

ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SATELITAL Y MEDICIONES IN-SITU EN EL MODELAMIENTO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN CULTIVOS ANDINOS - AYACUCHO 2017

Rubén A. Meneses Rojas

Unidad de Investigación e Innovación de Ciencias Agrarias
Programa de Investigación en Pastos y Ganadería- Área de Recursos Hídricos
E-mail: ruben.meneses@unsch.edu.pe

RESUMEN

El agua se ha convertido en un recurso natural muy importante y a la vez escaso, por el cambio global, la creciente demanda debido al incremento poblacional y las acciones antrópicas negativas (desperdicios y deterioros de su calidad), donde el uso agrario representa más del 85 % con muy bajas eficiencias. Los procesos de la investigación han conducido a la obtención de valores calculados de la evapotranspiración potencial (ET_o), evapotranspiración de los cultivos andinos (ET_c) o uso consuntivo y sus necesidades de riego. Los factores predominantes que influyen sobre la Evapotranspiración de los cultivos andinos y el régimen de riego son las condiciones climáticas, agrotecnia de los cultivos, características del suelo, tecnología de riego a emplear, características de la parcela y la cantidad, calidad y disponibilidad de agua. La ET_o para las condiciones de la zona andina varía desde 2.86 mm/día (85.8 mm/mes) en junio hasta 3.80 mm/día (114 mm/mes) en noviembre, con un total de 1,183.71 mm/año. El Uso Consuntivo de la papa nativa (ET_c) es de 487.45 mm/campaña es decir (4,874.5 m³/ha) en la época de estiaje. Las necesidades de riego bruto en el mes de máximo consumo, agosto, para riego por gravedad es de 2,821.62 m³/ha, con un módulo de riego de 1.05 lps/ha; mientras que para riego presurizado por aspersión es de 1,504.86 m³/ha, con un módulo de riego de 0.56 lps/ha. Cantidades inferiores se ha encontrado para la quinua y la mashua.

Palabras clave: Evapotranspiración, uso consuntivo, riego, cultivos andinos.

ANALYSIS OF SATELLITE INFORMATION AND IN-SITU MEASUREMENTS IN THE MODELING OF EVAPOTRANSPIRATION IN ANDEAN CROPS AYACUCHO 2017

ABSTRACT

Water has become a very important and at the same time scarce natural resource, due to global change, the growing demand due to population increase and negative anthropic actions (waste and deterioration of its quality), where agricultural use represents more than 85 % with very low efficiencies. The research processes have led to obtaining calculated values of potential evapotranspiration (ET_o), evapotranspiration of Andean crops (ET_c) or consumptive use and their irrigation needs. The predominant factors that influence the evapotranspiration of the Andean crops and the irrigation regime are the climatic conditions, agrotecnia of the crops, characteristics of the soil, irrigation technology to be used, characteristics of the plot and the quantity, quality and availability of water. The ET_o for the conditions of the Andean zone varies from 2.86 mm / day (85.8 mm / month) in June to 3.80 mm / day (114 mm / month) in November, with a total of 1,183.71 mm / year. The consumptive use of the native potato (ET_c) is 487.45 mm / campaign, that is to say (4,874.5 m³ / ha) during the dry season. The gross irrigation needs in the month of maximum consumption, August, for irrigation by gravity is 2,821.62 m³ / ha, with an irrigation module of 1.05 lps / ha; while for pressurized irrigation by sprinkling it is 1,504.86 m³ / ha, with an irrigation module of 0.56 lps / ha. Lower amounts have been found for quinoa and mashua.

Keywords: Evapotranspiration, consumptive use, irrigation, Andean crops.

INTRODUCCIÓN

En estas últimas décadas el agua se ha convertido en un recurso natural muy importante y a la vez escaso, por el cambio global, la creciente demanda debido al incremento poblacional y las acciones antrópicas negativas (desperdicios y deterioros de su calidad), donde el uso agrario representa más del 85 % con muy bajas eficiencias; por lo que la gestión racional de este recurso es uno de los mayores retos en la actualidad. El conocimiento del consumo de agua de los cultivos (evapotranspiración) es información clave para la adecuada gestión de los recursos hídricos en el marco de su uso eficiente. En la zona andina, donde se practica la "agricultura de secano" solamente en las épocas de precipitaciones, con bajos rendimientos, el conocimiento de la evapotranspiración de los cultivos andinos es muy limitado o desconocido.

Los cultivos andinos son la base de la alimentación, con riqueza nutricional y medicinal y fuente de ingresos económicos de los pobladores rurales y urbanos; además, contribuyen a la preservación y conservación de la biodiversidad y el ecosistema de la región andina del Perú; zona de influencia por donde atraviesa el gasoducto de Camisea en la región Ayacucho.

Se tiene la carencia de información precisa de la evapotranspiración (consumo de agua) de los cultivos originarios, de los cultivos que tienen como pisos ecológicos de producción la región andina (papa, quinua, mashua, maíz); dicha información es requerida por los productores agrarios para la panificación, intensificación de su producción y manejo adecuado de los recursos, especialmente el agua.

Existen varios métodos para la estimación de la Evapotranspiración de manera global, la diversidad y variabilidad geo-climática, ecológica y ambiental de la región andina del Perú obligan a investigar y generar metodologías propias para cuantificar la ET de los cultivos andinos, alimento base de los pobladores de la región, donde las técnicas de la teledetección validada con las mediciones in-situ permitirían obtener dicha información (García and Baille, 2012).

Dada la amplitud del trabajo y el requerimiento de la inversión económica para la adquisición de equipos de medición directa en campo, así como el requerimiento de los datos satelitales y su procesamiento, queda pendiente su realización para el presente año. Siendo entonces los objetivos cumplidos del trabajo los siguientes: (1) Determinar los factores que influyen en la evapotranspiración de los cultivos andinos: papa, quinua, mashua. (2) Calcular la evapotranspiración de los cultivos andinos mediante métodos indirectos: uso de fórmulas empíricas, productos satelitales y el uso de algoritmos. (3) Determinar el uso consuntivo y las necesidades de riego de los cultivos andinos: papa, quinua, mashua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

Región : Ayacucho
 Provincia : Huamanga
 Distrito : Vinchos
 Localidades : Comunidades del Centro Poblado Anchachuasi

Las comunidades del Centro Poblado Anchachuasi del distrito de Vinchos se ubican al noroeste de la ciudad de Ayacucho, a 60 km de dicha ciudad por carretera asfaltada vía Los Libertadores, a 1 hora de viaje.

Materiales

Durante el desarrollo de la investigación se hizo uso de materiales de escritorio, de equipos de oficina, laboratorios, gabinetes, equipos topográficos, información de registros meteorológicos, análisis de suelos, aguas, fichas de registros y evaluación, software especializados, herramientas agrícolas de campo, entre otros.

Metodología

Los procesos de la investigación han conducido a la obtención de valores calculados de la evapotranspiración potencial (ET_o), evapotranspiración de los cultivos andinos (ET_c) o uso consuntivo y las necesidades de riego considerando la tecnología de riego a emplear (riego superficial por gravedad y riego presurizado) a partir del conocimiento de los factores que influyen y la información meteorológica generada para la zona andina en estudio.

Plan de ejecución

El periodo de ejecución del trabajo de investigación comprende un año, periodo en el cual se desarrollarán las siguientes actividades prioritarias.

- Planeamiento y coordinaciones del equipo de investigación.
- Diagnóstico participativo con los actores involucrados,

investigadores y beneficiarios directos.

- Adquisición de materiales, insumos y equipos requeridos para la ejecución de la investigación.
- Revisión de información bibliográfica, técnica, científica producida a la fecha relacionada al tema de investigación.
- Identificación, caracterización y registro de los cultivos andinos de importancia alimenticia, económica y ambiental.
- Recopilación de información y elaboración de base de datos.
- Mapeo de la distribución de los cultivos andinos
- Estudio de factores que influyen en la evapotranspiración y el régimen de riego de los cultivos andinos.
- Medición de factores influyentes en el proceso de evapotranspiración, climático, geográfico y otros.
- Análisis de muestras en laboratorio.
- Procesamiento y sistematización de la información obtenida.
- Cálculo de la evapotranspiración potencial o del cultivo de referencia (ET_o)
- Obtención de los valores del coeficiente de evapotranspiración (K_c) para los cultivos andinos.
- Cálculo del uso consuntivo o evapotranspiración de los cultivos andinos (ET_c).
- Determinación de la necesidades de riego de los cultivos andinos a nivel mensual hasta la determinación del módulo de riego o caudal específico (lps/ha).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Factores que Influyen en la Evapotranspiración

Se ha llegado a determinar que varios factores influyen sobre el régimen de riego de los cultivos, tales como las **condiciones climáticas** (temperaturas máxima, mínima y media, humedad relativa, viento, insolación, precipitación, radiación); **agrotecnia de los cultivos** (especies, variedades, calendario agrícola, objetivos de cosecha); **las características del suelo** (propiedades físicas, estados de humedad, potencial hídrico, flujo de agua); y la **tecnología de riego a emplear** (riego superficial por gravedad, riego mejorado, riego presurizado); **características de la parcela** (tamaño, forma, relieve); y la cantidad, calidad y disponibilidad de **agua**; tal como señala también Avidan (1994); factores que a su vez son información de fuente primaria.

El conocimiento de estos factores permite previamente calcular o estimar la Evapotranspiración Potencial o del cultivo de referencia (ET_o), luego el conocimiento del Coeficiente de Evapotranspiración o Coeficiente de Cultivo (K_c) permite calcular el Uso Consuntivo o Evapotranspiración de un cultivo determinado (ET_c) y con ello el régimen de riego de los cultivos en función a la tecnología de riego a utilizar, es decir sea mediante el riego superficial por gravedad o los métodos de riego presurizado, adecuado a cada cultivo a fin de obtener rendimientos óptimos. El siguiente cuadro resume la información meteorológica generada para la zona de estudio.

CONSOLIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA (GENERADA) ZONA DE CULTIVO

| | | | | | |
|-----------|------------------|------------|----------|-----------|---------------|
| ESTACION: | GENERADA | DISTRITO: | VINCHOS | ALTITUD: | 3550 msnm |
| CUENCA: | MANTARO | PROVINCIA: | HUAMANGA | LATITUD: | 13° 18' 17" S |
| LUGAR.: | ZONA DE CULTIVOS | DEPARTAM.: | AYACUCHO | LONGITUD: | 74° 21' 47" W |

| MES | N° Días | PPm | T° Min | T° Max | T° Med | HRm | Vm | Insolac n |
|-----|---------|-------|--------|--------|--------|-----|-------|-----------|
| | | (mm) | (°C) | (°C) | (°C) | (%) | (m/s) | (horas) |
| ENE | 31 | 143.1 | -1.2 | 24.3 | 11.9 | 69 | 2.6 | 4.8 |
| FEB | 28 | 150.9 | -1.1 | 22.9 | 11.2 | 68 | 2.5 | 4.3 |
| MAR | 31 | 130.2 | 0.2 | 22.9 | 11.5 | 67 | 2.5 | 4.5 |
| ABR | 30 | 55.1 | -1.7 | 23.1 | 11.3 | 70 | 2.4 | 6.1 |
| MAY | 31 | 14.4 | -4.2 | 23.5 | 10.8 | 72 | 2.8 | 8.0 |
| JUN | 30 | 7.5 | -4.0 | 23.0 | 10.0 | 75 | 2.8 | 7.9 |
| JUL | 31 | 14.6 | -3.9 | 22.1 | 10.0 | 76 | 3.1 | 8.2 |
| AGO | 31 | 18.8 | -6.1 | 25.2 | 10.5 | 75 | 2.9 | 7.9 |
| SET | 30 | 26.6 | -2.7 | 24.7 | 11.2 | 69 | 3.0 | 6.5 |
| OCT | 31 | 47.1 | -0.9 | 26.1 | 12.1 | 65 | 3.2 | 6.5 |
| NOV | 30 | 51.2 | -4.1 | 25.1 | 12.5 | 63 | 3.3 | 6.3 |
| DIC | 31 | 97.2 | -1.0 | 25.1 | 13.0 | 68 | 2.9 | 4.7 |

Evapotranspiración de Cultivos Andinos, Fórmulas Empíricas

A continuación se presenta los resultados del trabajo, referidos a la determinación de la evapotranspiración de los cultivos andinos para las condiciones de la zona estudiada. Para ello fue necesario el siguiente procedimiento:

- Determinación de la evapotranspiración potencial o del cultivo de referencia (ET_o), empleando fórmulas empíricas con base a información geográfica y climática.
- Obtención de valores de los coeficientes de evapotranspiración o coeficiente de cultivo (K_c) para las especies de cultivos en estudio: papa, quinua, mashua, con el método recomendado por la FAO para cultivos estacionales.
- Estimación de la evapotranspiración del cultivo o uso consuntivo (ET_c) de las especies estudiadas.

Evapotranspiración potencial o del cultivo de referencia (ET_o)

La ET_o, [mm/día], de un cultivo estándar o de referencia fue definida por Doorenbos & Pruitt (1975) como: "La tasa de evaporación [mm/día] de una extensa superficie de pasto (grama) verde, de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, que sombrea completamente la superficie del suelo y que no sufre de escasez de agua".

Adicionalmente es un elemento importante dentro del balance hídrico, debido a que es el principal parámetro

responsable del déficit hidrológico. Debido a que es difícil medir directamente la evapotranspiración (por medio de lisímetros), la solución empleada por la mayor parte de estudios hidrológicos es la estimación de la evapotranspiración potencial (ET_o) con la ayuda de diferentes fórmulas que relacionen la ET_o con elementos del clima. Algunas fórmulas resultan de un ajuste estadístico (Thornthwaite, Blaney-Criddle, Turc, Espinar, Riou, etc), y otros resultan de un razonamiento físico basado en un balance energético (Penman, Bouchet, Brochet-Gerbier, Penman-Monteith).

Para calcular la evapotranspiración potencial (ET_o) existen una diversidad de métodos; de ellos, se ha calculado ET_o por los métodos de Thornthwaite, Papadakis, Hargreaves (Modificado), Hargreaves (Radiación), Hargreaves (Temperatura), Blaney y Criddle, Christiansen, método de Penman – Monteith y Penman – Monteith modificado por la FAO (CROPWAT), determinados con un software elaborado para dicho propósito.

Para el ámbito de la zona en estudio, con la información de las características funcionales de la cuenca y de la zona de cultivos, es decir con la información de temperatura, humedad relativa, insolación, velocidad de viento, precipitación y otros generados para la zona de las áreas agrícolas, se ha realizado el cálculo de la evapotranspiración potencial mediante los métodos anteriormente descritos, cuyos resultados se resumen en la tabla 1 y gráfico 1.

Tabla 1. Evapotranspiración Potencial (ETo) comparativo varios métodos para la zona de estudio.

| RESUMEN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL - ETo (mm/día) | | | | | | | | | |
|--|--------------|-----------|---------------|---------------|---------------|------------------|--------------|-----------------|-----------------------|
| MES | Thornthwaite | Papadakis | Hargreaves 01 | Hargreaves 02 | Hargreaves 03 | Blaney y Criddle | Christiansen | Penman Monteith | Penman Modificado FAO |
| Enero | 1.91 | 4.63 | 5.68 | 4.54 | 3.28 | 2.14 | 3.82 | 4.18 | 4.36 |
| Febrero | 1.75 | 4.63 | 5.29 | 4.32 | 3.01 | 1.92 | 3.51 | 3.90 | 4.09 |
| Marzo | 1.75 | 4.09 | 4.93 | 4.07 | 2.96 | 1.96 | 3.47 | 3.78 | 3.99 |
| Abril | 1.66 | 4.43 | 4.51 | 3.35 | 3.13 | 1.80 | 3.49 | 3.67 | 3.77 |
| Mayo | 1.53 | 4.55 | 4.07 | 2.74 | 3.17 | 1.88 | 3.56 | 3.78 | 3.62 |
| Junio | 1.38 | 4.53 | 3.7 | 2.31 | 2.86 | 1.68 | 3.09 | 3.45 | 3.16 |
| Julio | 1.39 | 4.11 | 3.7 | 2.35 | 3.00 | 1.77 | 3.27 | 3.50 | 3.34 |
| Agosto | 1.51 | 5.21 | 4.58 | 2.79 | 3.28 | 1.89 | 3.58 | 4.19 | 3.77 |
| Setiembre | 1.67 | 5.02 | 5.05 | 3.70 | 3.37 | 1.79 | 3.99 | 4.30 | 4.34 |
| Octubre | 1.89 | 5.24 | 5.74 | 4.51 | 3.70 | 2.03 | 4.62 | 4.91 | 5.13 |
| Noviembre | 2.01 | 5.25 | 5.79 | 4.96 | 3.80 | 2.17 | 4.85 | 5.00 | 5.13 |
| Diciembre | 2.13 | 4.89 | 5.81 | 4.82 | 3.34 | 2.28 | 4.04 | 4.38 | 4.45 |

Luego del análisis de ETo calculado por diferentes métodos y el promedio, se ha elegido los valores de ETo para la zona de cultivos, donde se observa que esta varía entre 2.86 mm/día (junio) hasta 3.80 mm/día (noviembre). Los valores más altos ocurren de julio a diciembre, por las características

climáticas propias de la temporada en la zona andina. En la tabla 2 y gráfico 2 muestran el comparativo entre los valores promedios mensuales de la ETo y los valores de la ETo mensual elegidos con fines de demanda de agua de los cultivos andinos.

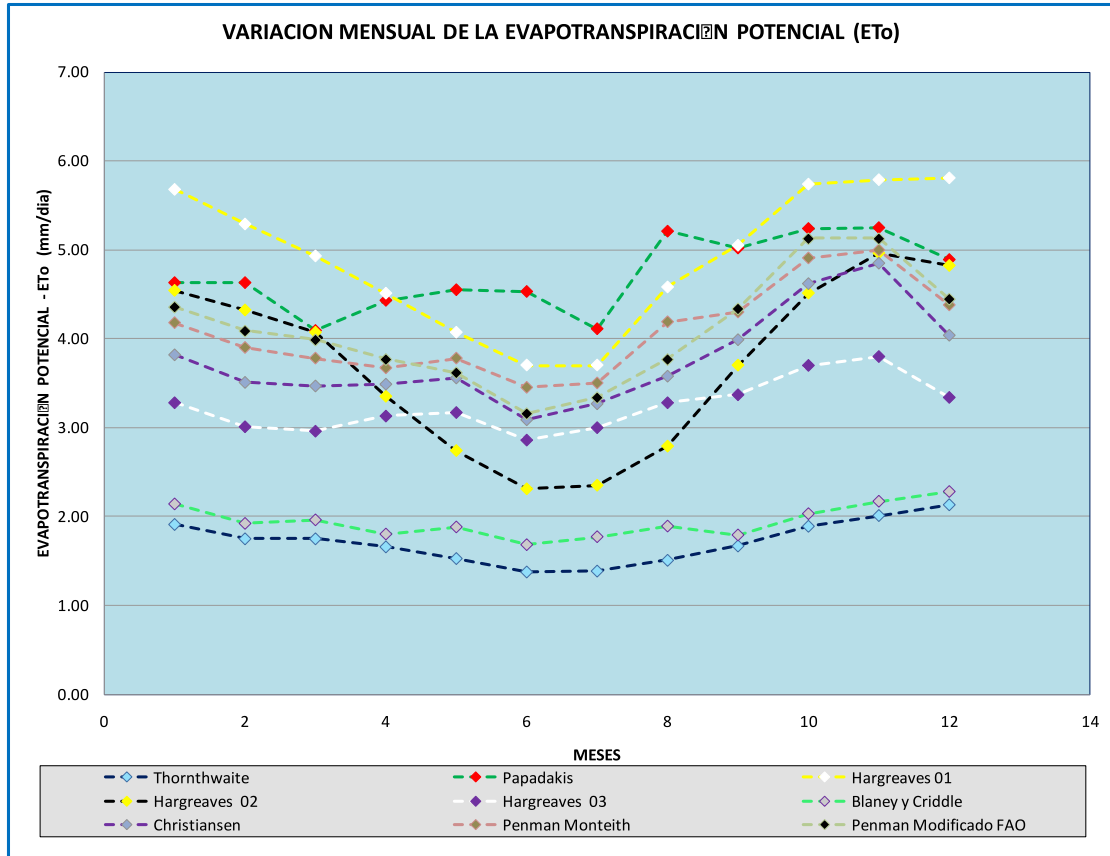


Gráfico 1. Variación mensual de Evapotranspiración Potencial (ETo).

Tabla 2. Evapotranspiración Potencial (ETo) elegido en zona de Anchachuasi

| EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL - (ETo) PROMEDIO Y ELEGIDO | | | | |
|---|----------|-------------------|----------------------|----------------------|
| MES | D (días) | ETo Prom (mm/día) | ETo Elegido (mm/día) | ETo Elegido (mm/mes) |
| Enero | 31 | 3.84 | 3.28 | 101.68 |
| Febrero | 28 | 3.60 | 3.01 | 84.28 |
| Marzo | 31 | 3.44 | 2.96 | 91.76 |
| Abril | 30 | 3.31 | 3.13 | 93.9 |
| Mayo | 31 | 3.21 | 3.17 | 98.27 |
| Junio | 30 | 2.91 | 2.86 | 85.8 |
| Julio | 31 | 2.94 | 3.00 | 93 |
| Agosto | 31 | 3.42 | 3.28 | 101.68 |
| Setiembre | 30 | 3.69 | 3.37 | 101.1 |
| Octubre | 31 | 4.20 | 3.70 | 114.7 |
| Noviembre | 30 | 4.33 | 3.80 | 114 |
| Diciembre | 31 | 4.02 | 3.34 | 103.54 |

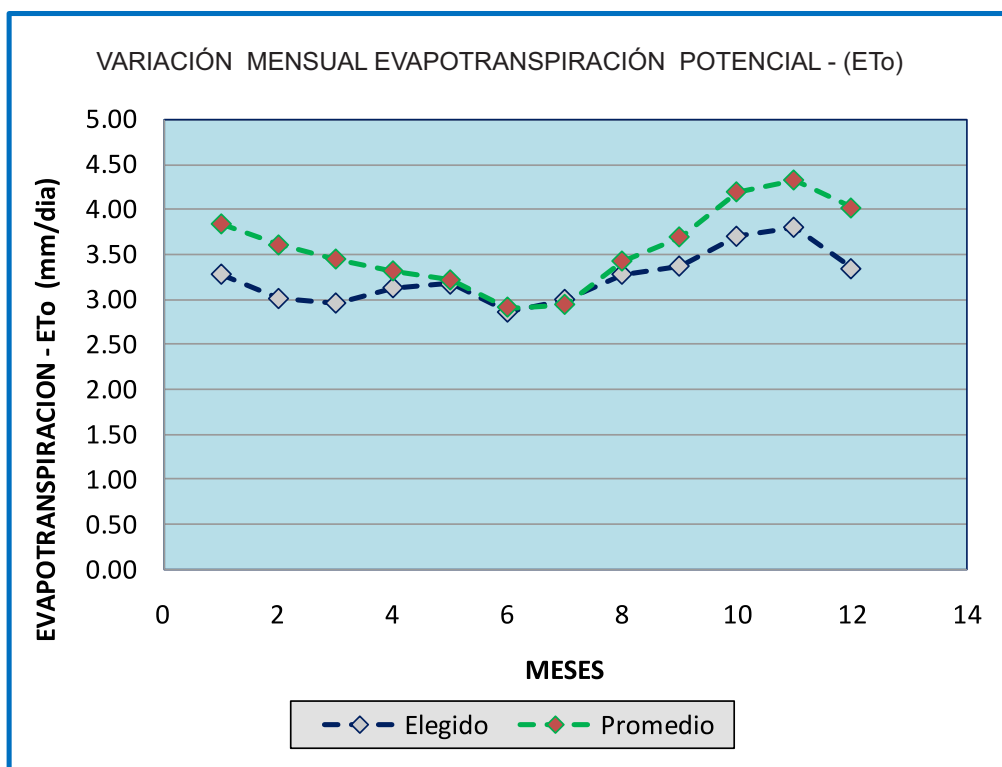


Gráfico 2. Variación mensual Evapotranspiración Potencial (ETo) elegido en zona de estudio

Del análisis de la información procesada y de los resultados obtenidos se puede señalar que la Evapotranspiración Potencial o del cultivo de referencia (ETo) para las condiciones de la zona andina varía desde 2.86 mm/día (85.8 mm/mes) en junio hasta 3.80 mm/día (114 mm/mes) en noviembre; el mismo que equivale a una ETo anual de 1,183.71 mm. Esta información sirve de base para el cálculo

del Uso Consuntivo de los cultivos.

Coefficientes de evapotranspiración de cultivo andinos (Kc)

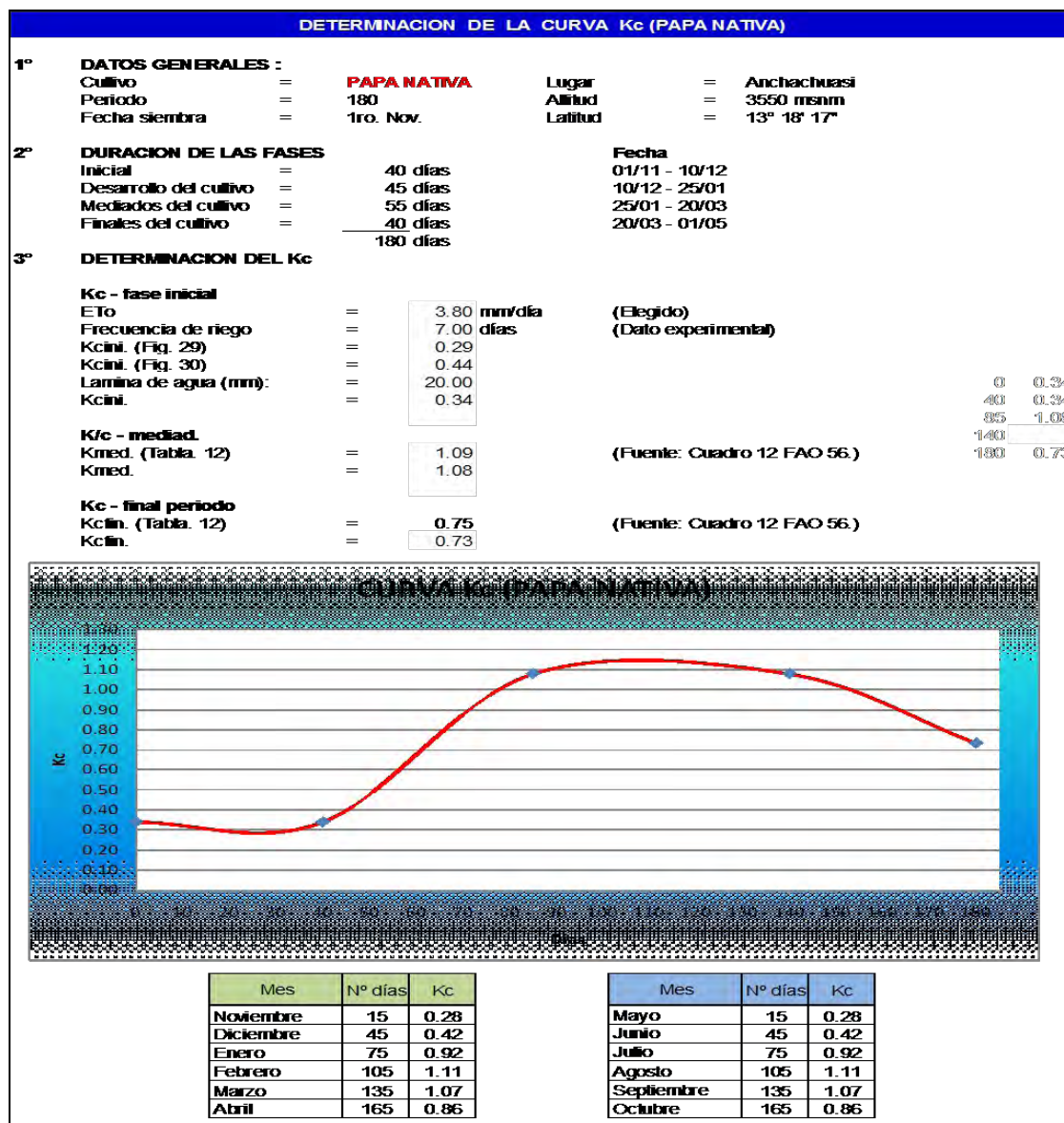
El Coeficiente de Evapotranspiración del Cultivo (Kc), expresa la relación entre el uso consuntivo de los cultivos en

consideración (ETc) y la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).

$$Kc = \frac{ETc \text{ [mm/día]}}{ETo \text{ [mm/día]}}$$

- Kc : Coeficiente del cultivo
- ETc : Evapotranspiración del cultivo, [mm/día]
- ETo : Evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/día]

Tabla 3. Valores de coeficiente de cultivo (Kc) papa nativa.



Evapotranspiración de cultivos andinos (ETc)

En las tablas 6, 7 y 8 se muestran los resultados del cálculo de la evapotranspiración de los cultivos o uso consuntivo (ETc) a nivel mensual expresados en lámina de agua (mm) y en volumen (m³/ha), para los cultivos de papa nativa, quinua y mashua respectivamente. Calculados para el periodo vegetativo de cada época o campaña agrícola (campaña grande y campaña chica o "michka").

Uso Consuntivo y Necesidades de Riego de Cultivos Andinos

El Uso Consuntivo o Evapotranspiración de la **papa nativa** (ETc) es de 487.45 mm/campaña es decir (4,874.5 m³/ha) en la época de estiaje. Las necesidades de riego bruto en el mes de máximo consumo, agosto, para riego por gravedad es de 2,821.62 m³/ha, con un módulo de riego de 1.05 lps/ha; mientras que para riego presurizado por aspersión es de 1,504.86 m³/ha, con un módulo de riego de 0.56 lps/ha; diferencia que muestra claramente el ahorro de agua. En la tabla 6 muestra el detalle de los cálculos a nivel mensual.

Tabla 6. Uso consuntivo (ETc) y necesidades de riego cultivo papa nativa.

| USO CONSUNTIVO Y NECESIDADES DE RIEGO CULTIVOS ANDINOS ANCHACHUASI, VINCHOS - AYACUCHO | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| CULTIVO PAPA NATIVA | | | | | | | | | | | | | |
| CÁLCULOS | UNID. | M E S E S | | | | | | | | | | | |
| | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| Nº de días/mes | días | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 |
| ETo Evapotrans.Potenc. | mm/día | 3.28 | 3.01 | 2.96 | 3.13 | 3.17 | 2.86 | 3.00 | 3.28 | 3.37 | 3.70 | 3.80 | 3.34 |
| ETo Evapotrans.Potenc. (*) | mm | 101.68 | 84.28 | 91.76 | 93.90 | 98.27 | 85.80 | 93.00 | 101.68 | 101.10 | 114.70 | 114.00 | 103.54 |
| Kc Coeficiente del cultivo | -- | 0.92 | 1.11 | 1.07 | 0.86 | 0.40 | 0.50 | 0.92 | 1.11 | 1.07 | 0.86 | 0.40 | 0.50 |
| ETc Uso Consuntivo | mm | 93.55 | 93.55 | 98.18 | 80.75 | 39.31 | 42.90 | 85.56 | 112.86 | 108.18 | 98.64 | 45.60 | 51.77 |
| ETc Uso Consuntivo | m3/ha | 935.46 | 935.51 | 981.83 | 807.54 | 393.08 | 429.00 | 855.60 | 1128.65 | 1081.77 | 986.42 | 456.00 | 517.70 |
| Precipitación P 75% prob. | mm | 105.10 | 109.20 | 109.93 | 32.25 | 3.74 | 0.75 | 2.40 | 3.75 | 15.68 | 37.68 | 39.40 | 82.22 |
| PE Precip. Efect. al 75%(**) | mm | 87.32 | 93.18 | 83.45 | 32.36 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.23 | 19.40 | 34.01 | 64.18 |
| NRn Necesid. Riego neto | mm | 6.23 | 0.37 | 14.73 | 48.39 | 39.31 | 42.90 | 85.56 | 112.86 | 99.95 | 79.24 | 11.59 | -12.41 |
| NRn Necesid. Riego neto | m3/ha | 62.26 | 3.71 | 147.33 | 483.94 | 393.08 | 429.00 | 855.60 | 1128.65 | 999.47 | 792.42 | 115.90 | -124.10 |
| NRb Necesid. Riego GRAVED | m3/ha | 155.64 | 9.27 | 368.33 | 1209.85 | 982.70 | 1072.50 | 2139.00 | 2821.62 | 2498.68 | 1981.05 | 289.75 | -310.25 |
| Módulo de Riego GRAVED | l/s/ha | 0.06 | 0.00 | 0.14 | 0.47 | 0.37 | 0.41 | 0.80 | 1.05 | 0.96 | 0.74 | 0.11 | -0.12 |
| NRb Necesid. Riego ASPERS | m3/ha | 83.01 | 4.94 | 196.44 | 645.25 | 524.11 | 572.00 | 1140.80 | 1504.86 | 1332.63 | 1056.56 | 154.53 | -165.47 |
| Módulo de Riego ASPERS | l/s/ha | 0.03 | 0.00 | 0.07 | 0.25 | 0.20 | 0.22 | 0.43 | 0.56 | 0.51 | 0.39 | 0.06 | -0.06 |
| * El ETo fue calculado por varios métodos y elegido | | | | | | | | | | | | | |
| ** La Precipitación Efectiva fue calculado por (Método U.S.A) | | | | | | | | | | | | | |
| ***Eficiencia de Riego (Grav/Aspers) | 0.40 | 0.75 | | | | | 86400 | | | | | | |

El Uso Consuntivo o evapotranspiración (ETc) del **cultivo de quinua** es de 445.79 mm/campaña es decir (4,457.9 m3/ha) en la época de estiaje. Las necesidades de riego bruto en el mes de máximo consumo, agosto, para riego por gravedad es

de 2,745.36 m3/ha, con un módulo de riego de 1.03 lps/ha; mientras que para riego presurizado por aspersión es de 1,464.19 m3/ha, con un módulo de riego de 0.55 lps/ha. En la tabla 7 muestra el detalle de los cálculos a nivel mensual.

Tabla 7. Uso consuntivo (ETc) y necesidades de riego cultivo de quinua.

| USO CONSUNTIVO Y NECESIDADES DE RIEGO CULTIVOS ANDINOS ANCHACHUASI, VINCHOS - AYACUCHO | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| CULTIVO QUINUA | | | | | | | | | | | | | |
| CÁLCULOS | UNID. | M E S E S | | | | | | | | | | | |
| | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| Nº de días/mes | días | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 |
| ETo Evapotrans.Potenc. | mm/día | 3.28 | 3.01 | 2.96 | 3.13 | 3.17 | 2.86 | 3.00 | 3.28 | 3.37 | 3.70 | 3.80 | 3.34 |
| ETo Evapotrans.Potenc. (*) | mm | 101.68 | 84.28 | 91.76 | 93.90 | 98.27 | 85.80 | 93.00 | 101.68 | 101.10 | 114.70 | 114.00 | 103.54 |
| Kc Coeficiente del cultivo | -- | 0.94 | 1.08 | 1.02 | 0.70 | 0.27 | 0.45 | 0.94 | 1.08 | 1.02 | 0.70 | 0.27 | 0.45 |
| ETc Uso Consuntivo | mm | 95.58 | 91.02 | 93.60 | 65.73 | 26.53 | 38.61 | 87.42 | 109.81 | 103.12 | 80.29 | 30.78 | 46.59 |
| ETc Uso Consuntivo | m3/ha | 955.79 | 910.22 | 935.95 | 657.30 | 265.33 | 386.10 | 874.20 | 1098.14 | 1031.22 | 802.90 | 307.80 | 465.93 |
| Precipitación P 75% prob. | mm | 105.10 | 109.20 | 109.93 | 32.25 | 3.74 | 0.75 | 2.40 | 3.75 | 15.68 | 37.68 | 39.40 | 82.22 |
| PE Precip. Efect. al 75%(**) | mm | 87.32 | 93.18 | 83.45 | 32.36 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.23 | 19.40 | 34.01 | 64.18 |
| NRn Necesid. Riego neto | mm | 8.26 | -2.16 | 10.15 | 33.37 | 26.53 | 38.61 | 87.42 | 109.81 | 94.89 | 60.89 | -3.23 | -17.59 |
| NRn Necesid. Riego neto | m3/ha | 82.59 | -21.58 | 101.45 | 333.70 | 265.33 | 386.10 | 874.20 | 1098.14 | 948.92 | 608.90 | -32.30 | -175.87 |
| NRb Necesid. Riego GRAVED | m3/ha | 206.48 | -53.94 | 253.63 | 834.25 | 663.32 | 965.25 | 2185.50 | 2745.36 | 2372.30 | 1522.25 | -80.75 | -439.68 |
| Módulo de Riego GRAVED | l/s/ha | 0.08 | -0.02 | 0.09 | 0.32 | 0.25 | 0.37 | 0.82 | 1.03 | 0.92 | 0.57 | -0.03 | -0.16 |
| NRb Necesid. Riego ASPERS | m3/ha | 110.12 | -28.77 | 135.27 | 444.93 | 353.77 | 514.80 | 1165.60 | 1464.19 | 1265.23 | 811.87 | -43.07 | -234.49 |
| Módulo de Riego ASPERS | l/s/ha | 0.04 | -0.01 | 0.05 | 0.17 | 0.13 | 0.20 | 0.44 | 0.55 | 0.49 | 0.30 | -0.02 | -0.09 |
| * El ETo fue calculado por varios métodos y elegido | | | | | | | | | | | | | |
| ** La Precipitación Efectiva fue calculado por (Método U.S.A) | | | | | | | | | | | | | |
| ***Eficiencia de Riego (Grav/Aspers) | 0.40 | 0.75 | | | | | | | | | | | |

El Uso Consuntivo o evapotranspiración (ETc) del **cultivo de mashua** es de 421.07 mm/campaña es decir (4,210.7 m3/ha) en la época de estiaje. Las necesidades de riego bruto en el mes de máximo consumo, agosto, para riego por gravedad es

de 2,796.20 m3/ha, con un módulo de riego de 1.04 lps/ha; mientras que para riego presurizado por aspersión es de 1,491.31 m3/ha, con un módulo de riego de 0.56 lps/ha. En la tabla 8 muestra el detalle de los cálculos a nivel mensual.

Tabla 8. Uso consuntivo (ETc) y necesidades de riego cultivo de mashua.

| USO CONSUNTIVO Y NECESIDADES DE RIEGO CULTIVOS ANDINOS ANCHACHUASI, VINCHOS - AYACUCHO | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| CULTIVO MASHUA | | | | | | | | | | | | | |
| CÁLCULOS | UNID. | M E S E S | | | | | | | | | | | |
| | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
| Nº de días/mes | días | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 |
| ETo Evapotrans.Potenc. | mm/día | 3.28 | 3.01 | 2.96 | 3.13 | 3.17 | 2.86 | 3.00 | 3.28 | 3.37 | 3.70 | 3.80 | 3.34 |
| ETo Evapotrans.Potenc. (*) | mm | 101.68 | 84.28 | 91.76 | 93.90 | 98.27 | 85.80 | 93.00 | 101.68 | 101.10 | 114.70 | 114.00 | 103.54 |
| Kc Coeficiente del cultivo | -.- | 0.85 | 1.10 | 0.90 | 0.70 | 0.25 | 0.40 | 0.85 | 1.10 | 0.90 | 0.70 | 0.25 | 0.40 |
| ETc Uso Consuntivo | mm | 86.43 | 92.71 | 0.90 | 65.73 | 24.57 | 34.32 | 79.05 | 111.85 | 90.99 | 80.29 | 28.50 | 41.42 |
| ETc Uso Consuntivo | m3/ha | 864.28 | 927.08 | 9.00 | 657.30 | 245.68 | 343.20 | 790.50 | 1118.48 | 909.90 | 802.90 | 285.00 | 414.16 |
| Precipitación P 75% prob. | mm | 105.10 | 109.20 | 109.93 | 32.25 | 3.74 | 0.75 | 2.40 | 3.75 | 15.68 | 37.68 | 39.40 | 82.22 |
| PE Precip. Efect. al 75%(**) | mm | 87.32 | 93.18 | 83.45 | 32.36 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 8.23 | 19.40 | 34.01 | 64.18 |
| NRn Necesid. Riego neto | mm | -0.89 | -0.47 | -82.55 | 33.37 | 24.57 | 34.32 | 79.05 | 111.85 | 82.76 | 60.89 | -5.51 | -22.76 |
| NRn Necesid. Riego neto | m3/ha | -8.92 | -4.72 | -825.50 | 333.70 | 245.68 | 343.20 | 790.50 | 1118.48 | 827.60 | 608.90 | -55.10 | -227.64 |
| NRb Necesid. Riego GRAVED | m3/ha | -22.30 | -11.80 | -2063.75 | 834.25 | 614.19 | 858.00 | 1976.25 | 2796.20 | 2069.00 | 1522.25 | -137.75 | -569.10 |
| Módulo de Riego GRAVED | l/s/ha | -0.01 | 0.00 | -0.77 | 0.32 | 0.23 | 0.33 | 0.74 | 1.04 | 0.80 | 0.57 | -0.05 | -0.21 |
| NRb Necesid. Riego ASPERS | m3/ha | -11.89 | -6.29 | -1100.67 | 444.93 | 327.57 | 457.60 | 1054.00 | 1491.31 | 1103.47 | 811.87 | -73.47 | -303.52 |
| Módulo de Riego ASPERS | l/s/ha | 0.00 | 0.00 | -0.41 | 0.17 | 0.12 | 0.18 | 0.39 | 0.56 | 0.43 | 0.30 | -0.03 | -0.11 |
| * El ETo fue calculado por varios métodos y elegido | | | | | | | | | | | | | |
| ** La Precipitación Efectiva fue calculado por (Método U.S.A) | | | | | | | | | | | | | |
| Eficiencia de Riego (Grav/Aspers) | 0.40 | 0.75 | | | | | | | | | | | |

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambast S. K., keshari A. K. and Gosain A. K. (2008). "Estimating Regional Evapotranspiration Using Remote Sensing: Application to Sone Low Level Canal System, India. Journal Of Irrigation And Drainage Engineering © Asce, 13-25, DOI: 10.1061/ASCE0733-94372008134:113.
- Antonio H. De C. Teixeira (2012). Modelling evapotranspiration by remote sensing parameters and agrometeorological stations. Remote Sensing and Hydrology, 352, 154-157.
- Avidan, A. (1994). "Determinación del régimen de riego de los cultivos". Fascículos 1, 2 y 3. HAIGUD: Asociación para la transferencia de tecnología. Estado de Israel.
- Eiji E., Wiberg D. A. And Pellikka P. K. E. (2011). Estimating reference evapotranspiration using remote sensing and empirical models in a region with limited ground data availability in Kenya. Applied Geography, 31, 251-258. doi:10.1016/j.apgeog.2010.05.011.
- Faci, J. M. (2010). "Programación del riego por aspersión". Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón – CITA.
- FAO (2006) "Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos". Estudio FAO Riego y drenaje 56. Roma.
- Garcia, S. G. And Baille A. (2012), Models for assessment of actual evapotranspiration from remote sensing: Theoretical basis, Options Méditerranéennes, B no. 67.
- Kadam S. A., Gorantiwar S. D., Das S. N. And Joshi A. K. (2016). Crop Evapotranspiration Estimation for Wheat (*Triticum aestivum* L.) Using Remote Sensing Data in Semi-Arid Region of Maharashtra. J Indian Soc Remote Sens, DOI 10.1007/s12524-016-0594-1.
- Pizarro, F. (1996). "Riegos Localizados Alta Frecuencia (RLAF) Goteo, Microaspersión, Exudación". Tercera Edición. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid. Barcelona. México.
- Sabah H, Mansor S., Pradhan B. and Ahmad N. (2016). Evaluation of SEBAL Model for Evapotranspiration Mapping in Iraq Using Remote Sensing and GIS. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562, 11 (6), 3950-3955.
- Tsouni A., Kontoes C., Koutsoyiannis D., Elias P. and Mamassis N. (2008), Estimation of Actual Evapotranspiration by Remote Sensing: Application in Thessaly Plain, Greece. Sensors, 8, 3586-3600; DOI: 10.3390/s8063586.