1070.1
10	81.3	86.6	89.2	91.9	78.3	82.5	80.3	81.5	70.4	73.6	87.5	84.7	987.9
11	78.8	90.2	83.0	90.2	81.7	83.2	90.0	85.5	79.5	71.0	74.8	89.4	997.2
12	85.5	93.0	77.9	84.2	79.5	82.4	83.6	87.2	73.8	77.5	88.7	81.3	994.7
13	76.5	82.5	86.5	84.7	88.0	78.5	85.7	91.8	77.1	76.5	83.7	79.2	990.6
14	78.9	80.9	77.8	82.2	81.8	79.2	76.9	88.7	81.1	76.3	86.8	74.7	965.4
15	80.5	85.0	83.8	80.2	82.6	76.1	77.1	84.2	75.4	73.5	91.4	87.6	977.3
16	79.8	83.7	77.7	80.0	85.0	80.9	83.8	80.1	73.2	76.7	86.3	81.9	969.2
17	77.5	93.1	84.3	84.5	87.3	82.4	87.1	80.9	78.5	82.6	79.1	86.5	1003.8
18	80.0	85.5	82.4	89.1	88.8	81.7	77.8	78.7	89.6	87.5	73.4	84.8	999.4
19	78.5	77.9	90.6	85.7	92.3	88.8	84.1	75.2	71.6	80.1	68.6	92.2	985.0
20	80.4	82.4	88.9	81.6	81.0	77.0	76.2	80.2	77.0	85.6	77.3	85.2	972.8
21	86.3	82.6	90.6	82.8	81.8	81.3	78.1	79.4	74.7	86.6	79.3	83.6	987.2
22	89.2	79.3	87.1	86.8	78.8	79.3	77.0	74.7	75.3	86.6	92.1	94.6	1000.9
23	85.0	81.9	85.0	82.0	75.5	79.1	76.5	83.2	78.5	88.0	81.8	90.4	987.0
24	87.3	91.5	85.0	90.3	76.9	87.3	81.2	78.3	81.8	80.0	74.8	95.4	1009.5
25	74.6	89.2	92.2	89.2	78.2	82.7	81.3	76.9	81.9	85.9	79.0	84.6	1005.9
26	88.9	90.0	83.6	78.2	78.1	86.9	81.5	82.8	78.3	91.2	73.3	85.8	998.4
27	90.2	86.7	79.7	80.2	75.9	81.3	77.8	74.0	76.2	95.4	75.6	89.4	982.3
28	71.3	81.7	87.9	84.1	83.0	83.0	74.2	79.8	74.1	87.6	81.5	90.7	978.9
29	88.8		78.1	85.3	74.7	77.3	78.9	78.8	72.3	88.6	78.0	86.7	887.5
30	83.1		75.8	85.2	79.1	79.2	73.4	76.6	77.0	86.4	78.0	77.2	871.1
31	87.4		82.0		84.0		78.1	79.4		78.2		75.7	564.7
PROM	82.6	85.7	87.1	85.1	80.9	82.3	81.0	80.0	76.9	80.8	81.0	85.8	967.9
Max	90.6	93.1	151.3	93.0	92.3	88.8	90.0	91.8	89.6	95.4	95.0	95.4	1070.1
Min	71.3	77.3	75.8	75.7	73.3	76.1	71.7	74.0	70.4	70.8	68.6	74.7	564.7

REGISTRO DE HORAS DEL SOL

Estación : INIA Latitud: 13° 10' 00.08" S Dpto: AYACUCHO
 Parametro : Hora sol Longitud: 74° 12' 22.92" W Prov: HUAMANGA
 Altitud: 2756 msnm Dist: HUAMANGA

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	7.4	9.5	10.1	5.0	8.1	6.5	7.2	8.1	7.1	8.4	9.5	3.1	89.7
2	3.5	8.4	5.2	6.5	9.0	8.3	7.1	6.1	7.4	7.4	8.3	4.3	81.4
3	8.4	9.4	4.1	5.3	8.1	8.4	7.4	3.1	8.1	9.2	7.5	7.4	86.1
4	0.5	10.4	7.5	8.2	6.2	9.1	9.0	8.2	1.4	9.5	7.1	6.2	83.1
5	1.1	6.6	5.0	7.2	5.0	7.1	4.4	4.1	3.1	6.3	6.1	10.3	66.1
6	5.4	1.4	8.2	6.4	8.1	8.4	9.3	4.3	7.1	5.3	6.1	4.3	74.2
7	7.3	0.0	7.4	9.0	7.3	9.5	8.3	7.1	9.4	9.4	6.3	8.3	89.2
8	4.4	4.4	3.4	5.4	4.2	8.1	6.1	8.2	9.3	9.0	6.1	6.4	74.8
9	4.4	5.3	6.5	4.4	2.5	10.0	8.2	8.2	9.2	10.3	0.0	4.4	73.4
10	7.3	4.1	10.0	8.4	6.4	8.0	7.1	8.4	2.1	10.0	6.5	3.3	81.5
11	8.3	7.1	4.5	4.2	9.1	6.0	9.2	9.1	6.4	9.3	6.4	8.0	87.5
12	6.1	4.4	6.4	9.4	7.0	6.3	8.1	5.3	8.4	9.5	1.1	6.1	77.9
13	9.1	7.3	5.2	7.4	5.1	9.3	8.4	8.1	8.1	9.1	1.4	9.2	87.4
14	10.1	10.0	8.1	7.0	2.5	9.5	7.3	7.1	6.5	10.4	3.2	5.1	86.7
15	11.0	1.5	5.3	5.0	6.4	8.2	3.4	9.5	7.2	10.2	7.1	10.1	84.7
16	7.4	7.1	3.4	6.1	7.3	7.5	9.5	3.4	3.1	9.3	6.4	10.5	80.8
17	11.1	2.2	9.2	6.3	7.1	7.1	8.3	4.1	9.1	2.4	9.0	4.3	80.0
18	6.0	9.3	2.2	10.0	3.3	9.3	7.2	8.5	7.4	1.1	5.3	1.5	71.0
19	6.6	9.1	4.1	9.1	8.0	3.1	8.2	7.1	8.2	5.1	8.3	2.1	78.7
20	1.3	7.2	6.1	6.1	8.4	8.0	9.4	6.4	9.0	7.4	5.5	3.1	77.8
21	1.5	6.3	0.0	5.2	7.1	7.4	8.4	6.1	8.1	5.4	6.0	0.4	61.6
22	6.1	7.2	4.3	8.3	6.1	8.2	7.0	7.0	3.4	6.4	7.2	0.0	71.2
23	4.3	5.2	6.4	4.4	8.2	6.4	8.3	6.0	2.3	8.3	8.4	0.0	68.2
24	4.4	3.3	8.5	6.0	4.1	8.1	8.4	7.5	8.4	4.1	8.1	1.0	71.8
25	6.2	8.3	7.2	3.2	7.4	5.4	8.5	5.0	4.2	3.2	3.3	3.1	64.9
26	3.0	7.4	8.8	8.3	5.2	6.2	9.3	7.2	8.1	5.1	7.4	1.4	77.2
27	3.1	9.5	6.4	9.4	9.1	8.4	9.0	9.2	9.3	0.1	8.3	2.5	84.2
28	4.1	2.4	8.2	3.4	8.1	9.0	9.5	4.4	6.2	5.5	7.4	2.1	70.2
29	7.1		9.4	7.1	8.0	8.3	9.1	8.4	5.2	8.5	8.3	10.1	89.3
30	9.4		9.4	9.5	4.0	4.3	8.5	9.0	6.4	6.1	4.4	8.3	79.2
31	4.1		4.0		5.4		7.5	9.4		6.4		8.3	45.0
PROM	5.8	6.2	6.3	6.7	6.5	7.6	7.9	6.9	6.6	7.0	6.2	5.0	77.2
Max	11.1	10.4	10.1	10.0	9.1	10.0	9.5	9.5	9.4	10.4	9.5	10.5	89.7
Min	0.5	0.0	0.0	3.2	2.5	3.1	3.4	3.1	1.4	0.1	0.0	0.0	45.0

REGISTRO DIARIO DE VIENTO

Estación : INIA Latitud: 13° 10' 00.06" S Dpto: AYACUCHO
 Parametro : Velocidad de Viento Longitud: 74° 12' 22.92" W Prov: HUAMANGA
 Altitud: 2756 msnm Dist: HUAMANGA

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1	1.3	2.0	2.0	2.7	1.3	2.0	1.3	2.7	2.0	2.0	2.7	2.0	24.0
2	3.3	3.3	3.3	3.3	2.7	2.0	1.3	1.3	1.3	3.3	4.0	1.3	30.7
3	4.0	2.7	2.0	3.3	1.3	1.3	1.3	2.7	3.3	3.3	2.7	4.3	32.3
4	0.7	1.3	4.7	5.7	2.0	2.0	1.3	1.3	2.7	1.3	1.3	1.3	25.7
5	3.3	4.0	1.3	2.7	2.7	2.0	1.3	2.7	1.3	2.7	1.3	1.3	26.7
6	1.3	2.0	2.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	2.0	1.3	1.3	1.3	18.0
7	2.7	2.0	2.0	2.7	3.3	1.3	2.0	2.7	2.0	2.0	1.3	1.3	25.3
8	2.7	1.3	3.3	1.3	1.3	2.0	2.0	4.7	1.3	2.0	2.0	2.0	26.0
9	4.0	0.7	1.3	2.0	3.3	1.3	1.3	1.3	2.7	1.3	1.3	1.3	22.0
10	2.7	1.3	2.0	2.0	3.3	2.0	1.3	2.0	1.3	2.7	2.0	1.3	24.0
11	2.7	2.7	1.3	2.0	2.0	2.7	1.3	3.3	2.0	1.3	6.3	2.0	29.7
12	3.3	1.3	1.3	2.0	3.3	2.7	2.0	2.0	3.3	2.7	3.3	5.0	32.3
13	3.3	1.3	1.3	1.3	2.0	1.3	1.3	1.3	2.0	1.3	0.7	2.0	19.3
14	4.3	2.0	2.7	1.3	2.7	1.3	1.3	2.7	2.7	2.0	2.0	2.7	27.7
15	2.0	1.3	2.7	2.7	1.3	1.3	1.3	1.3	2.7	1.3	0.7	2.7	21.3
16	1.3	2.7	2.7	2.0	2.7	1.3	2.0	3.3	2.0	4.0	1.3	1.3	26.7
17	1.3	3.3	2.0	1.3	2.0	2.7	2.7	3.3	1.3	2.0	2.7	3.3	28.0
18	1.3	2.0	4.0	1.3	1.3	2.0	2.0	1.3	2.0	1.3	1.3	1.3	21.3
19	2.0	1.3	3.3	1.3	1.3	2.7	2.0	3.3	3.3	2.0	2.0	1.3	26.0
20	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	3.3	1.3	1.3	2.0	3.3	3.3	1.3	22.7
21	1.3	1.3	2.0	1.3	3.3	2.0	1.3	2.0	2.7	2.7	1.3	2.0	23.3
22	1.3	2.0	2.0	1.3	1.3	2.0	1.3	3.3	2.7	3.3	4.0	3.3	26.0
23	2.0	3.3	2.0	1.3	16.7	1.3	2.7	2.0	0.7	1.3	4.7	2.0	40.0
24	3.3	2.0	2.0	2.0	1.3	2.7	1.3	2.7	3.3	1.3	2.7	1.3	26.0
25	3.3	1.3	3.3	2.0	1.3	1.3	1.3	2.7	2.0	1.3	1.3	1.3	22.7
26	1.3	1.3	2.7	1.3	1.3	2.0	2.0	2.0	2.7	1.3	2.7	2.0	22.7
27	2.0	2.0	2.7	1.3	1.3	1.3	2.0	3.3	0.7	1.3	4.0	1.3	23.3
28	1.3	1.3	3.3	2.7	2.0	1.3	2.0	2.0	1.3	1.3	4.0	1.3	24.0
29	2.7		2.7	1.3	2.7	1.3	2.0	2.7	2.7	2.0	2.0	1.3	23.3
30	2.7		2.0	3.3	1.3	1.3	2.7	2.0	2.7	1.3	0.7	4.3	24.3
31	2.7		4.0		1.3		1.3	1.3		1.3		1.3	13.3
PROM	2.4	2.0	2.4	2.1	2.5	1.8	1.7	2.3	2.2	2.0	2.4	2.0	25.2
Max	4.3	4.0	4.7	5.7	16.7	3.3	2.7	4.7	3.3	4.0	6.3	5.0	40.0
Min	0.7	0.7	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	0.7	1.3	0.7	1.3	13.3

2. INFORMACIÓN PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO

MÉTODO U.S. BUREAU OF RECLAMATION METHOD: PRECIPITACIÓN EFECTIVA BASADA EN LOS INCREMENTOS DE LA LLUVIA MENSUAL

Escala del incremento de la precipitación		%	Precipitación Efectiva Acumulada - Escala	
mm	Pulgadas		mm	Pulgadas
0.00 - 25.4	0 - 1	90 - 100	22.9 - 25.4	0.90 - 1.00
25.4 - 50.8	1 - 2	85 - 95	44.4 - 49.5	1.75 - 1.95
50.8 - 76.2	2 - 3	75 - 90	63.5 - 72.4	2.50 - 2.85
76.2 - 101.6	3 - 4	50 - 80	76.2 - 92.7	3.00 - 3.65
101.6 - 127.0	4 - 5	30 - 60	83.8 - 107.9	3.30 - 4.25
127.0 - 152.4	5 - 6	10 - 40	86.4 - 118.1	3.40 - 4.65
Mas de 152.4	Mas de 6	0 - 10	86.4 - 120.6	3.40 - 4.75

FUENTE: FAO, AÑO 1976

MÉTODO DE LA FAO: LLUVIA EFECTIVA MENSUAL MEDIA, EN SU RELACIÓN CON LA ET (CULTIVO) MENSUAL MEDIA Y LAS LLUVIAS MENSUALES MEDIAS

LLUVIAS MENSUALES MEDIA (mm)		12.5	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100	112.5	125	137.5	150	162.5	175	187.5	200	
LLUVIA EFECTIVA MENSUAL MEDIA																		
ET (cultivo) mensual media (mm)	25	8	16	24														
	50	8	17	25	32	39	46											
	75	9	18	27	34	41	48	56	62	69								
	100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100				
	125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	92	98	107	116	120		
	150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133	
	175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	141	
	200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	109	117	125	134	142	150	159
	225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159	
	250	13	25	38	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167	

FUENTE: FAO, AÑO 1974

VALORES DE LA RADIACION SOLAR EXTRATERRESTRE (RS) PARA SER UTILIZADOS EN LA FORMULA SERRUTO-COLQUE DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (EXPRESADOS EN EQUIVALENTES DE EVAPORACION EN mm/dia.) PARA EL CALCULO DE LA PRECIPITACION EFECTIVA

HEMISFERIO NORTE												LAT	HEMISFERIO SUR											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7	24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.1	17.7
10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2	22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0	17.5
11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7	20	17.3	16.5	15.8	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	17.0	17.4
11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1	18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.3	17.1
12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6	16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.7	16.8
12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0	14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.5	16.6
12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5	12	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.4	16.5
13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9	10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.0	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.2	16.2
13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.0	13.9	13.3	8	16.1	16.1	15.5	14.4	12.4	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	16.0	16.0
13.9	14.8	15.4	15.4	15.4	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.2	6	15.8	16.0	15.6	14.7	12.8	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.8	15.7
14.3	15.0	15.5	15.5	15.3	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.2	4	15.5	15.0	15.6	14.9	13.2	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.5	15.4
14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4	2	15.3	15.7	15.7	15.1	13.5	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.3	15.1
15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8	0	15.0	15.5	15.7	15.3	13.9	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.3

FUENTE: FAO, AÑO 1996

VALORES DE LA RADIACION SOLAR EXTRATERRESTRE (RS) PARA SER UTILIZADOS EN LA FÓRMULA SERRUTO-COLQUE DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (EXPRESADOS EN EQUIVALENTES DE EVAPORACIÓN EN mm/día.) PARA EL CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN EFECTIVA

HEMISFERIO NORTE												LAT	HEMISFERIO SUR											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
3.3	6.1	9.4	12.7	15.3	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2	50.0	17.5	14.7	10.9	7.0	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2
4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.8	3.7	48.0	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4.0	6.0	9.3	13.3	16.6	18.2
4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3	46.0	17.7	15.1	11.5	7.9	5.2	4.0	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7	44.0	17.8	15.3	11.9	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.7	18.3
5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2	42.0	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	5.4	7.4	10.6	14.0	16.8	18.3
6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7	40.0	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	1.0	14.2	16.9	18.3
6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1	38.0	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6	36.0	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.3	8.8	11.7	14.6	17.0	18.2
7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.3	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2	34.0	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.1	18.2
8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.3	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8	32.0	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.2	18.1
8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3	30.0	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.3	18.1
9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8	28.0	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3	26.0	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.2	17.8

FUENTE: FAO



Foto N° 01: Vista de la Estación Meteorológica INIA, ubicada en el centro de investigación de Canaan - Ayacucho.



Foto N° 02: Vista de los equipos de medición de las principales variables meteorológicas, se pueden observar el pluviómetro, el tanque evaporímetro.



Foto N° 03: Vista del tanque evaporímetro, el tanque se encuentra protegida por una malla olímpica, este equipo es el encargado de medir la evaporación.



Foto N° 04: Vista del medidor de la velocidad del viento, este equipo es el encargado de medir la velocidad del viento en metros por segundo.