Determination of consumptive use coefficients in Solanum tuberosum, the lysimetric method

Juan Quispe Rodríguez, Uriel Rigoberto Quispe Quezada, Rene Antonio Hinojosa Benavides, José Antonio Quispe Medrano

▶ **To cite this version:**

Juan Quispe Rodríguez, Uriel Rigoberto Quispe Quezada, Rene Antonio Hinojosa Benavides, José Antonio Quispe Medrano. Determination of consumptive use coefficients in Solanum tuberosum, the lysimetric method. Puriq, inPress, 2 (3), 10.37073/puriq.2.3.88 . halshs-02956935

HAL Id: halshs-02956935
https://shs.hal.science/halshs-02956935

Submitted on 4 Oct 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

https://doi.org/10.37073/puriq.2.3.88

Determinación de coeficientes de uso consuntivo en Solanum tuberosum, método del lisímetro

Determination of consumptive use coefficients in Solanum tuberosum, the lysimetric method

Juan Quispe Rodríguez
Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Perú
jquispe@unah.edu.pe
https://orcid.org/0000-0003-1767-686X

Uriel Rigoberto Quispe Quezada
Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Perú
uquispe@unah.edu.pe
https://orcid.org/0000-0001-7956-1000

René Antonio Hinojosa Benavides
Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Perú
rhinojosa@unah.edu.pe
https://orcid.org/0000-0002-0452-3162

José Antonio Quispe Medrano
Empresa Xperis Manpower Group, Perú
jhoseph@gmail.com
https://orcid.org/0000-0001-8073-882X

Recibido: 21.05.2020 Aprobado: 17.07.2020

ISSN IMPRESO: 2664-4029
ISSN VIRTUAL: 2707-3602

Resumen

El objetivo fue determinar los coeficientes de uso consuntivo (Kc) para el cultivo de la papa en condiciones del valle del Mantaro, la metodología utilizada fue la del uso de lisímetros volumétricos de cilindro y de concreto armado. Los resultados muestran que los valores de Kc varían de acuerdo a la fenología del cultivo, así a la emergencia el Kc = 0.20 a máxima cobertura el Kc = 1.13 a 1.17 a la cosecha el Kc = 0.65 Se concluye que el uso de lisímetros garantiza precisión y confiabilidad en condiciones de campo y teniendo el mismo cultivo de cobertura.

Palabras clave: Solanum tuberosum, evapotranspiración, consuntivo.

Abstract

The objective was to determine the consumptive use coefficients (Kc) for potato cultivation in conditions of the Mantaro Valley, the methodology used was the use of cylinder volumetric lysimeters and reinforced concrete. The results show that the Kc values vary according to the phenology of the crop, thus at emergence the Kc = 0.20 at maximum coverage the Kc = 1.13 to 1.17 at harvest the Kc = 0.65 It is concluded that the use of lysimeters guarantees precision and reliability in field conditions and having the same cover crop.

Keywords: Solanum tuberosum, evapotranspiration, consumptive.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución - NonCommercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

Introducción

La papa, tubérculo de reconocida importancia en la alimentación mundial, está siendo afectado en su rendimiento, principalmente por la deficiencia en manejo del agua de riego, siendo este último un recurso socioeconómico escaso, puesto que hay una creciente demanda de agua para fines tanto domésticos como industriales, amenazando la sostenibilidad de las aguas subterráneas y afectando la agricultura, la silvicultura, la industria y el agua potable, motivo por el cual es esencial que los

recursos hídricos sean gestionados de manera estratégica y sostenible (Gabriel, 2017). La disponibilidad del agua para la agricultura está disminuyendo rápidamente, lo que impone una utilización más eficiente de este recurso, y para lograr el incremento de la productividad del agua es imprescindible el estudio de las funciones agua-rendimiento (González, Herrera, López y Cid, 2011).

Los requerimientos hídricos del cultivo de la papa varían entre 1000-1200 mm, bien distribuida durante el ciclo del cultivo, habiendo mayor demanda en las etapas de germinación y crecimiento, pudiendo disminuir el rendimiento considerablemente si esta deficiencia ocurre en estas etapas iniciales por lo que es necesario efectuar riego del cultivo en los períodos más críticos, cuando no se presenta precipitación, mientras que las etapas finales del desarrollo del cultivo son las más susceptibles al déficit hídrico; y no tolera la sequía por períodos largos (Olivares y Hernández, 2019); por otra parte, Cleves, Toro y Martínez (2016) se expresan sobre los balances hídricos en modelos de simulación agroclimáticos, indicando que el parámetro coeficiente de uso consuntivo (Kc), resume los requerimientos de agua de la especie de referencia de acuerdo con las condiciones climáticas locales, por lo que la influencia de los fenómenos del Niño y la Niña sobre la productividad agropecuaria se calcula a partir del análisis de las alteraciones en los requerimientos de agua de las especies, teniendo en cuenta los cambios de temperatura, humedad del aire, radiación solar y viento, calculadas a través de la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) y vinculadas con la oferta de lluvias que satisfagan los requerimientos de las especies a través de los balances hídricos agrícolas.

Salazar (1979, citado por Tarazona, 2017) define al coeficiente de uso consuntivo Kc de un cultivo como la relación entre la llamada demanda de agua de este cultivo (mantenimiento a niveles óptimos de agua) y la demanda del cultivo de referencia. (Ver ecuación 01)

Kc=ETc/ETo (Ecuación 01)

Donde:

ETc: Evapotranspiración Real del cultivo bajo consideración.

ETo: Evapotranspiración del cultivo de referencia.

ISSN IMPRESO: 2664-4029
ISSN VIRTUAL: 2707-3602

Kc: Coeficiente de uso consuntivo.

Santa Olalla y Valero (1993, citados por González et al. 2011) definieron a la evapotranspiración como el parámetro hídrico que se puede asociar más directamente con la producción en el campo, el volumen de agua aplicada mediante el riego es la variable independiente de mayor interés para los ingenieros, regantes y economistas agrarios, posteriormente Lazo (2006, citado por Tarazona 2017) señaló que la evapotranspiración es también conocida como uso consuntivo de los cultivos.

LeRoy (1980, citado por Solís 2016) definió el coeficiente de uso consuntivo (Kc) de un cultivo como la relación entre la demanda de agua del cultivo mantenido a niveles óptimos (ETA) y la demanda del cultivo de referencia (ETP). (Ver ecuación 02)

Kc=ETA/ETP (Ecuación 02)

Donde:

Kc: Coeficiente de uso consuntivo.

ETA: Es la evapotranspiración potencial del cultivo.

ETP: Es la evapotranspiración potencial del cultivo en referencia.

El uso consuntivo puede definirse como la cantidad de agua que consumen las plantas para germinar, crecer y producir económicamente, y cuantitativamente es un concepto equivalente al de evapotranspiración. Los principales componentes del uso consuntivo del agua son la transpiración y la evaporación (Garay, 2011).

Con respecto a la evapotranspiración actual o real (ETc), Hargreaves (1975 citado por Vilca 2018) manifiesta que la evapotranspiración real, es el uso potencial del agua bajo condiciones favorables y es equivalente a ET (cultivo), por los cultivos agrícolas, incluyendo la evaporación directa de la humedad del suelo y de las plantas húmedas por las hojas; mientras que García (1992 citado por Vilca 2018), menciona que la evapotranspiración actual o real ocurre desde superficies húmedas con vegetación, considerando la evaporación desde suelos húmedos y la transpiración a través de las plantas.

Carmenza, Saldarriaga y Jaramillo (2010) mencionan que las necesidades de riego, referidas a la cantidad de agua y al momento de su aplicación, a fin de compensar

el déficit de humedad del suelo durante un periodo vegetativo, se determinan utilizando la evapotranspiración del cultivo en consideración (ETc.) menos el agua aportada por las precipitaciones. Cuando la precipitación efectiva es mayor que las necesidades de riego, la demanda o riego bruto es igual a cero (0). En caso contrario, cuando la precipitación efectiva es menor al uso consuntivo del cultivo, la demanda se define por la diferencia entre la ETc. y el agua que se aporta por precipitación.

La Organización para la Alimentación y Agricultura (FAO, 2011a), manifiesta que el conocimiento del requerimiento hídrico de los cultivos es de gran importancia para la planificación de cultivos y programación de riegos, así como de la operación de los proyectos de riego, tanto a nivel nacional y mundial, puesto que el uso del agua (captación y consumo) por los diferentes sectores se basa generalmente en estimaciones y no en medidas reales, donde la agricultura representa aproximadamente el 70% de la captación total de agua dulce a nivel mundial; un año después la Steduto, Hsiao, Fereres y Raes (2012) mencionó que, para el cultivo de la papa se requiere de 0,35 a 0,8 m^3 de agua para producir 1 kg de materia seca, en condiciones de campo; esto se traduce en requerimientos hídricos de 350 a 650 mm durante el período de crecimiento, dependiendo del clima y de la variedad. La productividad del agua para rendimiento de tubérculos frescos (WPfresh Y/ET), que contengan cerca de 75% de humedad, es de 4 a 11 kg/m^3; de tal manera que, en condiciones de suministro hídrico limitado, el suministro disponible, preferencialmente, debería centrarse en maximizar el rendimiento por hectárea en lugar de repartir el agua limitada en un área más grande, así se puede ahorrar agua, principalmente, a través de un calendario mejorado de riego.

Servín, Gutiérrez, Ramírez y Galindo (2018) aseveraron en su estudio sobre modelos para programación de riego en avena para forraje, que la relación de rendimiento de forraje y eficiencia del uso del agua se describe mediante un modelo cuadrático con respecto de la cantidad de agua de riego aplicada. Garay (2011) manifestó que, en la zona de sierra o zona andina, no existe información de ETP útil para la planificación agrícola, balances hídricos, demanda de agua de los cultivos, programa de riego y eficiencia de riego.

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2012) indica que

ISSN IMPRESO: 2664-4029
ISSN VIRTUAL: 2707-3602

el Perú cuenta con 7 125 007 has. cultivables, de las cuales 4 545 107.9 has. son áreas en secano (62.8%) y 2 579 899.9 has. son áreas bajo riego (36.2%) de las cuales el 51% del área total se encuentran en la zona de sierra. Tomando en consideración toda esta información, es que se planifica las estrategias para realizar con éxito una doble campaña de producción sobre todo en la zona andina del Perú. Frente a esta situación y considerando que en la sierra peruana se viene ejecutando programas y proyectos de ampliación de la frontera agrícola a través de obras de pequeñas y medianas irrigaciones, como en el caso del valle del Mantaro y otras zonas del país donde se ha incorporado áreas significativas con riego permanente, hay la necesidad de estudiar y determinar los coeficientes de uso consuntivo (Kc) para los cultivos, en especial del cultivo de la papa; de igual modo, determinar el volumen de agua utilizado por el cultivo durante todo su periodo vegetativo, relacionando el volumen de agua utilizado con el rendimiento total del cultivo.

Materiales y métodos

Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en 2 campañas agrícolas: el primero en la estación experimental Santa Ana del Instituto Nacional de Investigación Agraria (INÍA), Huancayo y el segundo en el centro demostrativo de capacitación del proyecto de irrigación La Huaycha en la provincia de Concepción, INÍA Huancayo, se encuentra a unos 5 km de Huancayo por la margen izquierda del río Mantaro, ubicada en las siguientes coordenadas:

Altitud: 3 312.97 m.s.n.m.

Latitud sur: 12º 56´ 22”

Longitud oeste : 75º 19´ 22”

El centro demostrativo del proyecto de irrigación La Huaycha, se encuentra ubicado a 11 km de la ciudad de Huancayo por la margen derecha del río Mantaro, en el distrito de Orcotuna de la provincia de Concepción y está ubicado en las siguientes coordenadas:

Altitud: 3 342.40 m.s.n.m.

ISSN IMPRESO: 2664-4029
ISSN VIRTUAL: 2707-3602

Latitud sur: 11º 56´ 00”

Longitud oeste: 75º 20´ 00”

Tipo de investigación

Experimental, las variedades de papa utilizadas en el estudio fueron: Revolución y Huancayo, procedentes de la estación experimental Santa Ana del INÍA Huancayo, realizadas en dos campañas agrícolas y en dos lugares, tal como se presenta en la tabla 1.

Equipo utilizado

- **Lisímetro de metal,** estos fueron cilindros vacíos de aceite de 55 galones de capacidad, provistos de una cámara percolante a una altura de 20cm. De la base, con un diámetro de 57 cm. y de altura de 87 cm. Un área de 2552 cm² (Fig. 1) estos lisímetros se han utilizado en la zona del proyecto de irrigación La Huaycha, provincia de Concepción.

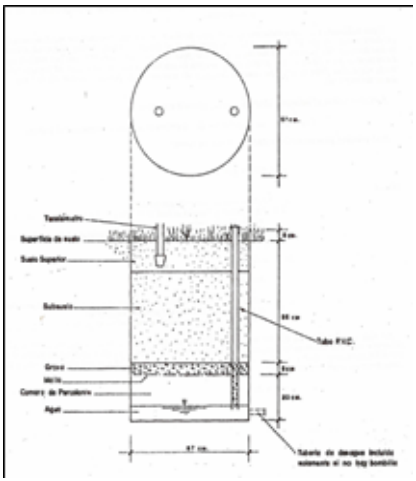

Fig. 1: Diseño de un lisímetro simple de drenaje metálico

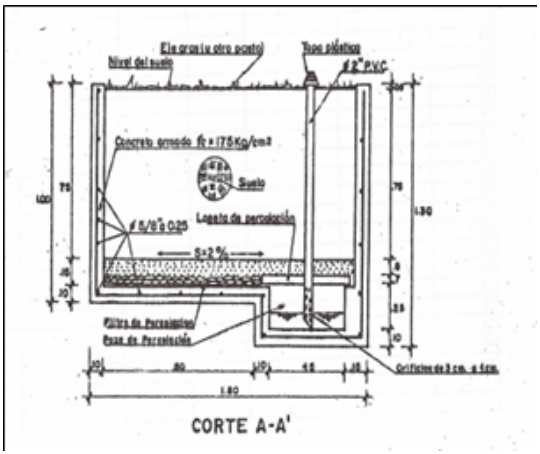

Fig. 2: Diseño de un lisímetro de drenaje en concreto

- **Lisímetro de concreto armado**, fabricado exclusivamente para este tipo de investigación en forma permanente, cuyas dimensiones fueron: 1.20 m. X 1.60 m. X 1.30 m. Este tipo de lisímetro fue utilizado en la parcela de la estación experimental Santa Ana del INÍA Huancayo (Fig. 2)
- **Pluviómetros**, instrumental meteorológico utilizado para medir la precipitación caída durante el periodo de estudio.

ISSN IMPRESO: 2664-4029
ISSN VIRTUAL: 2707-3602

- **Trasegadora o bomba manual,** instrumento utilizado para drenar el agua de la cámara percolante, a fin de controlar el nivel del agua percollada a dicha cámara.
- **Reglillas y jarra graduada**, el primero es una reglilla graduada en cm. construida de madera de 1.20 m. de largo, la que sirvió para medir la altura de agua en la cámara percolante y la jarra es un recipiente graduado de 2 litros de capacidad para realizar los riegos programados, de acuerdo al volumen calculado y requerido por la planta.
- **Tubos de PVC de Ø 1.5"**, dichos tubos se colocaron en los lisímetros como una conexión entre la cámara percolante y la superficie, a través de ella se realizaron las mediciones respectivas del nivel de agua en el percolante.

Preparación de semilla y siembra

Las variedades de papa se seleccionaron de acuerdo al tamaño y condiciones fisiológicas del tubérculo, la siembra se realizó con tubérculos de 80 gr. de peso, una en cada lisímetro de metal y seis en cada lisímetro de concreto. (Ver tabla 1)

Tabla 1. *Lugar de estudio, campaña agrícola y fecha de siembra*

Lugar	Campaña	Fecha de Siembra
Huancayo	1	14 de enero
Concepción	2	08 de agosto

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento

Instalación de lisímetros

Ambos tipos de lisímetros (metal y de concreto) fueron fijados en el suelo, con su borde a 5 cm sobre la superficie del suelo para evitar las entradas de agua superficial y efectos de borde (transferencia de calor desde los alrededores hacia el interior del lisímetro a través de las paredes descubiertas del tanque), después se vertió sobre la malla de fierro (límite con la cámara percolante) grava, arena, seguida del suelo con bastante cuidado, tratando en lo posible que las capas del suelo se superpongan a las mismas condiciones que su estado original (el mismo que su alrededor) dándole un

cierto grado de compactación.

Interior y exteriormente los lisímetros fueron tratados con un impermeabilizante para lisímetros de concreto y con pintura anticorrosiva para lisímetros de metal; a través y hasta el fondo del sistema se colocó un tubo PVC de 1.5 pulgadas de diámetro, con la finalidad de realizar las observaciones del nivel de agua drenada en la cámara percolante con la reglilla graduada.

El balance hídrico

Se determinó de acuerdo a la siguiente relación matemática:

$$ETA=R-D\pm A$$

Donde:

ETA Evapotranspiración real del cultivo en estudio, desde el último riego hasta el presente, expresado en cm.

R Agua agregada al lisímetro por riego o lluvia

D Lámina percolada, dada por la siguiente expresión: $D=L_2-L_1$

Dónde: L_1 y L_2 , niveles de agua en cm en el percolante, correspondiente al último y primer día del período considerado.

A Variación del contenido de humedad en el sistema.

En nuestro estudio se programaron los riegos a intervalos fijos con el objeto de minimizar A y despreciarlo en el balance hídrico, con este criterio la ecuación anterior se convierte en lo siguiente:

$$ETA=R-D$$

Esta expresión ha servido para calcular la evapotranspiración por cada lisímetro, en la cual R en sí representa la lámina aplicada (La) en cm. determinada por la siguiente relación:

$$La=(Va/Al)+Lpp$$

Donde:

La Lámina aplicada en cada riego en cm

Va Volumen aplicado en cada riego en cm^3

Al Área de cada lisímetro en cm^2

En lisímetro de concreto: $A_1= 19200\ cm^2$

ISSN IMPRESO: 2664-4029
ISSN VIRTUAL: 2707-3602

A_2= 1650 cm² (área de percolante)

En lisímetro de metal: A = 2552 cm²

Lpp Lámina precipitada (lluvia) en cm

El procedimiento seguido en el presente estudio fue como sigue:

En la primera campaña agrícola se utilizaron 8 lisímetros de concreto armado y en la segunda campaña se utilizaron 6 lisímetros de cilindro, en ambos casos el volumen aplicado a cada lisímetro se determinó por la siguiente ecuación:

$$Va=c\ (ETP \times ND \times Al)$$

Donde:

Va. Volumen a aplicarse en cm³

ETP. Evapotranspiración potencial histórico para el mes respectivo

ND. Número de días que hay entre un riego y otro

Al. Área del lisímetro

c. Coeficiente de seguridad para programar los riegos (1.0 a 1.5)

Estos volúmenes así determinados se aplicaron, teniendo como instrumento de medida una jarra graduada en cm³ cada 3 a 4 días (2 riegos por semana), frecuencia de riego que fue determinada de acuerdo a la capacidad de campo y velocidad de infiltración del suelo, además de realizarse observaciones continuas de la humedad del suelo.

El nivel de agua en el percolante se midió con una reglilla graduada, dichas observaciones se hicieron simultáneamente con los riegos y entre las 7 a 8 horas. Cada vez que el nivel de agua en el percolante superaba los 18cm. de altura se drenaba el agua con una trasegadora (bombilla manual), anotándose el cambio de nivel y la fecha respectiva, de esta manera se fueron obteniendo los registros lisimétricos.

ISSN IMPRESO: 2664-4029
ISSN VIRTUAL: 2707-3602

Lec. Fecha	Vol. Aplic.cc	Lám. Aplic. (mm) riego	Niv. agua	Lám. Perc. (mm)	PP (mm)	Tens. CB	H Riego	ET p (mm)
1								
2								
3								
4								
5								

Fig. 3. Ficha de recolección de datos de volumen de agua aplicada a cada lisímetro

La determinación del coeficiente Kc. Se determinó mediante la siguiente relación:

$$Kc=ETA/ETP$$

Donde:

Kc. Coeficiente de uso consuntivo

ETA. Evapotranspiración real o actual del cultivo en estudio

ETP. Evapotranspiración potencial del cultivo de referencia

Prácticas culturales y cosecha

Se cumplieron normalmente con todas las labores culturales propias del cultivo, no habiéndose notado problema alguno concerniente a sanidad del mismo, salvo ligeros ataques de algunas plagas y enfermedades, las cuales fueron controladas oportunamente (ver tabla 2).

Tabla 2: Fecha de cosecha por campaña y lugar de estudio

Lugar	Campaña	Fecha de Cosecha
Huancayo	1	09 de junio
Concepción	2	06 de enero

Fuente: Elaboración propia

ISSN IMPRESO: 2664-4029
ISSN VIRTUAL: 2707-3602

Resultados y Discusión

Para una mejor interpretación de los resultados, se indican los cálculos de evapotranspiración real o actual, coeficiente de uso consuntivo (Kc) en ambas campañas agrícolas empleando los mismos procedimientos, cuyos resultados se ven en la tabla 3.

Tabla 3: Valores promedio de coeficientes de uso consuntivo (Kc) para ambas campañas agrícolas con las variedades de papa revolución y Huancayo.

Periodo (DDS)*	1ra. campaña (Kc)	2da. campaña (Kc)	
	Revolución	Revolución	Huancayo
23	-	-	-
38	0.57	-	-
53	0.84	0.30	0.29
66	0.86	0.42	0.41
81	1.01	0.80	0.83
96	1.07	0.99	1.00
114	1.13	1.17	1.17
126	0.89	1.13	1.09
138	-	0.89	0.88
142	-	-	0.65

(*) Días después de la siembra

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3, se observa que los valores iniciales fueron de 0.29 a 0.57 de Kc, alcanzando sus máximos valores de Kc (1.13 a 1.17) a los 114 días después de la siembra, fecha que coincide con la época de floración y tuberización. A partir de este momento dichos valores descienden significativamente, debido a que la planta va llegando a su madurez, cosechándose con valores de Kc de 0.65 para ambas variedades, coincidente con lo reportado por Ángeles (2019) quien determinó que el cultivo de holantao presenta tres etapas de desarrollo y sus valores de Kc fueron: en la etapa inicial Kc = 0.64 durante la etapa de desarrollo Kc = 0.99 y en la etapa de mediados de temporada Kc = 1.15, obteniendo un coeficiente de cultivo total de Kc = 0.98 para los 100 días de vida del cultivo. Del mismo modo (Azcarate, 2015), en

su estudio con el cultivo de Vitis vinifera, var. Red globe, el kc en su etapa inicial de punta algodón fue de 0.5 para punta verde 0.7 para racimo 1.2 formado y bayas de 12 a 21mm, 1.0 para envero y 0.7 para cosecha. Los valores obtenidos son perfectamente explicables, por cuanto la planta al máximo de cobertura (100%) tienen su máxima actividad fisiológica, por lo tanto, máxima necesidad de nutrientes y agua. (ver Tabla 4)

Cuadro Nro. 4: Valores de Uso consuntivo (Kc) calculado para intervalos de cada 10 días

		Kc para todo el periodo vegetativo (días)														
Campaña	Variedad	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
1	Revolución	0.25	0.46	0.49	0.51	0.66	0.84	0.88	1.08	1.14	1.16	1.13	1.00	0.80	0.66	-
	Revolución	0.20	0.22	0.26	0.31	0.36	0.45	0.65	0.82	1.05	1.13	1.12	1.10	0.86	0.71	0.65
2	Huancayo	0.22	0.24	0.25	0.30	0.37	0.52	0.66	0.96	1.12	1.14	1.12	0.98	0.88	0.72	0.64

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los valores Kc por periodos fijos, se puede apreciar en el cuadro 1, dichos valores se han definido por periodos fijos de cada 10 días, de acuerdo a los resultados obtenidos anteriormente (Tabla 3, sobre valores promedio de Kc), de lo que se puede deducir que el valor máximo de Kc ocurre a los 100 días de sembrado, aproximadamente en la etapa fenológica de floración y tuberización. Así mismo, en esta etapa, la planta llega a su máxima cobertura efectiva (80 a 100%), en forma general se puede observar que los requerimientos de agua inicialmente son bastante bajos, la que van aumentando lenta y progresivamente hasta los 80 días de sembrado para luego ascender en forma rápida hasta llegar a su requerimiento máximo, a partir de este momento desciende debido a la maduración fisiológica de la planta, llegando finalmente a la cosecha con valor de Kc promedio de 0,65.

ISSN IMPRESO: 2664-4029
ISSN VIRTUAL: 2707-3602

Tabla 5. *Relación entre rendimiento y volumen de agua utilizado en el cultivo de la papa*

Campaña	Variedad	Volumen total M³/ha.	Rendimiento	
			Kg/ha.	Kg/M³
1	Revolución	3 004	25 992	8.65
2	Revolución	4 406	46 368	10.52
	Huancayo	4 416	42 515	9.63

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5 se observa que el rendimiento obtenido en la primera campaña agrícola fue de 25 992 Kg/ha. con volumen real de agua requerido de 3 004 m³/ha. para la variedad revolución. En la segunda campaña agrícola el resultado para la variedad Revolución fue de 46 368 Kg/ha. con volumen de agua utilizado de 4 406 m³/ha. y para la variedad Huancayo, el rendimiento obtenido fue de 42 515 Kg/ha. con volumen de agua utilizado de 4 416 m³/ha. y los kilos obtenidos por cada metro cubico de agua utilizado fue de 8,65 a 10,52, similar a lo reportado por Azcarate (2015) quien con una lámina de riego total de 1 184mm/ha. obtuvo un rendimiento promedio de 31 T/ha. de Vitis vinifera, var. Red globe.

Se han obtenido resultados en lo que respecta a Kc para avena forrajera algunos reportes de investigación en que presentan valores de Kcini=0.4; Kcmed=1.20 y Kcfin=0.8 (Servin et al., 2018; González et al., 2011) que están por encima de los que se tomaron de referencia, que son trabajos más recientes. El Kc comienza teniendo valores pequeños y aumenta a medida que la planta cubre el suelo (Allen et al., 2006). Los valores máximos de Kc se alcanzan en la floración, se mantienen durante la fase media para luego descender durante la fase de maduración (Garay, 2011 citado por Servin et al., 2018).

Návar y Rodríguez (2002) manifiestan en su estudio de caracterización de áreas y volumen de irrigación, que el volumen de agua promedio mundial necesario para producir una tonelada de grano se aproxima a 1 000 m3. En el distrito de riego 026 esta eficiencia es baja, 2 800 m3: 1 mg de grano (Návar, 2011).

Solís (2016) manifestó que, al utilizar el software de programación de riego, se logró mayor productividad en el cultivo de rabanito, logrando un incremento de 35,48% en la producción y el uso de menor recurso hídrico con un ahorro de 0,53 m³, concluyendo que gracias al uso del software de programación de riego (incluye

coeficientes de uso consuntivo) se mejoró la producción por hectárea y redujo el uso del agua de riego al utilizarlo eficientemente según la demanda del cultivo.

CONCLUSIONES

Los coeficientes de uso consuntivo (Kc) para las variedades "Revolución" y "Huancayo", alcanzó su máximo valor de requerimiento a los 100 días después de sembrado, etapa que comprende la floración y tuberización de la planta, donde alcanzaron valores de Kc de 1.13 a 1.17 por lo que el mayor requerimiento de agua a utilizar por la planta va desde el inicio de la floración hasta la tuberización plena, etapa crítica en que no debe descuidarse el riego de dicho cultivo.

En la ejecución del presente estudio de investigación se ha determinado la curva de uso consuntivo Kc, por el método lisimétrico, el mismo que representa el requerimiento real de agua para el cultivo de la papa, por lo que la aplicación de este método permite un mejor manejo del agua de riego en este y otros cultivos.

Se obtuvieron rendimientos promedios de 46 368 kg/ha y 42 515 kg/ha para las variedades "Revolución" y "Huancayo", respectivamente. Del mismo modo, con 1m³ de agua utilizado por la planta, se tuvo los siguientes resultados: para la variedad revolución de 8.65 kg. en la primera campaña y de 10.52kg para la segunda campaña, mientras que para la variedad Huancayo fue de 9.63kg.

Se comprobó que el uso de lisímetros garantiza precisión y confiabilidad cuando se reúnen las condiciones de campo y teniendo el mismo cultivo de cobertura, ya que los datos obtenidos son más representativos, replicables y perfectamente utilizables en la programación de riego del cultivo de papa en zonas andinas.

Referencias bibliográficas

Ángeles, J.L. (2018). Determinación del coeficiente de cultivo (kc) del cultivo de holantao (Pisum sativum) utilizando lisímetro de drenaje en el centro de investigación y producción agrícola (CIPA) Cañasbamba. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.

ISSN IMPRESO: 2664-4029
ISSN VIRTUAL: 2707-3602

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. Riego y Drenaje 56. Roma, Italia. 322 p. Recuperado de http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf

Azcarate, A.C. (2015). Experiencias del uso del Kc. en Vitis vinifera L. Var. Red Globe en Agrícola Santa Marcela E.I.R.L. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.

Carmenza, M.; Saldarriaga, G. y Jaramillo, O. (2010). Estimación de la demanda de agua, Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia. pp. 174. 60 p. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP5.pdf

Cleves, J. A.; Toro, C. J. y Martínez, B. L. (2016). Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticas. Una revisión analítica. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 10(1):149-163.

FAO. (2011ª). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura, la gestión de los sistemas en situación de riesgo. FAO. Vialle delle terme Caracalla 00153 Roma, Italia. 530 p. Recuperado de http://www.fao.org/3/a-i1688s.pdf

Gabriel, J. (2017). El agua y las consecuencias que esta genera en la agricultura y el medio ambiente. Journal of the Selva Andina Biosphere. 5(1):1-3.

Garay, O. B. (2011). Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos. Instituto Geofísico del Perú. Lima, Perú. 34 p. http://www.met.igp.gob.pe/proyectos/incagro/datos/ManualConsuntivo.pdf

González, F.; Herrera, J.; López, T. y Cid, G. (2011). Respuesta del sorgo al riego en dos épocas de siembra. Función agua rendimiento. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 20(1):40-46.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2012). Resultados Definitivos: IV Censo Nacional Agropecuario 2012. Lima, Perú.

Návar, J. J. (2011). Water scarcity and degradation of aquatic ecosystems in the Rio

San Juan watershed of northeastern México. Frontera Norte. 23(46):125-150.

Návar, J. J. y Rodríguez, E. (2002). Caracterización de las superficies agrícolas y sus volúmenes de irrigación en la cuenca del río San Juan, México, Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM Núm. 47, 2002, pp. 77-91

Olivares, B. O. y Hernández, R.A. (2019). Sectorización eco territorial para la producción agrícola sostenible del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.) en Carabobo, Venezuela. Cienc Tecnol Agropecuaria, Mosquera (Colombia), 20(2):323-338.

Servin, M.; Gutiérrez, H.; Ramírez, O. y Galindo, M.A. (2018). Modelos para programación y optimización de agua de riego en avena. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 9(4):667-684.

Solís, A. (2016). Desarrollo de un software para la mejora de la eficiencia del uso de agua de riego en el IESTP- SAM- Palian. Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Centro del Perú. Junin, Perú.

Steduto, P.; Hsiao, T.; Fereres, E. y Raes, D. (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua, Estudio Riego y Drenaje. FAO. Roma. http://www.fao.org/3/a-i2800s.pdf

Tarazona, N.Y. (2017). Determinación del coeficiente de uso consuntivo del agua para el cultivo de la quinua (Chenopodium quinoa willd), mediante el método del lisímetro. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.

Vilca, J. L. (2018). Huella hídrica de cultivos andinos de la región Puno comercializados en la región Arequipa. Tesis de doctorado. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

ISSN IMPRESO: 2664-4029
ISSN VIRTUAL: 2707-3602