

# DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc), Y EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE OCA (*Oxalis tuberosa* Mol.) EN PUNO

DETERMINATION OF CULTIVATION COEFFICIENT (Kc), AND  
EFFICIENCY IN USE OF WATER IN THE PRODUCTION OF OCA (*Oxalis  
tuberosa* Mol.) IN PUNO.

E. Huanca-Quiroz<sup>1</sup> y R. Calapuja-Ayamamani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

## RESUMEN

El presente estudio se condujo en el Centro de Investigación y Producción Illpa UNA-Puno, Región Puno a 3825 msnm, para determinar la evapotranspiración, calcular el coeficiente de cultivo (Kc), y la eficiencia de uso del agua (EUA) en la producción de tubérculos del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Mol.). El estudio se condujo durante la campaña agrícola 2011-2012, con los siguientes resultados: La evapotranspiración del cultivo de oca utilizando el método de Lisímetro "Nivel Freático Constante", fue calculado en 566.2 mm de lámina hídrica y en función a datos e informaciones meteorológicas, alcanzó los mayores valores utilizando los métodos de Hargreaves en función temperatura (589.8 mm) y de Penman-Monteith (584.2 mm). Los coeficientes de cultivo (Kc) para las fases fenológicas de emergencia, floración y madurez fisiológica fueron de 0,35; 1,56 y 0,72 respectivamente, siendo el promedio para la campaña agrícola de 0,88. La eficiencia en el uso de agua (EUA) del cultivo para la producción en tubérculos fue de 7,3 kg/m<sup>3</sup>, atribuible a las condiciones favorables de los factores de producción que se registraron en la campaña agrícola.

**Palabras clave:** Oca, *Oxalis tuberosa*, coeficiente de cultivo (Kc), eficiencia de uso del agua, evapotranspiración.

## ABSTRACT

The study was conducted in the Research and Production Center Illpa UNA-Puno, Puno Region, at 3825 meters above sea level, to determine the evapotranspiration, calculate the crop coefficient (Kc), and the water use efficiency (WUE) for tuber production in the crop of oca (*Oxalis tuberosa* Mol.). The study was conducted during the 2011-2012 agricultural campaign, reaching to the following results: The oca crop evapotranspiration using the method of lysimeter "Constant water level" was calculated in 566.2 mm of water sheet, and according to data and weather information, reached higher values using the methods of Hargreaves in temperature function (589.8 mm) and Penman-Monteith (584.2 mm). Coefficients (Kc) for crop phenological stages of emergence, flowering and physiological maturity were 0.35; 1.56 and 0.72 respectively, averaging 0.88 for the agricultural campaign. Efficiency in the use of water (WUE) of the crop for the production of tubers was 7,3 kg/m<sup>3</sup>, attributable to the favorable factors present during the agricultural campaign.

**Key words:** Oca, *Oxalis tuberosa*, crop coefficient (Kc), water use efficiency, evapotranspiration.

1 M.Sc. Elisbán Uriel Huanca Quiróz, Docente Principal a D.E. del Departamento de Agronomía y Zootecnia, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, Universidad Nacional del Altiplano. Av. Sesquicentenario N° 1150, Puno-Perú, (051) 599430, E-mail: euhuanca1@hotmail.com

## 1. INTRODUCCIÓN

En Puno, la oca (*Oxalis tuberosa* Mol.) es uno de los cultivos de importancia regional, por constituir un alimento básico de sus habitantes que solo es precedido por la papa y por esto una fuente importante de carbohidratos, proteínas y minerales para la población. Razón suficiente para propender al incremento de su expansión, producción, productividad, mantenimiento del equilibrio ecológico; modificando la agricultura pluvial tradicional dependiente de la persistente irregularidad de las precipitaciones pluviales que causan problemas en la producción por falta de agua, principalmente al inicio de la campaña agrícola, y la presencia de épocas sin lluvias (veranillos) que aparentemente son más notorios con el cambio climático.

Una de las alternativas factibles en la región es la conducción del cultivo de oca bajo un sistema de agricultura de riego tecnificado; cuyo diseño y operación requieren del conocimiento de las tasas de evapotranspiración que se suscitan en condiciones óptimas de cultivo, para así determinar el requerimiento y la productividad del recurso escaso como es el agua de riego. En la zona, estudios sobre lisímetría y eficiencias en el uso del agua en cultivos son aun escasos y están referidos a otros cultivos, destacando el estudio sobre "Uso consuntivo de la Avena y Alfalfa, bajo condiciones climáticas de sector de riego Cantería-Puno"; concluyendo, que para garantizar los resultados se debe emplear, el método del lisímetro, reportando que el valor obtenido en una campaña agrícola para el cultivo de avena forrajera fue de 333,92 mm de lámina hídrica, y para alfalfa de 540,36 mm (Oliverra, 1997). Por otra parte Ramírez C. (2001) obtuvo una evapotranspiración de 1068,4 mm de lámina hídrica para el cultivo de maca (*Lepidium meyenii* Walp.) con el método de lisímetro Nivel Freático Constante. Trabajos de investigación realizados en Bolivia, encontraron que la evapotranspiración máxima (ETM) en el cultivo de la quinua variedad "sajama amarantiforme" por lisímetría en el Altiplano Central de La Paz fue de 3,64 mm/día (promedio estacional),

con valores variables que evolucionan de acuerdo al desarrollo fenológico del cultivo, alcanzando sus más altos niveles durante la floración e inicio de grano lechosos con 4,54 y 4,71 mm/día. La ETM total acumulada (134 días) fue de 488 mm (Choquecallata J., 1990).

En el presente estudio se planteó como objetivos: 1) Determinar la evapotranspiración del cultivo de oca por el método del Lisímetro NFC; 2) Precisar el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) en oca a través de diferentes fases fenológicas y 3) Determinar la eficiencia del uso de agua en la producción tubérculos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Sitio y condiciones climáticas

El CIP-ILLPA UNA-Puno; está ubicado en el Altiplano Sur Peruano, políticamente en el distrito de Paucarcolla de la provincia y Región de Puno. El campo experimental se encuentra a una altitud de 3825 msnm, y su posición geográfica corresponde a 15° 42' 38" Latitud Sur y 70° 04' 54" de Longitud Oeste del meridiano de Greenwich; en la zona agroecológica Suni.

Las condiciones climáticas de la zona están determinadas por los cambios de temperatura y la precipitación pluvial, como las variables que inciden principalmente en el desarrollo normal o anormal de los cultivos, que determinan el logro de cosechas aceptables o inaceptables.

La información meteorológica utilizada como referencia corresponde al proporcionado por el SENAMHI-Puno y por el Instituto Nacional de Innovación Agraria, INIA-Illpa, permitiendo confirmar que durante la campaña agrícola 2011-2012, la variable temperatura fue relativamente superior a la normal (serie 1996-2005) con un incremento de 2,5°C mostrándose en la zona como una de las primeras evidencias del calentamiento global. En la campaña agrícola (Oct/11-Abr/12) no se presentaron temperaturas mínimas que dificulten el normal desarrollo del cultivo de oca.

La precipitación pluvial ocurrida en la campaña agrícola, en si no ha intervenido en el balance hídrico del Sistema Lisímetro “NFC” (método optado en la presente investigación utilizando una cobertura móvil protectora de lluvias); sin embargo, se estima que el promedio de 10 años es 506.6 mm, volumen suficiente si la distribución ocurriera en forma correspondiente a las necesidades de fases fenológicas del cultivo. Durante el experimento la dotación de agua al cultivo de oca fue permanente, evidenciándose que para obtener buenas cosechas debe asegurarse el factor riego y drenaje, y así afrontar las irregularidades de las precipitaciones pluviales en la zona.

## 2.2 Suelos, agua y semilla

Los análisis físico-químico del suelo experimental muestran una textura franca, un contenido de M.O. 2,8%, y un pH:7,05; el análisis de agua de riego para el experimento mostró un pH 6,8 ; clasificación C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>. Los resultados están dentro de lo recomendable; por lo que el cultivo de oca no tuvo limitantes de sustrato, ni agua durante su crecimiento y desarrollo vegetativo. Se utilizó semilla vegetativa del clon “K’eny” proveniente de la selección de clones de oca de la provincia de Ilave-Puno, cuyo análisis reportó indicadores muy aceptables y aptitud para su establecimiento en cuanto a sanidad, forma, longitud (15 cm), diámetro (4,5 cm) y sabor dulce del tubérculo.



**Fig. 1 Cultivo de oca y Sistema Lisímetro Nivel Freático Constante, CIP-ILLPA**

## 2.3 Medición de la evapotranspiración

Para determinar la evapotranspiración del cultivo de oca, se utilizó el lisímetro de tipo nivel freático constante (NFC), conformado por tres tanques de fierro galvanizado: tanque alimentador (TA), tanque controlador del nivel freático (TCNF); y el tanque de cultivo (TC), con 1.20 m de lado y una profundidad de 1.10 m. El tanque alimentador y el tanque de control fueron de dimensiones menores siendo éstas de 0.25 x 0.40m de sección y de 0.50 m de altura. Además se dispuso de un techo móvil de plástico transparente de agro-film de 250 micras, con el fin de proteger de las precipitaciones pluviales para que ésta no se considere en el balance hídrico del sistema Lisímetro.

## 2.4 Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETC) por el método de lisímetro

La determinación de la evapotranspiración del cultivo ETC por el método de lisímetro, fue en base al cálculo del balance de entradas y salidas de humedad del tanque de cultivo (TC), para luego deducir la fracción que corresponde a la evapotranspiración (ET). La variable en referencia, se ha determinado de acuerdo al balance hídrico general aplicado al sistema:

$$\text{ETC} = \text{PE} + \text{R} + \Delta\text{H}^0 - \text{Pp}$$

Donde:

ETC = Evapotranspiración del cultivo (mm)

PE = Precipitación efectiva en mm (no se consideró)

R = Riego (mm)

$\Delta\text{H}$  = Variación de humedad en el suelo

Pp = Percolación profunda (el sistema fue impermeable)

En el sistema Lisímetro NFC, la determinación de la ETC de oca se realizó directamente por medio de las lecturas diarias del Lisímetro del tanque alimentador de agua (TA) durante todo el ciclo vegetativo. En cambio, para estimar la evapotranspiración de

referencia (ET) para la zona se estimó tomando como referencia los datos meteorológicos facilitadas y provenientes de INIA-ILLPA y Estación Índice (SENAMHI-JULIACA), distantes a 2 y 25 Km. respectivamente. Las ecuaciones utilizadas fueron:

- a) **Método Hargreaves en función a la temperatura:** Tomando como referencia el trabajo de Vásquez, A. y Vásquez, L. (1997), se utilizó el siguiente procedimiento

$$ETo = MF \times TMF \times CH \times CE$$

Donde:

ETo = Evapotranspiración de referencia, (mm/mes)

MF = Factor de evapotranspiración potencial en mm/mes

TMF = Temperatura media mensual (°F).

CH = Factor de corrección para la humedad relativa.

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

Además:

$$CH = 0.166(100-HR)^{1/2}$$

$$CE = 1+0.04(E/2000 \text{ msnm})$$

Donde:

HR = Humedad relativa media mensual (%).

E = Altitud o elevación del lugar (m.s.n.m.)

Para los cálculos de evapotranspiración de referencia (ETo), a partir de datos climáticos mensuales, siguiendo el método de Penman-Monteith, se utilizó la siguiente fórmula:

$$ETo = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)}$$

Dónde:

ETo = Evapotranspiración sobre un cultivo de referencia (mm/día)

Rn = Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m<sup>2</sup>/día)

G = Flujo de calor del suelo (MJ/m<sup>2</sup>/día)

T	= Temperatura promedio del aire a 2 metros de altura (°C)
U <sub>2</sub>	= Velocidad promedio diaria del viento a 2 metros de altura (m/s)
e <sub>s</sub>	= Presión de vapor en saturación (kPa)
e <sub>a</sub>	= Presión de vapor actual (kPa)
Δ	= Pendiente de la curva de presión de vapor versus temperatura (kPa/°C)
γ	= Constante psicométrica (kPa/°C).

Este método por su naturaleza relativamente complejo, requiere de planillas de cálculo o bien de programas específicos. El programa CROPWAT 8.0, elaborado por la Dirección de fomento de Tierras y Aguas de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), fue utilizado para el desarrollo del presente trabajo ingresando al software la siguiente información: localización de la estación meteorológica, nombre del país, nombre de la estación, altitud, latitud y longitud; datos climáticos de temperatura, humedad relativa, horas sol y velocidad del viento.

Utilizando el método de Blaney-Criddle, la ecuación propuesta es la siguiente:

$$f = p(0.46 T + 8.13)$$

Dónde:

p : Porcentaje de luz diaria.

T : Temperatura media diaria en °C

Posteriormente se utiliza la siguiente ecuación de regresión lineal:

$$ETo(\text{mm/día}) = a + b \times f$$

Donde: a y b son los coeficientes de regresión lineal entre ETo y f.

### b) Cálculo del coeficiente de cultivo, Kc

Para el cálculo del Kc asumido, se utilizó la metodología propuesta por la FAO (Vásquez A. y Vásquez I., 1997), donde se emplea la relación de ETo y la frecuencia de riego para obtener el Kc de la primera fase fenológica del cultivo. Luego, para estimar los valores de Kc de las siguientes fases de acuerdo al agru-

pamiento del ciclo vegetativo se considera cuatro fases de desarrollo.

Para estimar la evapotranspiración del cultivo (ETC) en base a datos e informaciones meteorológicas (De Santa Olalla, 1993) se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{ETC} = \text{Kc} * \text{ET}_0$$

Donde:

### c) Eficiencia del uso de agua EUA

La ecuación matemática propuesta por Hillel (1980) citada por Solis (2002), para determinar la eficiencia en el uso de agua (EUA) en la producción económica de un cultivo esta expresada en la siguiente relación :

$$\text{EUA (Kg/m}^3) = \frac{\text{Producción del cultivo (Kg/ha)}}{\text{Evapotranspiración del cultivo (m}^3/\text{ha)}}$$

### 2.5 Diseño experimental y técnicas de medición

El trabajo de campo, fue ejecutado en la campaña agrícola 2011-2012, sobre un área de 150 m<sup>2</sup>; siendo instalado en su interior el Tanque de Cultivo (TC) de 1.44 m<sup>2</sup>, realizándose luego la siembra de tubérculos de oca; establece parámetros y factores en estudio siguientes:

- El cultivo de oca y las diferentes fases fenológicas (días), el clima, su comportamiento en la campaña agrícola de la zona, y el contenido de humedad gravimétrico del suelo, deberían ser fácilmente disponibles durante el desarrollo del cultivo.

Las variables de respuesta consideradas fueron: La lámina de agua evapotranspirada por fases del período vegetativo del cultivo de oca (mm, m<sup>3</sup>/ha), el coeficiente de cultivo (Kc) en cada fase fenológica (adimensional), y la eficiencia de uso del agua en la producción de oca en tubérculo (Kg/m<sup>3</sup>).

Para efectos del Análisis Estadístico y Pruebas de Significancia se empleó el Diseño Bloque Completo al Azar, donde las fases fenológicas constituyen los bloques y los métodos de cálculo de la ETC los tratamientos.

La conducción del cultivo experimental fue utilizando la tecnología convencional practicada en el CIP-ILLPA, siendo la fecha de siembra de los tubérculos el 18 de octubre del 2011 y la cosecha el 30 de abril del 2012.

## 1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El período vegetativo del cultivo de oca clon "K'eny" fue de 190 días, la altura de la planta a la cosecha alcanzó un promedio de 57 cm. La cosecha en tubérculos obtenida del tanque de cultivo (parcela experimental), fue estimada en 41.3 ton/ha, relativamente alto frente a otros resultados que se reportan incluso a nivel experimental en la región Puno; este rendimiento se atribuye a las condiciones del tiempo, que fueron favorables durante la campaña agrícola; así como al aprovisionamiento adecuado y permanente de humedad en la zona radicular de las plantas, con labores culturales fueron oportunas. Se infiere que la potencialidad de rendimiento de oca a nivel regional puede ser incrementada sustancialmente.

### 3.1 Evapotranspiración del cultivo (ETC) durante las fases del crecimiento vegetativo

La evapotranspiración del cultivo de oca clon "K'eny", según se muestra en la Tabla 1, determinado por el método de lisímetro tipo NFC fue de 566.23 mm de lámina hídrica en 190 días del ciclo vegetativo (5662.3 m<sup>3</sup>/ha), siendo la fase de mayor consumo de agua el de floración (201.5 mm), que ocurre durante el mes de febrero; donde las plantas alcanzaron su máximo desarrollo y área foliar, teniendo por ello una mayor actividad fisiológica. La evapotranspiración obtenida (3 mm/día promedio) al momento se considera confiable, no solo por el carácter de la conducción adecuada del cultivo, sino también por integrar "*In situ*" las condiciones locales reales de todos los factores influyentes de la ETC.

Los resultados de la Tabla 1, se contrastan con los obtenidos por de Santa Olalla (2005), concluyendo que la transpiración aumenta a medida que crece y se desarrolla la cubierta

**Tabla 1.** ETC método lisímetro NFC; ET<sub>O</sub> f (Ev) y Kc del cultivo de la oca Illpa- Puno, campaña agrícola 2011-2012.

FASES FENOLÓGICAS DEL CULTIVO DE OCA	Nº de días	ETC (mm)	FASE (FAO*)	Nº de Dias (*)	ETC (mm) (*)	ET <sub>O</sub> (mm)	Kc
Emergencia	35	54.17	I	35	54.17	156.24	0.35
Formación de estolones	35	88.54	II			149.13	0.60
Formación del botón floral	22	62.33	II	57	150.868	76.5	0.82
Inicio de la floración	26	100.95	III			93.84	1.085
Finalización de la floración	42	201.48	III	68	302.431	128.59	1.56
Madurez fisiológica	30	58.77	IV	30	58.767	81.72	0.72
<b>TOTAL</b>	<b>190</b>	<b>566.23</b>		<b>190</b>	<b>566.23</b>	<b>686.02</b>	

\* Adecuación a fases del desarrollo propuesta por la FAO (Doorembos y Pruitt, 1982).

**Tabla 2.** Evapotranspiración de referencia (ET<sub>O</sub>) para el cultivo de oca en mm estimado por varios métodos en función a informaciones meteorológicas.

FASES FENOLOGICAS	N° Días	FASE (FAO*)	HARGRE .f(°T)	PENMAN -M.	BLANEY- C.
Emergencia	35	I	157.21	151.27	96.6
Formación de estolones	35	II	154.08	140.73	73.6
Formación del botón floral	22	II	84.78	84.27	54.2
Inicio de la floración	26	III	92.04	93.9	61.6
Finalización de la floración	42	III	135.29	139.96	110.7
Madurez fisiológica	30	IV	96.33	94.44	70.8
<b>TOTAL</b>	<b>190</b>		<b>719.73</b>	<b>704.57</b>	<b>467.5</b>

Fuente: Elaboración propia

\*Adecuación a fases del desarrollo propuesta por la FAO (Doorembos y Pruitt, 1982).

vegetal, de tal manera que cuando la cobertura es total, la transpiración es la fuente principal de la pérdida de agua, pudiendo estar entre el 90 a 95 % de la evapotranspiración.

El cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>O</sub>) para el sitio Illpa, calculado en función a informaciones meteorológicas, de acuerdo a la metodología descrita en el ítem correspondiente; para el período de desarrollo del cultivo de oca en CIP-Illpa se presenta en la Tabla 2, donde se observa que la evapotranspiración en función a temperatura de referencia de mayor valor corresponde al calculado con el método de Hargreaves con 719.7 mm, seguido del calculado por el método de Penman-Monteith (704.6 mm). Los valores son similares. La ET<sub>O</sub> estadística obtenido para la campaña agrícola del cultivo de oca para la zona, utilizando el método de Blaney Criddle es subestimado; atribuible al empleo de diferentes variables climáticas y coeficientes en cada fórmula, y que el método de Penman-Monteith probable-

mente se ajuste mejor comparado con el de un evapotranspirómetro.

### 3.2 Estimación de coeficientes de cultivo (Kc) por la metodología FAO

De acuerdo al período vegetativo del cultivo de oca clon "K'en", y utilizando la metodología propuesta por la FAO, para la investigación se graficó la curva Kc correspondiente, obteniéndose luego los valores interpolados para cada fase fenológica tal como se presentan en la Tabla 3. Los valores de Kc varían en el rango de 0.41 a 1.15 con una media de 0.83; los cuales aritméticamente son menores a los obtenidos por el método del lisímetro que tiene una media Kc=0.86; lo que muestra una variación relativa aceptable con respecto a los valores determinados por el método directo (ETC/ET<sub>O</sub>), probablemente más real y ajustado al factor variedad entre otros.

En la Tabla 3, también se observa que el Kc mayor corresponde a la fase fenológica de

**Tabla 3.** Coeficientes de cultivo interpolados a partir de la curva del Kc (FAO)

FASES FENOLÓGICAS		Nº de días	Kc asumido	FASE (FAO*)	Kc asumido
Emergencia		35	0.40	I	0.41
Formación de estolones	35	0.65	II		
Formación del botón floral	22	0.97	II		0.81
Inicio de la floración	26	1.15	III		
Finalización de la floración	42	1.16	III		1.15
Madurez fisiológica	30	0.95	IV		0.95

FAO(\*) Doorembos y Pruitt(1982)

**Tabla 4.** Evapotranspiración del cultivo (ETC) de oca calculada por diferentes métodos para cada fase fenológica en mm: Campaña agrícola 2011-2012; Illpa.

FASES FENOLÓGICAS	Nº días	LISIMETRO	HARGR. f( $^{\circ}$ T)	PENMAN- MONTEITH	BLANEY C.
Emergencia	35	54.17	64.85	62.12	38.85
Formación de estolones	35	88.54	98.45	89.69	46.64
Formación del botón floral	22	62.33	78.54	78.62	51.30
Inicio de la floración	26	100.95	99.23	101.20	66.14
Finalización de la floración	42	201.48	157.28	162.68	128.38
Madurez fisiológica	30	58.77	91.42	89.95	68.22
<b>TOTAL</b>	<b>190</b>	<b>566.23</b>	<b>589.76</b>	<b>584.25</b>	<b>399.52</b>

Fuente: Elaboración propia

floración, ( $K_c=1.15$ ). El valor obtenido es concurrente, por cuanto el cultivo de oca durante esta fase, evidencia un mayor desarrollo vegetativo, gran actividad fisiológica, y una cobertura vegetal máxima de las plantas.

En la Tabla 4, se presentan los resultados de evapotranspiración del cultivo de oca (ETC), calculados en base a datos e informaciones meteorológicas de los observatorios; obtenidos multiplicando los coeficientes  $K_c$  con los valores de  $ETo$  correspondientes. Se observa que los mayores valores de evapotranspiración del cultivo fueron obtenidos con el método de Hargreaves en función a temperatura y con el de Penman-Monteith, resultando una lámina hídrica acumulada de 589.8 mm, y 584.3 mm respectivamente.

Las fases fenológicas de mayor evapotranspiración de acuerdo a la Tabla 4, ocurrieron durante la floración plena y final, atribuible a que en estas fases el número de días y el área foliar son mayores (febrero y marzo), presentándose una mayor actividad fisiológica y por ende una mayor evapotranspiración del cultivo. También se atribuye al comporta-

miento favorable del clima y humedad apropiada sin descartar el efecto del cultivar de oca.

Con fines de corroborar estadísticamente los resultados de evapotranspiración del cultivo de oca, se empleó el Diseño Bloque Completamente al Azar (DBCA), donde las fases del período vegetativo propuestos por la FAO en su publicación N° 24 (Doorembos y Pruitt, 1982) son los bloques, y los métodos de obtención de ETC los tratamientos. Los resultados se muestran en la Tabla 5. Sugiriendo, que para el método del lisímetro, el agrupamiento de “Sub fases” (Valleñas, 1989) como se presenta en la Tabla 4 a fases fenológicas conforme se observa en la Tabla 5, es lo indicado siguiendo según la publicación N° 24 de FAO (Doorembos y Pruitt, 1982), y además concurrente con lo observado “In situ” durante el desarrollo del experimento.

El ANVA para las variables de evapotranspiración del cultivo de oca (Tabla 5) para del experimento bajo condiciones Illpa, resultó en la existencia de diferencia estadística alta-

**Tabla 5.** Evapotranspiración del cultivo de oca "K'eney" para las fases del período vegetativo (mm) por diferentes métodos. Campaña agrícola 2011-2012; CIP- Illpa.

BLOQUES: FASES FENOLOGICOS (DIAS)	TRATAMIENTOS (METODOS)				ETC PROM. (mm)	(*)
	LISIMETR O	HARGRE F(T)	PENMAN- MONTEIH	BLANEY- CRIDDLE		
I.INICIAL (35)	54.17	64.85	62.12	38.85	55.00	c
II.DESARROLLO (57)	149.13	176.99	168.31	100.14	148.64	b
III.FLOR MEDIA (68)	303.73	263.90	263.88	194.51	256	a
IV.FINAL (30)	59.72	93.19	89.95	68.22	256.51	c
TOTAL = 190	566.75	598.92	584.25	401.72	138.48	
&	A	A	A	B		

Fuente: Elaboración propia.

\* = Letras diferentes indican diferencias significativas.

CV = 16.85 %

Prom. = 138.48

mente significativa entre bloques y diferencia significativa para los métodos de obtención de ETC. Al realizar la prueba de Duncan al 1% de probabilidad para las fases fenológicas del cultivo, se observa que la fase "Floración Media" coincide con la mayor evapotranspiración, con un promedio de 256.51 mm de lámina hídrica. Luego, la diferencia en requerimientos de humedad entre fases del período vegetativo del cultivo de oca, es imputable principalmente a la desigualdad de número de días de cada fase, a las actividades fisiológicas e índices de área foliar (LAI) que son variables y diferenciables entre fases, y por el comportamiento mensual del tiempo que es igualmente diferente en la zona.

De manera similar, efectuadas las pruebas de significancia de Duncan ( $p \leq 0.05$ ) para los métodos de obtención de ETC del cultivo de oca, se encontró diferencias menores entre los métodos utilizados de lisímetro (566.8 mm), Hargreaves  $f(T)$  y el de Penman-Monteith que presentan un comportamiento estadísticamente similar. En cambio, el Método de Blaney-Criddle mostró un comportamiento inferior subestimando la ET del cultivo (399.5 mm). Por ello, puede indicarse que los métodos indirectos de Hargreaves  $f(T)$  y el de Penman-Monteith son factibles en utilizar en la estimación de la ETC a efectos del diseño agronómico y operación de proyectos de riego tecnificado. No obstante, según los hallazgos investigaciones previas se

acepta que el método de lisímetro es más informativo y confiable para la determinación de evapotranspiración de un cultivo (ETC) que los otros métodos indirectos (Olivera S., 1997), y para el caso del presente estudio debido a la inexistencia de información sobre los requerimientos hídricos para el cultivar de oca "K'eney".

### 3.3 Eficiencia del uso del agua (EUA)

En la Tabla 6, se presentan los resultados de la eficiencia del uso de agua en la producción de tubérculo de oca "K'eney" para la campaña agrícola 2011-2012 bajo condiciones de campo en el CIP-ILLPA. El valor obtenido de eficiencia en el uso del agua del cultivo (EUA), para la producción en tubérculo en este primer experimento, fue de 7,3 kg/m<sup>3</sup> para el tratamiento con el lisímetro sin condiciones deficitarias de humedad en la zona radicular del cultivo.

**Tabla 6.** Eficiencia en el uso de agua en la producción de tubérculos en oca. CIP-ILLPA.

TRATAMIENTO	Rdto en tubérculo (Kg/há)	ETC (mm)	EUA (Kg/m3)
LISIMETRO(NFC)	41319.4	566.23	7.3

ETC= Evapotranspiración; EUA= Eficiencia en el uso de agua.

Los resultados obtenidos para condiciones de campo descritas y las características de la

especie del género *Oxalis*, se consideran como aceptables, asumiendo que las condiciones favorables de disponibilidad de agua en el suelo provocaron una evapotranspiración normal del cultivo que influyó en los procesos fisiológicos, como la fotosíntesis, división y expansión celular, traslación y acumulación de carbohidratos promoviendo una mayor producción en tubérculos por unidad de agua evapotranspirada.

Al respecto, Larcher (1995) citado por Solis (2002) establece valores de EUA para en varias especies herbáceas, estas son en: cereales 1.5, y leguminosas 1.3-2.5 Kg/m<sup>2</sup> haciendo notar que cuando se dispone de volúmenes de agua menores a 40 cm, los cultivos responden de una manera más eficiente que otros cultivos tales como el maíz o la alfalfa (2.65 kg/m<sup>3</sup>); entre ellos podría destacarse el cultivo de oca; ésta virtud probablemente se deba a la mayor capacidad de adaptación por el ajuste osmótico bajo condiciones deficientes de agua (Godoy *et al.*, 2003).

Luego, es necesario experimentar y obtener eficiencias de uso de agua por cultivos bajo diferentes suelos y disponibilidad de humedad, en cultivos variados y variedades tolerantes al estrés hídrico, ya sea en zonas áridas y con irregularidad en precipitaciones pluviales como en la región andina y el país, ya que en el futuro será una necesidad prioritaria producir alimentos con menor cantidad de agua, debido a la escasez creciente de este recurso vital.

#### 4. CONCLUSIONES

- La evapotranspiración del cultivo de oca (*Oxalis tuberosa* Mol., "K'eny") está en función directa al estado de desarrollo y período vegetativo (190 días), obteniendo con el método de lisímetro Nivel Freático Constante un valor de 566.23 mm de lámina hídrica (5662.3 m<sup>3</sup>/há), siendo la fase fenológica de mayor consumo de agua, la de finalización de floración con 201.48 mm, coincidente con la tuberización.
- La evapotranspiración del cultivo de oca para la zona, en función a informa-

ciones metereológicas, para el período vegetativo completo del cultivo por el método de Hargreaves en función a temperatura es de 598.92 mm, y por el de Penman-Monteith 584.25mm, son estadísticamente similares al obtenido con el lisímetro NFC. La diferencia aritmética entre los métodos es atribuible a los distintos parámetros climáticos y coeficientes considerados en sus fórmulas.

- El coeficiente de cultivo (Kc) para el cultivo de oca obtenida por el método del lisímetro, se inicia en la fase fenológica de emergencia con Kc = 0.35, alcanzando el valor máximo en la fase fenológica de finalización de floración con Kc = 1,56 y finalmente culmina con un valor promedio de Kc = 0.72 en la fase de madurez fisiológica; valores que son atribuibles a las condiciones específicas del sistema Lisímetro "NFC" y relación suelo-agua-planta-clima presentes en la campaña agrícola.

La eficiencia en el uso del agua (EUA) del cultivo de oca "K'eny" para la producción de tubérculo obtenido en este primer experimento, fue de 7,3 kg/m<sup>3</sup> de agua evapotranspirada bajo el sistema Lisímetro NFC. El alto rendimiento del cultivo (41.32 ton/ha) y desde luego un mayor valor de EUA, es atribuible a las condiciones favorables de los factores de producción que se dieron en la campaña agrícola, en especial al contenido de humedad del suelo muy próxima a condiciones de capacidad de campo.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Coaqueira, D. (2009). *Determinación de las Necesidades de agua en el Cultivo de Quinua (Chenopodium quinoa Willd. Var. Salcedo INIA) en Puno*, Tesis Para obtener el Título profesional de Ingeniero. Agrónomo, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

- Choquecallata J., Vacher J., Fellmann T.y IMAÑA E. (1990). *Evapotranspiración máxima del cultivo de la quinua por lisímetro*.

- tria y su relación con la evapotranspiración potencial en el altiplano boliviano. IBTA-SENAMHI, c.p. 9214, La Paz-Bolivia.
- De Santa Olalla, M. F. (2005). *Agua y Agronomía*. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W. O. (1982). *Las necesidades de agua de los cultivos*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Fuentes Y. J. (1996). "Técnicas de Riego". Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Godoy A. C., Pérez G. A. & Torres E. C. A., Hermosillo L. J. y Reyes J. I. (2001). *Uso de agua, producción de forraje y relaciones hidráticas en lucerne con riego por goteo sub-superficial*. (pp 107-115). Agrociencia.-México
- Hargreaves H.G. 1975. "Manual de requerimiento de agua para los cultivos bajo riego y la agricultura bajo secano". AID.
- Mamani, R. (1989). *Necesidad de Agua para el Cultivo de Oca (Oxalis tuberosa Mol.) en el Distrito de Puno*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Olivera V. S. (1997). *Determinación de Uso Consumutivo en el Cultivo de Avena y Alfalfa en el Sector de Riego Cantería*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Penman H.L. (1963). *Vegetación e hidrología*. Tech. Comm. No. 53, Commonwealth Bureau of Soils, Harpenden, Reino Unido.
- Ramírez C. (2001). *Determinación de la evapotranspiración en el cultivo de la maca en Puno*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Solis G. J. (2002). *Producción de materia seca y concentración de proteína y saponina en quinua (Chenopodium quinoa Wild.) para aplicación forrajera, bajo diferentes déficit de humedad en el suelo y ambientes*. Tesis para optar el grado de Dr. en Ciencias Agrícolas, UAA-AN, Mexico.
- Vallenas S.M. (1989). *Fenología del cultivo de la oca. Curso taller de cultivos andinos y uso de información agrometeorológica*. PISA-INIAA. Puno, Perú.
- Vásquez A. & Vásquez I. (1997). *Principios Básicos del Riego*. FIMART S.A.C. Ediciones.