

EVAPOTRANSPIRACION MAXIMA DEL CULTIVO DE LA QUINUA POR LISIMETRIA Y SU RELACION CON LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

J. CHOQUECALLATA¹, J. VACHER², T. FELLMANN², y E. IMAÑA³

1: IBTA-SENAMHI, C.P. 9214, La Paz-Bolivia

2: ORSTOM C.P. 9214, La Paz-Bolivia

3: SENAMHI, C.P. 10993, La Paz-Bolivia.

I. INTRODUCCION

La evaluación de la intensidad de las sequías agrícolas, al igual que la planificación de proyectos de riego para dar solución al déficit hídrico imperante en las zonas áridas y semiáridas, como el Altiplano Sur y Central de Bolivia, requieren del conocimiento de la evapotranspiración o consumo de agua de los cultivos.

Las necesidades de agua de los cultivos, generalmente se estiman a partir de los datos de coeficiente de cultivo (kc) y de evapotranspiración potencial (ETP), el primero de los cuales es un valor morfo-fisiológico propio de cada cultivo, y el segundo una variable que depende del clima de una zona (Brouwer y Heibloeu, 1987; Doorenbos y Pruitt, 1976).

Como la evapotranspiración máxima (ETM) del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) no pudo ser estimada por el procedimiento anterior debido a la falta de datos concluyentes del kc de la quinua y de la ETP en el Altiplano boliviano, se hizo necesario su determinación directa por medio de la lisimetría.

Los objetivos del presente trabajo fueron:

- Determinar la evapotranspiración máxima (ETM) del cultivo de la quinua mediante lisímetros de drenaje en Patacamaya.
- Estimar y comparar entre sí, para las condiciones locales, las tasas de evapotranspiración potencial (ETP) a partir de diferentes fórmulas basadas en datos meteorológicos.
- Obtener los coeficientes de cultivo de la quinua a través de la relación ETM/ETP.

II. MATERIALES Y METODOS

El experimento se llevó a cabo de octubre (1989) a abril (1990) en la Estación Experimental de Patacamaya (Altiplano Central), caracterizada por las siguientes condiciones climatológicas medias anuales: temperatura media 10°C, precipitación 402 mm, humedad relativa 50%, radiación solar global 2234 J/cm² día, radiación neta 868 J/cm² día y velocidad del viento 3 m/s.

Los materiales empleados fueron: dos lisímetros de drenaje metálicos de 4 m² de superficie y 1 m de profundidad, que fueron instalados en medio de una parcela de 1000 m² de quinua bajo riego, una sonda de neutrones y equipo de riego por surco; la semilla de quinua empleada fue de la variedad Sajama Amarantiforme, de ciclo corto.

La metodología empleada en la determinación de la ETM del cultivo de la quinua por lisimetría, se basó en la ecuación del balance hídrico siguiente:

$$ETR = PP + RR - D +/- \Delta S$$

donde ETR es la evapotranspiración real, PP la precipitación, RR el riego, D el drenaje interno y ΔS la variación del stock de agua en el suelo. Sin embargo, como en las condiciones del experimento, el riego fue diario y el drenaje continuo, el suelo estaba siempre cercano a la capacidad de campo (verificado con mediciones de la sonda de neutrones) con la consiguiente tendencia a cero de la variación del stock de agua en el suelo (Aboukhaled *et al.* 1986; Lira y Flores 1986); por estas consideraciones la ETR correspondió a la ETM:

$$ETM = PP + RR - D$$

La metodología empleada en la estimación de la ETP, se basó en la utilización de fórmulas empíricas y la fórmula física de Penmann; los datos meteorológicos para este fin, fueron extractados de los observatorios automático y convencional de Patacamaya. Para la fórmula de Penmann se utilizaron datos de radiación neta directamente medidos por un pirradiómetro. Se analizaron también los datos de evaporación (EV) del tanque clase A.

La obtención de los coeficientes de cultivo (k_c), fue realizada a través de la siguiente relación:

$$k_c = \text{ETM}/\text{ETP}$$

la ETP para este caso correspondió a la de Penmann por ser la fórmula más universal y precisa (Doorenbos y Pruitt 1976; Monteith 1985; Rodríguez 1980; Seguin *et al.*, 1982).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

1. Evapotranspiración máxima (ETM) del cultivo de la quinua

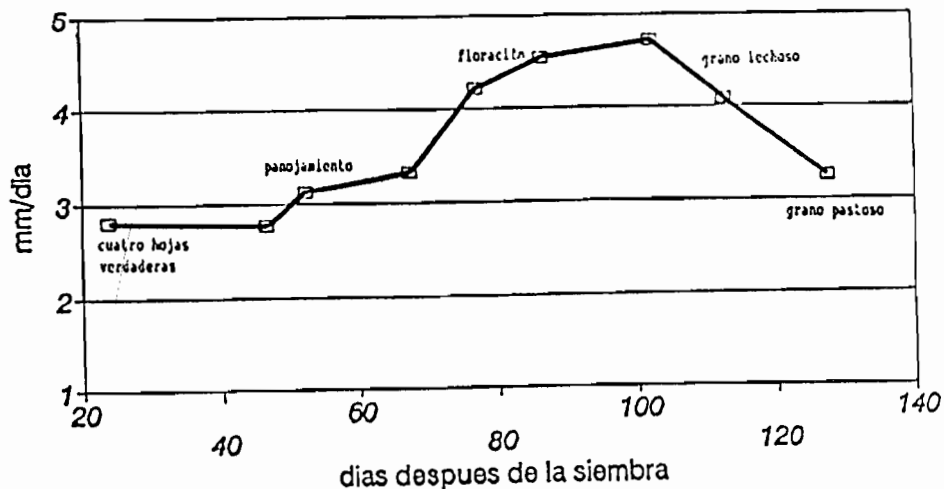
La Figura 1, muestra la evolución de la ETM (mm/día) del cultivo de la quinua a lo largo de su desarrollo en las condiciones meteorológicas de la campaña agrícola 89/90 en el Altiplano Central. Las más altas demandas de agua se registraron durante las fases fenológicas de floración e inicio de grano lechoso con 4,54 y 4,71 mm/día respectivamente, los cultivos anuales tienen en estas fases los más altos índices de área foliar (Lira y Flores 1986). La ETM promedio de todo el ciclo fue de 3,64 mm/día, lo que para un período de 134 días (siembra: 23/11/89, cosecha: 06/04/90) corresponde a una ETM acumulada de 488 mm.

Para la quinua, variedad Sajama (ciclo medio), Morales (1973) reportó en el Altiplano boliviano una ETM total acumulada de 519 mm, en tanto que Silva (1977) obtuvo en el Altiplano peruano una ETR total acumulada cercana a 350 mm. Doorenbos y Pruitt (1976), señalan para el sorgo y mijo (cultivos muy similares a la quinua), valores de evapotranspiración que varían de 300 a 650 mm según los climas.

Hay que señalar que la ETM de la quinua en el presente experimento pudo haber sido influenciada por el fenómeno de advección o efecto de oasis, pues la parcela experimental fue sólo de 1000 m²; la advección pudo haber provocado un leve incremento de ETM (Aboukhaled *et al.*, 1986).

Bajo las condiciones de ETM del experimento, el rendimiento en grano de la quinua fue de 3,70 tn/Ha.

Figura 1. Evapotranspiración máxima (ETM) del cultivo de la quinua por lisimetría en Patacamaya (1989/1990)



2. Evapotranspiración potencial (ETP)

Para la estimación de la ETP, las fórmulas empleadas fueron:

$$\text{Penman} \quad \text{ETP} = \frac{P_o/P \cdot D/\tau R_n + 0,26 (e_s - e_a) (1 + 0,54 U)}{P_o/P \cdot D/ + 1}$$

$$\text{Blaney Criddle:} \quad \text{ETP} = p (0,46 t + 8,13)$$

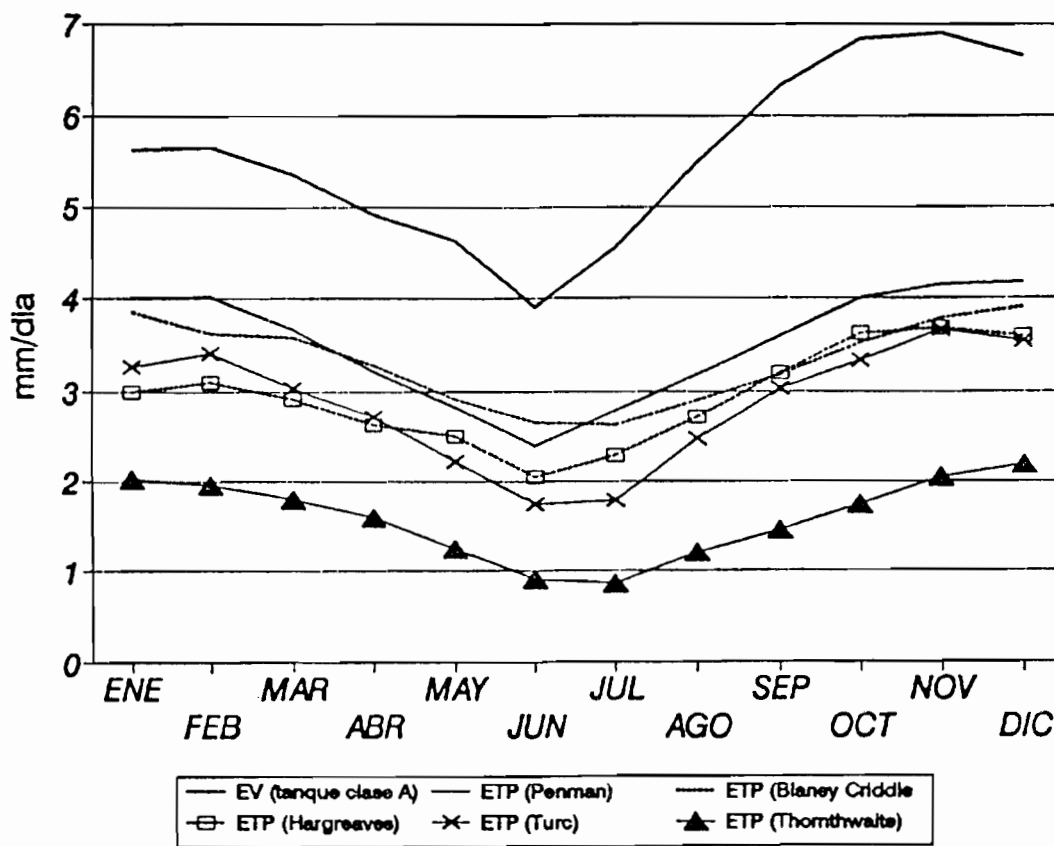
$$\text{Hargreaves:} \quad \text{ETP} = 0,34 R_a (0,4 + 0,024 t) (1,35 \sqrt{1 - HR}) [1 + (0,04 EL/1000)]$$

$$\text{Turc:} \quad \text{ETP} = K \frac{t}{t + 15} (R_g + 50) \left(1 + \frac{50 - HR}{70}\right)$$

$$\text{Thornthwaite:} \quad \text{ETP} = 1,6 (10 t/l)^a K$$

Una explicación más detallada de la fórmulas anteriores, puede encontrarse en los trabajos de Frere *et al.* (1975) y Doorenbos y Pruitt 1976.

Figura 2. Evapotranspiración potencial (ETP) por fórmulas basadas en datos del observatorio meteorológico automático de Patacamaya (1987 - 1990).



La ETP muestra en el Altiplano Central una variación estacional muy marcada (Figura 2). Para los cuatro años analizados (1987-1990), la ETP (Penmann) tiene un valor promedio anual de 3,40 mm/día con un máximo mensual en diciembre (4,17 mm/día) y un mínimo mensual en junio (2,39 mm/día), lo que corresponde a las variaciones de la radiación solar global.

Los valores de ETP (Penmann), se consideran los más exactos por cuanto la fórmula goza de amplias bases científicas debido a su fundamento en el balance radiativo y factor aerodinámico, pues la ETP es principalmente, en orden de importancia, una función de la radiación neta, humedad relativa y viento (Rodríguez 1980); la precisión se hace más evidente con mediciones directas de RN, tal como aconteció en el presente trabajo (Vacher *et al.*, 1988).

La ETP (Blaney Criddle), tiene un valor promedio anual de 3,32 mm/día muy cercana a la de Penmann no obstante de una pequeña sobre estimación de junio; en tanto que la ETP promedio anual de 2,94 mm/día (Hargreaves), 2,85 mm/día (Turc) y 1,58 mm/día (Thornthwaite), subestiman la ETP (Penmann) en 14, 16 y 54 % respectivamente. La exagerada subestimación de la ETP por la fórmula de Thornthwaite, confirma su inaplicabilidad para las condiciones del Altiplano boliviano (Frere *et al.* 1975).

La evaporación (EV) del tanque clase A, tuvo un valor promedio anual de 5,57 mm/día, con una evolución muy similar a la ETP (Penmann). El coeficiente de tanque ($k_p = ETP/EV$) resultó ser de 0,63 coincidente con el propuesto por Doorenbos y Pruitt (1976) para las condiciones de entorno del tanque en Patacamaya. Se propone la fórmula siguiente de estimación de la ETP (mm/día) en función de la EV (mm/día) del tanque clase A:

$$ETP = 0,39 + 0,56 EV \quad (r = 0.90)$$

3. Coeficiente de cultivo (k_c) de la quinua

El Cuadro 1, muestra la evolución del k_c de la quinua de acuerdo a su desarrollo morfo-fisiológico y fenológico; los más altos valores de éste coeficiente de desarrollo, se registraron en las fases fenológicas de floración e inicio de grano lechoso con 1,08 y 1,14 respectivamente. El k_c promedio estacional fue de 0,87 lo que ubica a la quinua como cultivo de moderado requerimiento de agua.

Cuadro 1. Valores de la ETM de la quinua de la ETP (Penmann) y del k_c de la quinua. Patacamaya (1989/1990)

Período	ETM mm/día	ETP mm/día	k_c	Fase fenológica
15/12/89 - 17/12/89	2,80	4,85	0,58	cuatro hojas verdaderas
05/01/90 - 10/01/90	2,77	4,40	0,63	inicio de panojamiento
11/01/90 - 16/01/90	3,12	4,25	0,73	panojamiento
26/01/90 - 31/01/90	3,32	3,68	0,90	inicio de floración
03/02/90 - 11/02/90	4,21	4,16	1,01	floración o antesis
13/02/90 - 20/02/90	4,54	4,19	1,08	floración o antesis
01/03/90 - 08/03/90	4,71	4,12	1,14	inicio de grano lechoso
10/03/90 - 19/03/90	4,08	4,06	1,00	fin de grano lechoso
23/03/90 - 05/04/90	3,25	4,17	0,78	grano pastoso
x	3,64	4,21	0,87	

IV. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se llega a las siguientes conclusiones:

- La evapotranspiración máxima (ETM) del cultivo de la quinua variedad "sajama amarantiforme" por lisimetría en el Altiplano Central de Bolivia fue de 3,64 mm/día (promedio estacional), con valores 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.

- La evapotranspiración potencial (ETP) promedio anual para la zona de estudio según la fórmula de Penmann fue de 3,40 mm/día con su equivalente de 1241 mm/año. La fórmula empírica que mejor se aproximó a la de Penmann fue la de Blaney Criddle original, en tanto que la menos precisa fue la de Thornthwaite que llegó a subestimar la ETP en un 54 % respecto a Penmann. Con los datos de evaporación (EV) del tanque clase A, se obtuvo un coeficiente de tanque (kp) de 0,63 y una fórmula de estimación de la ETP (mm/día) en función de la EV (mm/día) del tanque clase A:

$$ETP = 0,39 + 0,56 EV \quad (r = 0,90)$$

- El coeficiente de cultivo (k_c) de la quinua fue de 0,87 promedio estacional, con valores que evolucionan de acuerdo al desarrollo fenológico del cultivo alcanzando sus más altos niveles durante la floración e inicio de grano lechoso con 1,08 y 1,14 respectivamente.

V. BIBLIOGRAFÍA

- ABOUKHALED, A., ALFARO, J.F. y SMITH, M. 1986. Los lisímetros; Estudio riego y drenaje 39. FAO. Roma, Italia. 60 p.
- BROUWER, C. y HEIBLOEU, M. 1987. Necesidades de agua de los cultivos. Manual de campo N° 3 de manejo del agua de riego. FAO. Roma, Italia. 70 p.
- DOORENBOS, J. y PRUITT, W.O. 1976. Las necesidades de agua de los cultivos; Estudio, riego y drenaje 24. FAO. Roma, Italia. 194 p.
- FRERE, M., RIJKS, J. y REA, J. 1975. Estudio agroclimatológico de la zona andina; Informe técnico. FAO/UNESCO/OMM. Roma, Italia. 375 p.
- LIRA, R.H. y FLORES, L.F. 1986. Memorias del taller sobre lisimetría, estudios de evapotranspiración. SARH/INIFAP/CIAN/PRONAPA. Gomez Palacio Domingo, México. 420 p.
- MONTEITH, J.L. 1985. Evaporation from land surfaces: Progress in analysis and prediction since 1948. In: advances in evapotranspiration. Amer. Soc. Agr. Engi. Michigan. 4-11 pp.
- MORALES, D. 1973. Determinación del uso consuntivo por lisímetros en quinua y cebada en el Altiplano Central (Patacamaya) Tesis Ing. Agr. Universidad Boliviana Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 42 p.
- RODRIGUEZ, C. 1980. La radiación solar en la estimación de la evapotranspiración potencial. Depto. de irrigación. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 73 p.
- SEGUIN, B., BRUNET, Y. and PERRIER, A. 1982. Estimación of evaporation: a review of existing methods and recent developments. In: E.G.S. Meeting Symposium on Evaporation Leeds. August. Preprint. 19 p.
- SILVA, M.O 1977. Evapotranspiración en el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Técnica del Altiplano. Puno, Perú. 34 p.
- VACHER, J., ATTEIA, O., IMAÑA, E., CHOQUEVILLCA, J., MALDONADO, R. Y MENDEZ, A. 1988. La radiación neta y la evapotranspiración potencial (ETP) en el Altiplano boliviano. In: Actas del segundo simposio de la investigación francesa en Bolivia. ORSTOM. La Paz, Bolivia. 190 p.

ACTAS DEL
VII CONGRESO
INTERNACIONAL
SOBRE CULTIVOS
ANDINOS

LA PAZ BOLIVIA 4 AL 8 DE FEBRERO DE 1991



EDITORES: D. MORALES Y J.J. VACHER



CRSTOM



ACTAS DEL VII CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CULTIVOS ANDINOS

La Paz - Bolivia, 4 al 8 de febrero

Editores

D. Morales y J.J. Vacher

IBTA

INSTITUTO BOLIVIANO DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

ORSTOM

L'INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE
DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

CIID-Canada

CENTRO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

La Paz, 1992