

Uso eficiente del agua en cultivares de papa nativa (*Solanum tuberosum*) en el sistema de riego Aguarongo Zañe, cantón Loja

Efficient use of water in native potato cultivars (*Solanum tuberosum*) in the Aguarongo Zañe irrigation system, Loja canton

Jorge Luis Jaramillo Condolo¹ , Jimmy Javier Cordero Jiménez¹ , Narcisca de Jesús Urgiles-Gómez¹ ,
Juan Francisco Sacapi Lareategui¹ , Gabriela Natali Abad Calva¹ 

Siembra 13 (1) (2026): e8801

DOI: [10.29166/siembra.v13i1.8801](https://doi.org/10.29166/siembra.v13i1.8801)

Recibido: 01/10/2025

Revisado: 12/01/2026 / 03/02/2026

Aceptado: 13/03/2026



¹ Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Carrera de Ingeniería Agrícola, Av. Pío Jaramillo Alvarado y Av. Reinaldo Espinosa, código postal 110111, Loja, Ecuador.

Correspondencia: jljaramillo@unl.edu.ec

Resumen

Este trabajo se desarrolló, en respuesta a varios desafíos que enfrentan los agricultores de la parroquia rural Chuquiribamba, así como la inadecuada infraestructura de riego, la variabilidad climática, la falta de tecnologías y desconocimiento de técnicas adecuadas para la gestión del agua. Frente a esta situación, el objetivo principal fue determinar los requerimientos hídricos del cultivo de papa nativa (*Solanum tuberosum*) para contribuir al uso eficiente del agua. Inicialmente, se evaluó la consistencia de datos meteorológicos registrados en la estación meteorológica automática de la zona durante el año 2024. Posteriormente, se determinaron las necesidades de riego para dos periodos de siembra (marzo-agosto y septiembre-diciembre), calculando la evapotranspiración de referencia [ET_0] mediante los métodos Hargreaves modificado y Penman-Monteith adoptando el segundo por su mayor precisión; asimismo, se estimó la evapotranspiración del cultivo [ET_c] ajustando el coeficiente del cultivo [K_c] para variedades precoces considerando un ciclo vegetativo de 105 días. Los resultados no revelaron datos inconsistentes en las variables analizadas. La ET_0 osciló entre 2,22 y 3 mm día⁻¹ con Penman-Monteith y los valores de K_c fueron: 0,45 (inicial), 0,75 (desarrollo), 1,15 (floración) y 0,85 (tuberización). En consecuencia, la ET_c incrementó de 1,02 mm día⁻¹ en la etapa inicial, a 2,86 mm día⁻¹ en la etapa final en mayo-agosto, mientras que, en septiembre-diciembre la ET_c inicialmente fue de 1,27 mm día⁻¹ alcanzando su máximo valor en la floración (2,87 mm día⁻¹). Las necesidades de riego alcanzaron sus valores máximos de 2,62 mm día⁻¹ (mayo-agosto) y 2,70 mm día⁻¹ en floración (septiembre-diciembre). En conclusión, la presente investigación aporta información valiosa para la planificación y sostenibilidad de los recursos hídricos en el cultivo de papa nativa.

Palabras clave: evapotranspiración de cultivos, gestión eficiente del agua, papa nativa, requerimientos hídricos, sostenibilidad de recursos hídricos.

Abstract

This study was conducted in response to several challenges faced by farmers in the rural parish of Chuquiribamba, including inadequate irrigation infrastructure, climate variability, a lack of technology, and insufficient knowledge of appropriate water management techniques. In this context, the main objective was to determine the water requirements of native potato crops (*Solanum tuberosum*) to promote efficient water use. Initially, the consistency of meteorological data recorded at the automa-

SIEMBRA

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>

ISSN-e: 2477-8850

Periodicidad: semestral

vol. 13, núm 1, 2026

siembra.fag@uce.edu.ec



© Los Autores 2026

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución - NoComercial

tic weather station in the area during 2024 was evaluated. Subsequently, irrigation requirements were determined for two planting periods (March–August and September–December). Reference evapotranspiration [ET_0] was calculated using the modified Hargreaves and Penman-Monteith methods. The latter was selected due to its greater accuracy. Crop evapotranspiration [ET_c] was also estimated by adjusting the crop coefficient [K_c] for early varieties, considering a 105-day growing cycle. The results did not reveal any inconsistent data in the analyzed variables. The ET_0 ranged from 2.22 to 3 mm day⁻¹ using the Penman-Monteith method, and the K_c values were: 0.45 (initial stage), 0.75 (development stage), 1.15 (flowering stage), and 0.85 (tuberization stage). Consequently, the ET_c increased from 1.02 mm day⁻¹ in the initial stage to 2.86 mm day⁻¹ in the final stage in May–August. In contrast, during the September–December period, the ET_c started at 1.27 mm day⁻¹ and reached a maximum of 2.87 mm day⁻¹ during the flowering stage. Irrigation requirements reached peak values of 2.62 mm day⁻¹ (May–August) and 2.70 mm day⁻¹ during flowering (September–December). In conclusion, this study provides valuable information for the planning and sustainable management of water resources in native potato cultivation

Keywords: crop evapotranspiration, efficient water management, native potato, water requirements, water resources sustainability.

1. Introducción

El recurso hídrico es primordial para el desarrollo de una producción agrícola sostenible, especialmente en zonas rurales, donde la disparidad climática e infraestructura inadecuada de riego condicionan el rendimiento de los cultivos (Abbade et al., 2024; Becerra-Perenguez et al., 2024). A nivel global, se estima que el balance adecuado de los requerimientos hídricos en la agricultura ahorraría cantidades sustanciales de agua en muchas regiones alcanzando hasta un 48%, este incremento mejoraría la producción agrícola en un 41% y reduciría la brecha de rendimiento en un 62% (Jägermeyr et al., 2016; Rosa et al., 2020). Jägermeyr et al., (2016) manifiestan que la aplicación inadecuada de las láminas de riego en los cultivos causa daños significativos, tanto por exceso como por déficit de agua. Entre los principales problemas se encuentra la asfixia radicular, el desarrollo de enfermedades fúngicas y por supuesto la limitación en la absorción de nutrientes, lo que refleja bajos rendimientos y baja calidad de los productos agrícolas.

En Ecuador, la papa nativa es un cultivo de gran importancia ancestral, social y nutricional, destinado principalmente al autoconsumo (Monteros et al., 2005). Su producción contribuye directamente a la conservación de la biodiversidad, así como al fortalecimiento de la seguridad y soberanía alimentaria de pequeños agricultores representando un sustento económico clave para su núcleo familiar (Araujo Jaramillo et al., 2021). Según Cuesta et al., (2022), nivel nacional se cultivan alrededor de 351-500 variedades de papa nativa y se considera que aproximadamente el 81% se comercializa en fresco, mientras que el resto es usado por las industrias para su procesamiento (Espinoza et al., 2011). En particular en la provincia de Tungurahua el 65% de las papas nativas cosechadas se emplean directamente en la comercialización

local, el 10% se utiliza para autoconsumo y el 25% restante se emplea como semilla (Pallo et al., 2021).

El cultivo de papa se cultiva entre los 2600 a 3500 m s.n.m., en tres regiones: al norte, en las provincias de Carchi e Imbabura; al centro en Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar; y al Sur, en Cañar, Azuay y Loja, con temperaturas que oscilan entre 10 y 15 °C y precipitaciones anuales de 750 a 2.000 mm (Monteros et al., 2010; Araujo Jaramillo et al., 2021). En la Sierra ecuatoriana los niveles de producción se ven afectados en gran parte por la falta de planificación y distribución antitécnica del agua debido al cambio climático responsable de la alteración de variables meteorológicas con sequías prolongadas y lluvias intensas en periodos cortos, además de la falta de datos climáticos históricos para zonas alto andinas, mismos que son necesarios para generar información sobre la cantidad y momento de mayor necesidad de riego (Ayala et al., 2017; Nieto et al., 2018). Lo expuesto se articula con los planteamientos del Banco Mundial (2017), que evidencia que apenas el 13,8% de la superficie agrícola dispone de sistemas de riego tecnificado, situación que, de acuerdo con Sánchez Palacios et al., (2024), restringe de manera significativa la eficiencia en el uso del recurso hídrico y limita el aprovechamiento del potencial productivo de los cultivos. En este contexto, Yuan et al., (2003) sostienen que la papa constituye uno de los cultivos con mayor sensibilidad frente a desequilibrios en el suministro de agua, particularmente durante las fases fisiológicas de tuberización y llenado del tubérculo, debido a la limitada profundidad de su sistema radicular, el cual demanda una provisión hídrica uniforme y adecuada para su desarrollo. La insuficiencia de riego se asocia con efectos adversos como deformaciones, reducción en el número de tubérculos y disminución de su tamaño, mientras que un aporte excesivo incrementa la vulnerabilidad del cultivo a enfermedades

de importancia fitosanitaria, entre las que se destacan *Phytophthora infestans*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium sambucinum*.

La aplicación inadecuada de los requerimientos hídricos en los cultivos se asocia de manera directa con disminuciones significativas en el rendimiento productivo, tal como se evidencia en estudios realizados en diversas condiciones agroclimáticas. En parcelas agrícolas evaluadas en Lima, Perú, aquellas con drenaje severo recibieron entre un 20 y un 35% menos agua respecto a los niveles requeridos, lo que se tradujo en reducciones del rendimiento que oscilaron entre el 20 y el 50% en distintos ciclos de cultivo (Trebejo y Midmore, 2009; Pérez et al., 2024). Resultados similares han sido reportados en Canadá, donde se registraron pérdidas diarias del orden del 3,1 al 3,4%, así como en Nuevo México, donde la aplicación de un déficit hídrico del 20% provocó una disminución del rendimiento del 22,1% en comparación con esquemas de riego óptimos (Li et al., 2023; Shrestha et al., 2024). De forma complementaria, el suministro de láminas de riego superiores al 120–140% de la evapotranspiración estimada se vincula con descensos productivos que varían entre el 7,1% y el 22%, además de generar alteraciones fisiológicas y sanitarias como podredumbre del tubérculo, corazón hueco y manchas marrones, factores que comprometen la calidad y el valor comercial de la producción de papa (Shrestha et al., 2023; Ma et al., 2024).

En concordancia con estos planteamientos, Barona-Posligua et al., (2022) destacan la relevancia del empleo de estaciones meteorológicas para la medición sistemática de variables atmosféricas, cuyo análisis permite formular estrategias orientadas al aprovechamiento eficiente del recurso hídrico en los sistemas productivos. Asimismo, la demanda atmosférica se encuentra condicionada por factores como la temperatura, humedad relativa, radiación solar y precipitación, por lo que la determinación precisa de estos parámetros resulta un insumo fundamental para estimar las necesidades hídricas reales de los cultivos, optimizar la aplicación del riego y fortalecer la productividad agrícola, evitando tanto déficits como excesos que comprometan el crecimiento y el rendimiento de las plantas (Valderrama et al., 2021).

En el ámbito territorial de la parroquia Chuquiribamba, el sistema de riego Aguarongo–Zañe presenta un área de influencia de 98,30 ha, de las cuales el 81,7% corresponde a superficies efectivamente abastecidas con riego, lo que posibilita atender la demanda hídrica de los cultivos establecidos por los productores de papa de la zona; no obstante, la limitada apropiación técnica sobre el manejo y la dosificación del agua aplicada a cada cultivo se traduce en prácticas

que restringen el desempeño productivo y afectan la sostenibilidad de los sistemas agrícolas locales (Chamba-Ontaneda, 2021).

A partir de este contexto, la investigación se orienta a generar conocimiento técnico que contribuya a mejorar la eficiencia del riego en cultivares de papa nativa en áreas rurales, con el propósito de fortalecer la resiliencia productiva de los agricultores y promover una gestión sostenible del recurso hídrico, para lo cual se plantea evaluar la consistencia de los registros meteorológicos obtenidos de la estación automática de Chuquiribamba, a fin de estimar la evapotranspiración y definir requerimientos de riego ajustados a las condiciones del área de estudio.

2. Materiales y Métodos

El sistema de riego Aguarongo–Zañe se ubica en la parroquia Chuquiribamba, perteneciente al cantón Loja, dentro de un rango altitudinal comprendido entre los 2.500 y 2.900 m s.n.m., lo que define un entorno físico propio de la sierra sur ecuatoriana (Figura 1). El área de influencia del sistema se encuentra delimitada por las coordenadas UTM 684079,37 m E y 684322,08 m E, así como 9574786,36 m N y 9576913,66 m N, correspondientes a la Zona 17 Sur, y abarca una superficie aproximada de 107 ha destinadas a la actividad agrícola. Bajo estas condiciones espaciales se desarrollan características climáticas marcadas por una precipitación media anual cercana a los 1.050 mm y una temperatura media aproximada de 12,7 °C, cuya distribución irregular condiciona la disponibilidad hídrica del sistema, generando escenarios de excedente y déficit que inciden de manera directa en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos y pastizales establecidos en el área.

2.1. Procesamiento de datos

El registro de las variables climáticas empleadas en esta investigación se realizó mediante una estación meteorológica automática marca *Davis Vantage Pro2™* modelo 6162, identificada en campo como “UNL_ST_CHUQUIRIBAMBA”, la cual se encuentra instalada en la parroquia Chuquiribamba, en las coordenadas UTM 684111,69 m E y 9575790,86 m N. La estación fue configurada para efectuar mediciones con una frecuencia de 15 minutos, lo que permitió capturar de manera detallada la variabilidad diaria de las principales variables meteorológicas requeridas para la estimación de la evapotranspiración y de los requerimientos hídricos del cultivo.

Los datos registrados fueron descargados desde la

plataforma *WeatherLink* en formato CSV y con lenguaje de programación R y el IDE RStudio, donde se llevaron a cabo procedimientos de depuración, control de calidad y validación, orientados a identificar inconsistencias, valores atípicos y posibles errores de medición.

2.2. Análisis de consistencia

El análisis de consistencia de las variables meteorológicas correspondientes al año 2024 se llevó a cabo siguiendo el método propuesto por Meek y Hatfield (1994), posteriormente ratificado por Shafer et al., (2000), el cual se fundamenta en el control interno de la consistencia lógica entre variables registradas

por una única estación meteorológica. En una primera etapa, se identificaron valores atípicos y registros improbables mediante el uso de estadística descriptiva, considerando medidas de tendencia central y dispersión, particularmente la media y la desviación estándar de cada variable. A continuación, se evaluaron relaciones lógicas y límites físicos entre variables meteorológicas físicamente relacionadas, tales como la condición $T_{min} < T_{med} < T_{max}$ y la coherencia entre las velocidades media y máxima del viento, descartándose aquellos registros que no cumplieron con dichos criterios (Tabla 1). Finalmente, se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson entre variables con dependencia física directa, con el propósito de verificar la coherencia estadística de los datos y

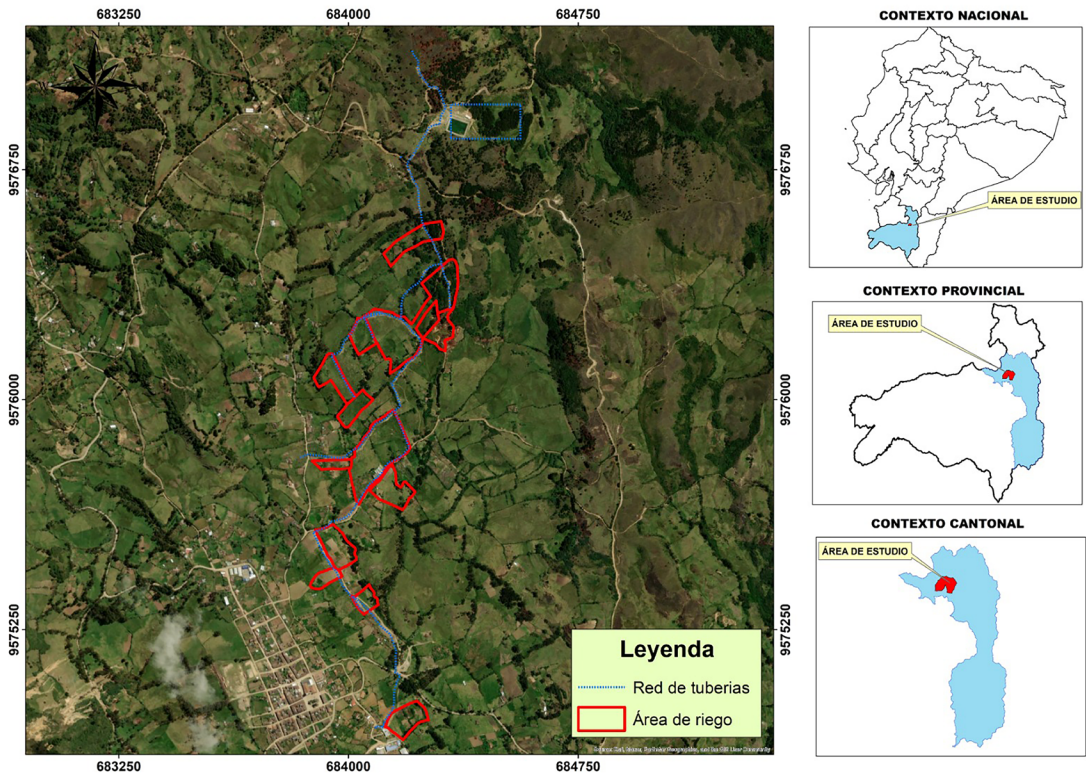


Figura 1. Ubicación del sistema de riego Aguarongo–Zañe.
Figure 1. Location of the Aguarongo–Zañe irrigation system.

Tabla 1. Variables para el control de consistencia de variables meteorológicas.
Table 1. Variables for checking the consistency of meteorological variables.

Control de consistencia*	T _{max}	T _{min}	T _{med}	Td	V _{max.d}	V _{max.f}	V _{med}
Tmin (día i) < Tmed (día i) < Tmax (día i)	X	X	X				
Tmed = (Tmax + Tmin)/2	X	X	X				
Vmed ≤ Vmax						X	X

* **Tmax**: Temperatura máxima diaria, **Tmin**: Temperatura mínima diaria, **Tmed**: Temperatura media diaria, **Td**: Temperatura de rocío, **Vmax.d**: Dirección del viento máximo diario, **Vmax.f**: Velocidad del viento máxima diario, **Vmed**: Velocidad media del viento.
* **Tmax**: Daily maximum temperature, **Tmin**: Daily minimum temperature, **Tmed**: Daily average temperature, **Td**: Dew point, **Vmax.d**: Direction of the daily maximum wind, **Vmax.f**: Speed of the daily maximum wind, **Vmed**: Average wind speed.

Fuente: Adaptado de Veiga et al., (2014)
Source: Adapted from Veiga et al., (2014)

garantizar la fiabilidad de la información empleada en los análisis posteriores.

2.3. Evapotranspiración de referencia y del cultivo

La evapotranspiración de referencia [ET_o] fue estimada mediante el método de Penman-Monteith, considerando su capacidad para integrar de manera conjunta las principales variables meteorológicas que controlan la demanda evaporativa del sistema suelo-planta-atmósfera. A partir de estos valores, la evapotranspiración del cultivo [ET_c] se calculó empleando la metodología establecida en la guía de la FAO (ecuación [1]), conforme a lo propuesto por Allen et al., (2006), lo que permitió obtener estimaciones ajustadas a las condiciones agroclimáticas del área de estudio.

$$ET_c = ET_o * k_c \quad [1]$$

2.4. Coeficiente de cultivo [K_c]

El coeficiente de cultivo [K_c] se establece en función de la metodología propuesta por la FAO, según lo descrito por Allen et al., (2006), considerando las características propias de las variedades de papa nativa de ciclo precoz, conforme a lo expresado en la ecuación [2].

$$K_c = \frac{ET_o}{ET_c} \quad [2]$$

La definición de las etapas fenológicas del cultivo se fundamentó en el estudio desarrollado por Zamata-Quispe (2019), en el cual se establece una duración total del ciclo productivo de 105 días, organizada en cuatro fases fenológicas claramente diferenciadas, conforme a lo descrito en la Tabla 2.

2.5. Precipitación efectiva

Para la estimación de la precipitación efectiva [Pe] se emplearon los registros de precipitación obtenidos

directamente de la estación meteorológica automática instalada en el área de estudio, lo que asegura la representatividad espacial de la información climática utilizada. Sobre esta base, el cálculo se efectuó mediante el método propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, siglas en inglés) ecuación [3], conforme a lo señalado por Vargas y Escobar (2018), el cual permite cuantificar la fracción de la precipitación total que resulta efectivamente aprovechable por el cultivo.

$$P_{efectiva} = \frac{P_{Total} (125 - 0.2 P_{Total})}{125} \text{ para } P_{total} < 250 \text{ mm/mes} \quad [3]$$

$$P_{efectiva} = 125 + 0.1 P_{Total} \text{ para } P_{total} < 250 \text{ mm/mes}$$

2.6. Necesidades de riego

El cálculo de las necesidades de riego se realizó para dos periodos de cultivo de mayo-agosto y septiembre-diciembre mediante la ecuación [4], propuesta por Fuentes (2002), detallada a continuación:

$$\text{Requerimiento de riego} = ET_c - Pe \quad [4]$$

Donde, Pe : precipitación efectiva (mm mes^{-1}), ET_c : evapotranspiración del cultivo (mm mes^{-1}).

3. Resultados

3.1. Evaluación de la consistencia de los datos de la estación meteorológica automática

3.1.1. Consistencia entre temperatura mínima, media y máxima diarias

En la Tabla 3 se indica que no se encontraron datos dudosos en el análisis de consistencia interna entre temperaturas diarias. De la misma manera, el análisis de correlación muestra alta coherencia reforzando así la calidad de datos registrados.

Tabla 2. Etapas fenológicas para la papa nativa.
Table 2. Phenological stages for native potatoes.

Fase	Días
Fase inicial	25
Fase desarrollo	30
Fase floración	30
Fase tuberización	20
Total	105

Fuente: (Zamata-Quispe, 2019)

Source: (Zamata-Quispe, 2019)

3.1.2. Consistencia de la velocidad máxima, media y mínima del viento

El análisis de consistencia en la velocidad máxima, media y mínima del viento dio como resultados ausencia de datos dudosos. De igual manera, también se realizó un análisis de correlación entre las variables de velocidad del viento descritas en la Tabla 4, cuyo coeficiente de correlación es extremadamente confiable.

3.2. Determinación de la evapotranspiración y las necesidades de riego para el cultivo de papa en Chuquiribamba

3.2.1 Evapotranspiración potencial [ET_o]

La evapotranspiración de referencia mensual [ET_o],

estimada mediante el método de Penman-Monteith, presentó valores comprendidos entre 2,22 mm día⁻¹ y 3,00 mm día⁻¹, con el mínimo registrado en junio y el máximo en octubre. En contraste, la aplicación del método de Hargreaves modificado arrojó valores inferiores de ET_o, con un rango que varió desde 1,16 mm día⁻¹ hasta 1,64 mm día⁻¹ para los mismos meses. La diferencia observada entre ambos métodos se asocia a la capacidad del enfoque de Penman-Monteith para integrar un mayor número de variables meteorológicas en su formulación, lo que permite representar con mayor precisión las condiciones atmosféricas predominantes en la zona de estudio, donde la presencia de vientos intensos favorece el transporte de vapor de agua y, en consecuencia, incrementa las tasas estimadas de evapotranspiración, tal como se aprecia en la Figura 2.

Tabla 3. Coeficiente de correlación de Pearson entre temperaturas.
Table 3. Pearson correlation coefficient between temperatures.

Variables	Coeficiente de correlación	Interpretación
Tmín – Tmed.	0,99	Muy alta
Tmín – Tmáx.	0,99	Muy alta
Tmed – Tmáx.	0,99	Muy alta

Tabla 4. Coeficiente de correlación de Pearson entre velocidad del viento.
Table 4. Pearson correlation coefficient between wind speed.

Variables	Coeficiente de correlación	Interpretación
V min – V med	0,98	Muy alta
V min – V máx.	0,97	Muy alta
V med - V máx.	0,99	Muy alta

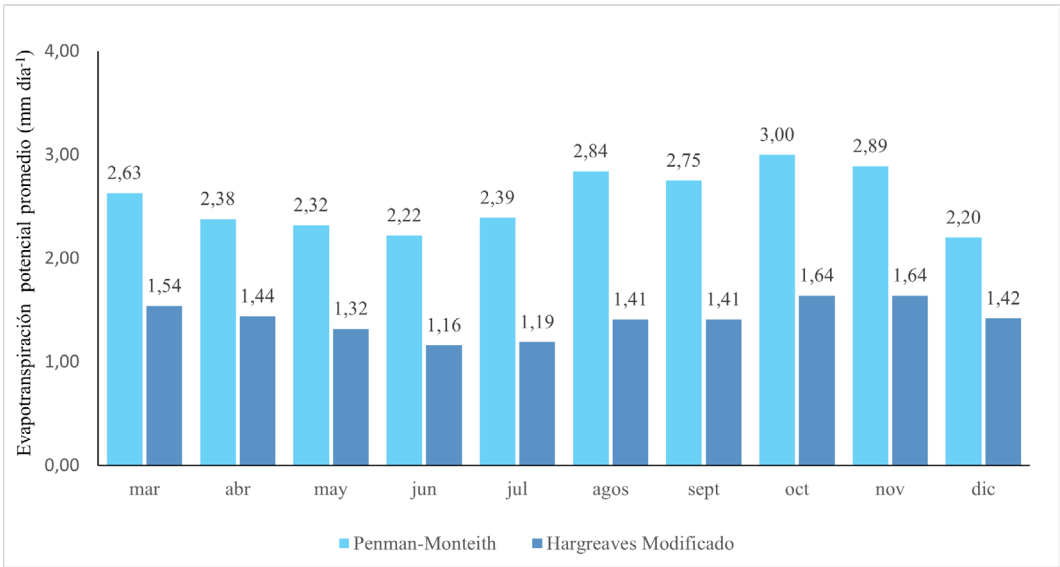


Figura 2. Evapotranspiración potencial promedio en mm día⁻¹.
Figure 2. Average potential evapotranspiration in mm day⁻¹.

3.2.2. Coeficiente de cultivo

La Figura 3 muestra la variación del K_c para papa nativa de ciclo precoz, calculado a partir de la ET_0 estimada mediante el método de Penman-Monteith, evidenciando un comportamiento asociado a las etapas fenológicas del cultivo. En la fase inicial, el K_c presenta valores cercanos a 0,45, los cuales se incrementan progresivamente durante el desarrollo vegetativo hasta alcanzar aproximadamente 0,75, como resultado del aumento de la cobertura foliar y de la actividad fisiológica de la planta. El valor máximo del coeficiente se registra durante la fase de floración y

formación del tubérculo, con un K_c cercano a 1,15, asociado a una mayor demanda hídrica derivada de los procesos de crecimiento y llenado del tubérculo. Posteriormente, el K_c disminuye hasta valores próximos a 0,85, comportamiento relacionado con la senescencia foliar y la reducción de la transpiración, lo que refleja una menor exigencia hídrica del cultivo hacia el final del ciclo.

3.2.3. Precipitación efectiva

Los valores promedio de la Pe correspondientes al periodo comprendido entre marzo y diciembre se pre-

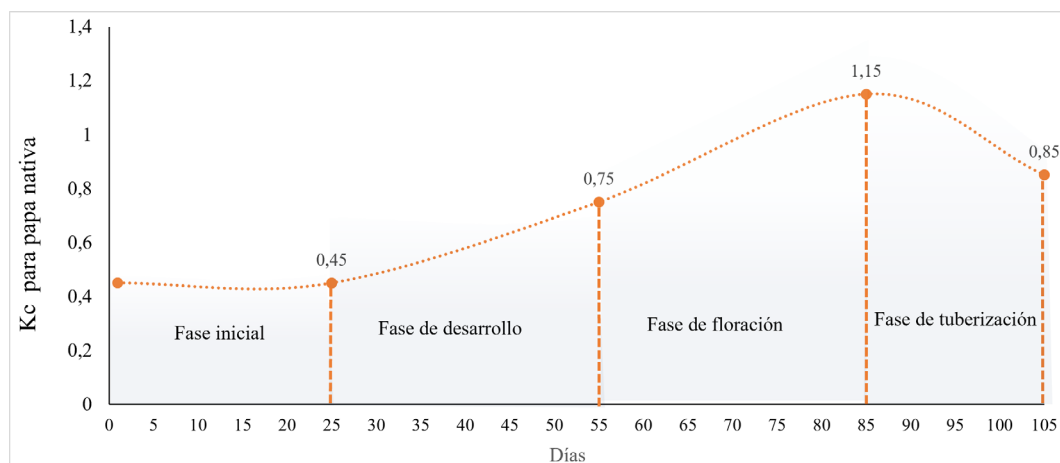


Figura 3. K_c del cultivo de variedades precoces de papa nativa.

Figure 3. K_c for early varieties of native potato.

Fuente: Adaptado de Zamata-Quispe, (2019).

Source: Adapted from Zamata-Quispe, (2019).

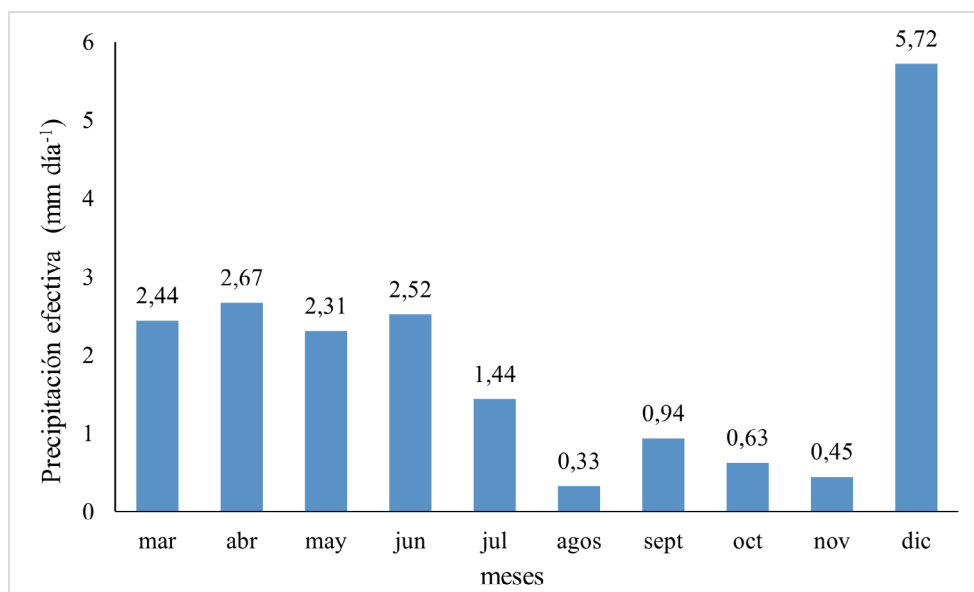


Figura 4. Precipitación efectiva diaria.

Figure 4. Daily effective rainfall.

sentan en la Figura 4, donde se evidencia una marcada variabilidad en su distribución. El mayor aporte hídrico se registra en diciembre, con un valor de 5,72 mm día⁻¹, mientras que el menor corresponde a agosto, con 0,33 mm día⁻¹, lo que refleja una disponibilidad irregular del recurso hídrico a lo largo del ciclo analizado.

3.2.4. Evapotranspiración del cultivo

En la Figura 5 se muestra la dinámica de la ET_c de la papa nativa a lo largo de sus fases fenológicas, comparando dos periodos de siembra correspondientes a mayo–agosto y septiembre–diciembre, donde se evidencia una variación de la demanda hídrica en función del desarrollo fisiológico del cultivo. Durante la fase inicial, los valores promedio de ET_c se mantienen relativamente bajos, con registros de 1,02 mm y 1,27 mm para los periodos mayo–agosto y septiembre–diciembre, respectivamente, reflejando una limitada cobertura vegetal y una menor actividad de transpiración. En la fase de desarrollo, la ET_c presenta un incremento moderado, alcanzando valores promedio de 1,42 mm en el primer periodo y 1,83 mm en el

segundo, asociado al aumento del área foliar y de la actividad metabólica de las plantas.

El mayor requerimiento hídrico se concentra durante la fase media, correspondiente a la floración y llenado de tubérculos, donde la ET_c alcanza promedios de 2,08 mm para el ciclo mayo–agosto y 2,87 mm para el ciclo septiembre–diciembre, evidenciando la mayor exigencia de agua del cultivo en esta etapa. Posteriormente, en la fase final, la ET_c muestra una disminución relativa, con valores promedio de 2,86 mm y 2,21 mm para cada periodo, comportamiento atribuido a la senescencia progresiva del follaje y a la reducción de la transpiración.

3.2.5. Necesidades de riego

Las necesidades de riego estimadas para el cultivo de papa nativa, presentadas en la Figura 6, evidencian un incremento progresivo de la demanda hídrica en función del estado fenológico del cultivo, con diferencias marcadas entre los dos periodos de siembra analizados. En el ciclo mayo–agosto, la necesidad promedio de riego durante la fase inicial se mantiene en valores cercanos a 0,49 mm día⁻¹, incrementándose durante la fase de desarrollo hasta aproximadamente 1,01 mm

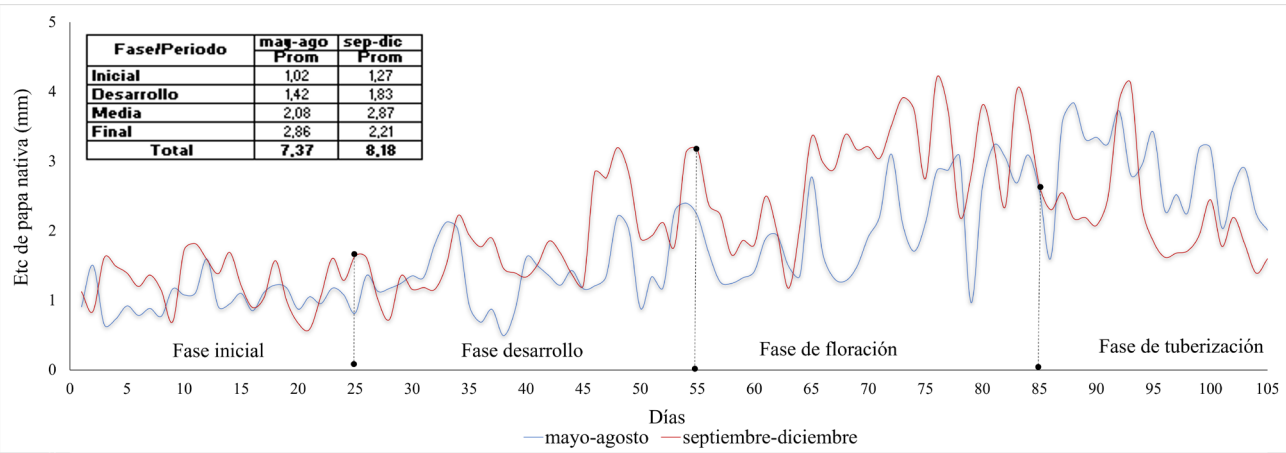


Figura 5. Evapotranspiración del cultivo para variedades precoces de papa nativa.
Figure 5. Crop evapotranspiration for early varieties of native potatoes.

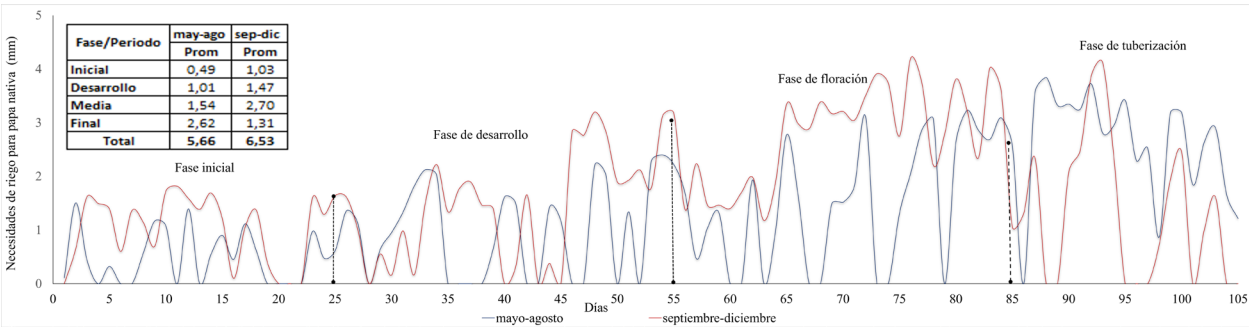


Figura 6. Necesidades de riego para variedades precoces de papa nativa.
Figure 6. Irrigation requirements for early varieties of native potatoes.

día⁻¹, para luego alcanzar valores más elevados en la fase de floración, con un promedio de 1,54 mm día⁻¹, y un máximo de 2,62 mm día⁻¹ durante la fase de tuberización, lo que se traduce en un requerimiento total acumulado máximo de 5,66 mm día⁻¹.

En el periodo septiembre–diciembre, las necesidades de riego muestran valores consistentemente superiores a lo largo de todas las fases fenológicas, iniciando con un promedio de 1,03 mm día⁻¹ en la fase inicial y aumentando hasta 1,47 mm día⁻¹ en la fase de desarrollo, con un requerimiento máximo registrado durante la fase de floración, donde la necesidad promedio alcanza 2,70 mm día⁻¹, seguido de una ligera reducción en la fase de tuberización, con valores cercanos a 1,31 mm día⁻¹. En este periodo el requerimiento de riego acumulado máximo fue de 6,53 mm día⁻¹.

4. Discusión

4.1. Análisis de la consistencia de los datos

El análisis de consistencia interna entre las temperaturas mínima, media y máxima diarias descrito en la Tabla 3, no reveló la presencia de datos dudosos, la correlación observada fue positiva y altamente consistente (0,99) indicando que las temperaturas están estrechamente relacionadas. Esto concuerda con lo señalado por Lalinde et al., (2018), quienes mencionan que un valor cercano a 1,0 indica una correlación positiva muy fuerte, de la misma manera, Zaninelli et al., (2015) afirman que la correlación entre temperaturas está sujeta a la influencia de diversos factores como, la ubicación geográfica, época del año y la variabilidad natural del clima.

La consistencia entre la temperatura media observada y la temperatura media calculada se evaluó mediante el análisis del percentil 0,99, para el cual se obtuvo una diferencia absoluta de 0,08, sin identificarse registros considerados sospechosos dentro del conjunto de datos analizado. Los valores de ambas variables se mantuvieron dentro del rango establecido por la diferencia absoluta determinada, lo que confirma la coherencia interna de la información térmica empleada. De acuerdo con el criterio propuesto por Rusticucci y Barrucand (2003), el percentil 0,99, equivalente al 99,9%, permite verificar la pertenencia de los datos a un conjunto ordenado y homogéneo. Bajo este enfoque, se consideran potencialmente atípicos aquellos valores de temperatura media cuya diferencia absoluta entre las series observada y calculada supera el percentil 0,999 del total de las diferencias diarias, criterio ampliamente adoptado en procesos de

control de calidad de datos meteorológicos (Estévez et al., 2011; Veiga et al., 2014).

El análisis de consistencia de la velocidad del viento media diaria y entre la máxima registrada, no mostró datos dudosos y su correlación fue positiva muy fuerte 0,99, lo que indica que ambas variables mantienen una fuerte relación. Este comportamiento concuerda con lo Estévez et al., (2011) quienes, mencionan que la velocidad del viento media diaria debe ser menor o igual a la máxima observada en el día. Asimismo, Veiga et al., (2014) advierte que cualquier discrepancia puede ser debido a errores en las lecturas del anemómetro o en la transmisión de datos.

4.2. Evapotranspiración y las necesidades de riego

Los valores promedio de ET_0 calculados mediante el método de Penman-Monteith oscilaron entre 2,20 y 3,00 mm día⁻¹, lo que concuerda con estimaciones reportadas en estudios realizados en regiones andinas donde se empleó el mismo método y datos meteorológicos de estaciones automáticas, los cuales evidenciaron rangos similares de ET_0 cuando se consideraron variables climáticas completas para su cálculo (Vásquez et al., 2022; Córdova et al., 2015). Este comportamiento es consistente con evaluaciones en paisajes montañosos que subrayan la robustez del método de Penman-Monteith para estimar la demanda evaporativa en condiciones climáticas diversas, siempre que se disponga de datos meteorológicos de calidad (Córdova et al., 2015; Vásquez et al., 2022). Por el contrario, los valores de ET_0 derivados mediante el método de Hargreaves modificado, con rangos entre 1,16 y 1,64 mm día⁻¹, fueron inferiores a los calculados por Penman-Monteith, lo cual refleja las limitaciones de métodos empíricos que dependen únicamente de datos de temperatura para estimar el requerimiento evaporativo y tienden a subestimar la ET_0 en comparación con métodos que integran múltiples variables climáticas.

Las diferencias observadas entre los valores de evapotranspiración de referencia se explican principalmente por el método de estimación empleado y por las características de la información climática utilizada. En este sentido, Villazón Gómez et al., (2021) y Rosales-Rodríguez et al. (2022) señalan que el método de Penman-Monteith, al integrar un mayor número de variables meteorológicas como radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento y temperatura del aire, proporciona estimaciones más ajustadas de la demanda evaporativa, mientras que el método de Hargreaves, al basarse fundamentalmente en datos de temperatura y radiación extraterrestre, tiende a generar una mayor variabilidad y, en determinados contextos,

tos, una subestimación de los valores de evapotranspiración. De forma complementaria, Delgado-Ramírez et al., (2023), así como Ortiz y Chile A., (2020), indican que la dispersión de los resultados también se asocia a las distintas fuentes de información climática empleadas y a la extensión temporal de los registros analizados, factores que influyen de manera directa en la consistencia y comparabilidad de las estimaciones obtenidas.

Los K_c estimados para las distintas fases fenológicas de la papa nativa muestran un incremento progresivo asociado al desarrollo vegetativo y a la intensificación de los procesos fisiológicos del cultivo, con valores de 0,45 en la fase inicial, 0,75 durante la fase de desarrollo, 1,15 en la fase media y 0,85 en la fase final, lo que evidencia una mayor exigencia hídrica conforme aumenta la cobertura foliar y la transpiración. Estos resultados presentan una estrecha concordancia con los valores reportados por Zamata-Quispe et al., (2019), quienes, mediante el uso de tensiómetros y sensores Watermark en cultivos de papa nativa con un ciclo vegetativo de duración similar, obtuvieron coeficientes de cultivo comprendidos entre 0,41 y 0,50 para la fase inicial, 0,60 y 0,66 para la fase de desarrollo, 1,12 y 1,18 durante la fase de floración, y 0,79 y 0,81 en la fase de tuberización, lo que confirma la consistencia de los patrones observados cuando se emplean metodologías instrumentales de campo para estimar la demanda hídrica del cultivo. La similitud entre los valores obtenidos en este estudio y aquellos reportados en regiones altoandinas del Perú se explica por la correspondencia de las condiciones agroclimáticas predominantes, caracterizadas por altitudes elevadas, temperaturas moderadas y una marcada variabilidad hídrica, factores que influyen de manera directa en la dinámica de la evapotranspiración y en el desarrollo fenológico del cultivo.

La ET_c total fue determinada para un ciclo de cultivo para variedades de papa nativa precoces adaptadas a un ciclo de cultivo de 105 días cuyo resultado en el primer periodo de siembra (mayo-agosto) fue de 183,06 mm y en el segundo (septiembre-diciembre) de 259,04 mm. Estos estudios difieren con Rojas (2018) quien estimó una ET_c superior de 487,45 mm ciclo⁻¹ en el Perú, igualmente López-Olivari et al., (2022), obtuvo valores similares entre 370 a 390 mm ciclo⁻¹, en Chile. En la presente investigación se registró un incremento de la ET_c a partir de la fase inicial hasta la fase media. Según Soto-Bravo y Rodríguez-Ocampo, (2021) aluden que este aumento de la evapotranspiración a partir de la fase inicial es debido al crecimiento del cultivo, a medida que los cultivos crecen, su superficie foliar aumenta, lo que tiende a incrementar la cantidad de agua que se evapora y transpira. Desde

el punto de vista de, López-Olivari et al., (2022) los factores propios de cada zona como la temperatura, la humedad, radiación y la variedad de cultivo influye directamente en la determinación de la ET_c .

Los requerimientos de riego estimados para el cultivo de papa nativa en el área de estudio se ubicaron entre 141,17 mm y 177,73 mm por ciclo de cultivo, correspondientes a los periodos mayo-agosto y septiembre-diciembre, respectivamente, valores que reflejan una demanda hídrica asociada a las condiciones agroclimáticas locales y a las características fenológicas del cultivo. Estas estimaciones resultan inferiores a las reportadas por Pacheco y Pérez (2010), quienes señalan que en climas tropicales se requieren alrededor de 273 mm de agua para alcanzar un desarrollo y rendimiento óptimos del cultivo de papa, diferencia que puede atribuirse a las particularidades térmicas, altitudinales y pluviométricas propias de cada región. De manera similar, Velásquez et al., (2022) indican que, en zonas interandinas del Ecuador, localizadas alrededor de los 3.000 m s.n.m., el cultivo de papa puede demandar entre 600 y 700 mm de agua distribuidos de manera uniforme a lo largo del ciclo vegetativo, mientras que, Araujo Jaramillo et al., (2021) reportan requerimientos aún más elevados, comprendidos entre 450 y 900 mm desde la siembra hasta la cosecha en sistemas productivos de la sierra ecuatoriana. Estas diferencias confirman que los requerimientos hídricos del cultivo responden de manera directa a la interacción entre el régimen climático, la altitud, la duración del ciclo fenológico y el tipo de material vegetal empleado, lo que explica la variabilidad observada en distintos contextos agroecológicos.

5. Conclusiones

El control de consistencia de los datos meteorológicos permite disponer de información confiable para la estimación precisa de las necesidades hídricas del cultivo, aspecto clave para mejorar la gestión del riego en zonas con topografía irregular, donde la variabilidad espacial de las condiciones climáticas puede afectar la eficiencia del uso del agua.

La variación de la evapotranspiración del cultivo a lo largo de las fases fenológicas evidencia la necesidad de programar el riego de forma diferenciada según el desarrollo del cultivo, lo que contribuye a reducir pérdidas por escorrentía y percolación en terrenos con pendiente, optimizando la aplicación del recurso hídrico.

La implementación de estrategias de riego basadas en datos climáticos locales y en requerimientos hídricos ajustados a las condiciones reales del cultivo

constituye una herramienta efectiva para mejorar la eficiencia del riego, fortalecer la sostenibilidad productiva y minimizar los efectos limitantes de la topo-

grafía adversa en sistemas agrícolas de zonas altoandinas.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Loja, en especial a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y a la Carrera de Ingeniería Agrícola, por el respaldo brindado para la realización de este estudio. Se reconoce el aporte de instituciones como la UTPL, el INIAP y el Fondo de Financiamiento FIASA, cuyo acompañamiento y recursos contribuyeron significativamente al fortalecimiento del trabajo académico y científico aquí presentado.

Financiamiento

El presente estudio fue financiado por el Fondo de Financiamiento para la Investigación y Desarrollo de la Agrobiodiversidad en Ecuador y en Latinoamérica, la Universidad Nacional de Loja, la Universidad Técnica Particular de Loja, y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, bajo resolución FIASA-CA-2023-012.

Contribuciones de los autores:

- Jorge Luis Jaramillo Condolo: conceptualización, metodología, análisis formal, investigación, supervisión, redacción — borrador original, redacción — revisión y edición.
- Jimmy Javier Cordero Jiménez: conceptualización, análisis formal, visualización de resultados, redacción — revisión y edición.
- Narcisa de Jesús Urgiles Gómez: adquisición de fondos, administración del proyecto, supervisión, redacción — revisión y edición.
- Juan Francisco Sacapi Lareategui: investigación, curación de datos, análisis formal.
- Gabriela Natali Abad Calva: investigación, metodología, visualización de resultados, redacción — borrador original, redacción — revisión y edición.

Disponibilidad de datos

Los datos estarán disponibles previa solicitud.

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial

Los autores declaran que no se ha utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del manuscrito.

Implicaciones éticas

Los autores declaran que durante la interacción con los agricultores no se tuvieron conflictos o situaciones de interés ético, toda vez, que los participantes lo hicieron bajo su propia voluntad y no se recolectaron datos personales. Las conversa-

ciones se centraron sobre la importancia de la conservación de papas nativas de su territorio.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podría haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Referencias

- Abbade, E., Basso, L., Mota, C., y Paulsen, S. (2024). *Recursos hídricos*. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). <https://doi.org/10.38116/9786556350752cap3>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo - Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/x0490s>
- Araujo Jaramillo, M. A., Cartagena Ayala, Y. E., Castillo C., C., Cuesta, H. X., Monteros, J. C., Paula, N., Racines Jaramillo, M. R., Rivadeneira Ruales, J. E., Velásquez Carrera, J. S., León Ruiz, J., Panchi, N., y Andrade Piedra, J. L. (2021). *Manual del cultivo de papa para pequeños productores* (3ª ed.). INIAP-EESC. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5672>
- Ayala, M. F., Carrera-Villacrés, D., y Tierra, A. (2017). Relación espacio-temporal entre estaciones utilizadas para el relleno de datos de precipitación en Chone, Ecuador. *Revista Geográfica Venezolana*, 59(2), 298-313. <http://bdigital2.ula.ve:8080/xmlui/handle/654321/1502>
- Banco Mundial. (2017). *El riego tecnificado, una opción que mejora la calidad de vida de los pequeños y medianos agricultores en Ecuador*. Banco Mundial. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2017/05/04/riego-tecnificado-ecuador>
- Barona-Posligua, H. D., Àllo-Morillo, G. J., y Ponce-Jara, M. A. (2022). Estación meteorológica automática y medición de variables atmosféricas. *Revista Científica FINIBUS - Ingeniería, Industria y Arquitectura*, 5(9), 2-8. <https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/finibus/article/view/420>
- Becerra-Perenguez, D. Y., Acosta-Astaiza, C. P., y Leyton-Luna, J. (2024). Gestión del recurso hídrico en la ruralidad, mediante estrategias de fortalecimiento comunitario. *Entramado*, 20(1), 1-16. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.10054>
- Chamba-Ontaneda, M. (2021). Caracterización agrosocioeconómica y biofísica del área de influencia del sistema de riego Aguaronzo - Zañe (Loja - Ecuador). *CEDAMAZ*, 11(2), 87-92. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v11i2.1175>
- Córdova, M., Carrillo-Rojas, G., Crespo, P., Wilcox, B., y Céleri, R. (2015). Evaluation of the Penman-Monteith (FAO 56 PM) method for calculating reference evapotranspiration using limited data. *Mountain Research and Development*, 35(3), 230-239. <https://doi.org/10.1659/>

MRD-JOURNAL-D-14-0024.1

- Cuesta, X., Monteros, C., Racines, M., y Rivadeneira, J. (2022). *Catálogo de variedades de papa del Ecuador* (2ª ed.). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). <https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/67a96ddc-b96e-43c9-b759-d6cc45dc60b7/content>
- Delgado-Ramírez, G., Bolaños-González, M., Quevedo-Nolasco, A., López-Pérez, A., y Estrada-Ávalos, J. (2023). Estimation of reference evapotranspiration in a semi-arid region of Mexico. *Sensors*, 23(15), 7007. <https://doi.org/10.3390/s23157007>
- Espinoza, S., Montesdeoca, L., Vásquez, P., Pallo, E., Acosta, M., Quishpe, C., López, J., Monteros, C., Haro, F., Yumisaca, F., y Andrade-Piedra, J. (2011). *Papas nativas de colores: un negocio con responsabilidad social*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. <https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/ecefaad9-e8ce-48b2-bdbd-28d5b0f8fb9b/content>
- Estévez, J., Gavilán, P., y Giráldez, J. V. (2011). Guidelines on validation procedures for meteorological data from automatic weather stations. *Journal of Hydrology*, 402(1), 144-154. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.02.031>
- Fuentes, J. (2002). *Curso de riego para regantes* (1ª ed.). Ediciones Mundi-Prensa. https://catalogo.utc.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=7658&shelfbrowse_itemnumber=8754#shelfbrowser
- Jägermeyr, J., Gerten, D., Schaphoff, S., Heinke, J., Lucht, W., y Rockström, J. (2016). Integrated crop water management might sustainably halve the global food gap. *Environmental Research Letters*, 11(2), 025002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/025002>
- Lalinde, J. D. H., Castro, F. E., Rodríguez, J. E., Rangel, J. G. C., Sierra, C. A. T., Torrado, M. K. A., Sierra, S. M. C., y Pirela, V. J. B. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: Definición, propiedades y suposiciones. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 37(5), 587-595. https://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_aavft/article/view/16165
- Li, S., Kupriyanovich, Y., Wagg, C., Zheng, F., y Hann, S. (2023). Water deficit duration affects potato plant growth, yield and tuber quality. *Agriculture*, 13(10), 10. <https://doi.org/10.3390/agriculture13102007>
- López-Olivari, R., Mora Sanhueza, R., Meier Romero, S., y Méndez Leal, P. (2022). Requerimientos hídricos de la papa consumo para la zona sur de Chile. *Revista Papa*, 34(11), 14-17. <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/14073ff0-3b9d-4571-a35b-7da1174d4150/content>
- Ma, Y. Z., Pan, N., Su, W., Zhang, F. J., Ye, G. J., Pu, X. Q., Zhou, Y., y Wang, J. (2024). Soil water stress effects on potato tuber starch quality formation. *Potato Research*, 67(4), 1829-1848. <https://doi.org/10.1007/s11540-024-09720-5>
- Meek, D. W., y Hatfield, J. L. (1994). Data quality checking for single station meteorological databases. *Agricultural and Forest Meteorology*, 69(1), 85-109. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(94\)90083-3](https://doi.org/10.1016/0168-1923(94)90083-3)
- Monteros, C., Cuesta, X., Jiménez, J., y López, G. (eds.). (2005). *Las papas nativas en el Ecuador. Estudios cualitativos sobre oferta y demanda* (1ª ed.). INIAP. <https://repositorio.iniap.gob.ec/items/b7ed41e6-e863-40ec-b802-a647ea3c3c4a>
- Monteros, C., Yumisaca Jiménez, S. F., Andrade-Piedra, J., y Reinoso R., I. A. (2010). *Cultivares de papas nativas de la Sierra Centro y Norte del Ecuador: Catálogo etnobotánico, morfológico, agronómico y de calidad*. INIAP/CIP. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3224>
- Nieto, C., Pazmiño, E., Shubert, R., y Quishpe, B. (2018). Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana. *Siembra*, 5(1), 51-70. <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1427>
- Ortiz, R. S., y Chile A., M. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. *Siembra*, 7(1), 070-079. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1450>
- Pacheco, J., y Pérez, A. (2010). Evaluación del manejo del riego de la papa en la Empresa de Cultivos Varios “Valle del Yabú”, Santa Clara, Cuba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3), 47-52. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/161>
- Pallo, E. L., Guapi Auquilla, A. P., y Mullo Paucar, M. V. (2021). Agrobiodiversidad de papa nativa en la provincia de Tungurahua. *Siembra*, 8(1), e2273. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.2273>
- Pérez, E., Rafael-Rutte, R., y Osorio, G., (2024). Estrés hídrico en el crecimiento y rendimiento de cultivares comerciales de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la región centro del Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 26(1), 46-55. <https://doi.org/10.18271/ria.2024.587>
- Rojas, R. A. (2018). Análisis de información satelital y mediciones in-situ en el modelamiento de la evapotranspiración en cultivos andinos—Ayacucho 2017. *Investigación*, 26(1), 21-28. <https://doi.org/10.51440/unsch.revistainvestigacion.2018.1.54>
- Rosa, L., Chiarelli, D. D., Rulli, M. C., Dell’Angelo, J., y D’Odorico, P. (2020). Global agricultural economic water scarcity. *Science Advances*, 6(18), eaaz6031. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz6031>
- Rosales-Rodríguez, O. A., Alfonso-Valdés, J. E., Santana-Amar, I., Socorro-García, A., y Duarte-Díaz, C. E. (2022). Comparación de métodos de estimación de la evapotranspiración del cultivo del tomate en casas de cultivo. *Ingeniería Agrícola*, 12(2), 20-27. <https://revistas.unah.edu.cu/index.php/IAgric/article/view/1577>
- Rusticucci M., y Barrucand, M. G. (2003). Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. Consistencia de datos. *Meteorologica*, 26, 69-83. <https://bicyt.conicet.gov.ar/fichas/produccion/en/6043307>
- Sánchez Palacios, L. E., Martínez Alcivar, F. R., Torres Sánchez, S. T., Lascano Montes, A. C., y Terán Guajala, G. N. (2024). Agricultura de Precisión en El Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 1532-1542. https://doi.org/10.37811/cl_rem.v8i1.9547
- Shafer, M. A., Fiebrich, C. A., Arndt, D. S., Fredrickson, S. E., y Hughes, T. W. (2000). Quality assurance procedures in the Oklahoma Mesonet. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 17(4), 474-494. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2000\)017<0474:QAPITO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2000)017<0474:QAPITO>2.0.CO;2)
- Shrestha, B., Darapuneni, M., Stringam, B. L., Lombard, K., y Djaman, K. (2023). Irrigation water and nitrogen fertilizer management in potato (*Solanum tuberosum* L.): A Review. *Agronomy*, 13(10), 2566. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102566>
- Shrestha, B., Stringam, B. L., Darapuneni, M. K., Lombard, K. A., Sanogo, S., Higgins, C., y Djaman, K. (2024). Effect

- of irrigation and nitrogen management on potato growth, yield, and water and nitrogen use efficiencies. *Agronomy*, 14(3), 560. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030560>
- Soto-Bravo, F., y Rodríguez-Ocampo, G. A. (2021). Crecimiento, evapotranspiración y uso de nutrientes en cultivo hidropónico de *Eryngium foetidum*, en dos diferentes ambientes y niveles de nutrición. *Agronomía Costarricense*, 45(1), 19–40. <https://hdl.handle.net/10669/82767>
- Trebejo, I., y Midmore, D. J. (2009). Effect of water stress on potato growth, yield and water use in a hot and a cool tropical climate. *The Journal of Agricultural Science*, 114(3), 321–334. <https://doi.org/10.1017/S0021859600072713>
- Valderrama, M. D., Vásquez, V. D., León, E. L., Vásquez, V. D., y León, E. L. (2021). Cambios en patrones de precipitación y temperatura en el Ecuador, región costa. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 8, 25. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2609>
- Vargas, J. G., y Escobar, N. (2018). Cálculo de la precipitación efectiva a través del modelo cropwat bajo condiciones de Los Llanos Occidentales Venezolanos. ¿Cuál método utilizar?. *Revista Unellez de Ciencia y Tecnología*, 36, 8–16. <http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/ruct/article/view/1391>
- Vásquez, C., Céleri, R., Córdova, M., y Carrillo-Rojas, G. (2022). Improving reference evapotranspiration (ET_o) calculation under limited data conditions in the high Tropical Andes. *Agricultural Water Management*, 262, 107439. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107439>
- Veiga, H., Skansi, M., y Herrera, N. (2014). *Control de calidad de la Base de Datos del Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur*. Centro Regional del Clima para el Sur de Sudamérica. https://www.crc-sas.org/es/pdf/Reporte_CRC-SAS_FINAL_calidad_7jul23.pdf
- Velásquez, J. S., Araujo, M. A., Andrade, V., Rivadeneira, J. E., Cuesta, H. X., Racines, M. R., y Tinoco, K. I. (2022). *Manual de producción de tubérculo-semilla de papa* (2ª ed.). Manual n° 124. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/6124>
- Villazón Gómez, J. A., Noris Noris, P., Vázquez Montenegro, R. J., Martín Gutiérrez, G., y Cobo Vidal, Y. (2021). Comparison of empiric methods for the estimation of the reference evapotranspiration on Holguín, Cuba. *Idesia (Arica)*, 39(3), 103–109. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000300103>
- Yuan, B.-Z., Nishiyama, S., y Kang, Y. (2003). Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato. *Agricultural Water Management*, 63(3), 153–167. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00174-4](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00174-4)
- Zamata-Quispe, C. (2019). *Determinación del coeficiente de cultivo (kc) de la papa (Solanum tuberosum) variedad Unica utilizando lisímetro de drenaje en La Molina*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4309>
- Zaninelli, P. G., Menéndez, C. G., y Carril, A. F. (2015). Explorando Temperaturas Máximas y Mínimas en diferentes reanálisis. Parte 2: Variabilidad en diferentes escalas temporales. *Meteorologica*, 40(1), 59–76. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850-468X2015000100004&script=sci_arttext