

RIEGO SUBSUPERFICIAL EN LECHUGA (*Lactuca sativa*) Y NABO (*Brassica naphus*) EN LAS ZONAS BAJAS DEL ALTIPLANO BOLIVIANO: CONSUMO DE AGUA

R. Chipana Rivera, G. Serrano Coronel

Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés
C/ Landaeta, esquina Abdon Saavedra, La Paz (Bolivia)
renechipana@yahoo.com

Resumen: Una de las tecnologías ancestrales para drenar el agua excedente de las zonas bajas y suministrar este elemento a los cultivos mediante flujo ascendente a partir de la napa freática son los camellones o suka kollu, no obstante, existe poca información respecto al consumo de agua bajo este sistema. En tal sentido el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el consumo de agua de hortalizas en el sistema de riego subsuperficial. Se utilizaron los cultivos de nabo (*Brassica naphus*) variedad corona morada y lechuga (*Lactuca sativa*) variedad señorita, cultivados bajo riego tradicional y riego subsuperficial con dos profundidades de la napa freática, 35 y 55cm. El consumo de agua durante todo el ciclo de los cultivos fue de 228 L/m² para el riego subsuperficial y 450 L/m² para el riego tradicional, con un ahorro de agua del 50%, asimismo los rendimientos de los cultivos fueron superiores bajo el sistema de riego subsuperficial, y dentro de esta la profundidad de la napa freática de 55cm permitió obtener mayores rendimientos de los cultivos comparado con la profundidad de 35cm.

INTRODUCCIÓN

Los agricultores de la región andina que hoy es el altiplano boliviano, vienen enfrentándose desde la antigüedad a una diversidad de condiciones adversas, tales como: sequías, heladas, baja fertilidad de suelos y anegamiento de los terrenos ubicados en las zonas bajas (principalmente en la zona circundante al lago Titicaca). No obstante, su fuerte organización social les permitió emprender grandes tareas con resultados exitosos, fundamentalmente en la agricultura, cuyos alcances actualmente son motivo de estudio y discusión por profesionales de varias disciplinas. Este aspecto permitió que se establezcan y desarrollen en la meseta altiplánica culturas precolombinas antiguas como los Tiwanaku, Pukara, Cusipata, Lupaka, Collagua, Uro y Puquina.

En las zonas bajas, debido al anegamiento de los terrenos cultivados desarrollaron la tecnología de cultivo en camellones, más conocidos como "suka kollu" (vocablo aymara) o "waru waru" (vocablo quechua), que consisten en terraplenes elevados formados artificialmente y bor-

deados por canales con agua (Figura 1). En dichos terraplenes se efectúa el cultivo de diferentes especies nativas de la región altiplánica. De acuerdo con Erickson (1986), los camellones han tenido dos fases de desarrollo: la primera iniciada el año 1.000 A.C., hasta el 300 D.C. De aquí posiblemente por problemas de orden climático no se conoce ninguna actividad hasta aproximadamente el año 1.000 D.C., período en el que comienza la segunda fase con los Aymaras hasta la conquista española. Por la disposición de los "suka kollus" en el campo y por sus características constructivas, presentan varias ventajas, tales como cambios en el microclima debido a que el agua de los canales retiene calor durante el día, emitiendo radiación de onda larga al área circundante, principalmente cuando la temperatura del aire sobrepasa los niveles de tolerancia de los cultivos a las heladas (Morlon, 1979). Estas modificaciones del espacio físico y microclima permiten ampliar el periodo de los cultivos, la formación de abonos orgánicos en el fondo de los canales, reducción de la erosión eólica y drenar el exceso de agua del suelo.

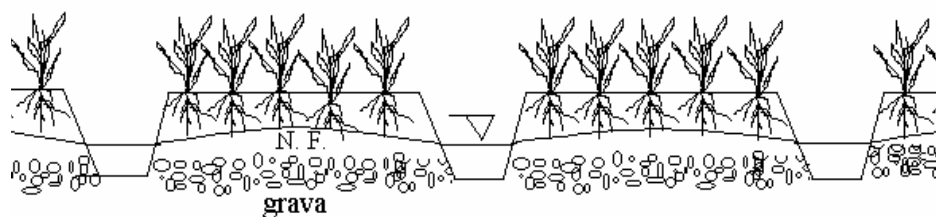


Figura 1. Diagrama esquemático de los "suka kollus"

Al respecto, Cruciani (1987) indica que la profundidad de la napa freática no tiene un efecto directo en el crecimiento vegetal, empero, Giacoia Neto *et al.* (1995), observaron que la producción del cultivo de zanahoria empieza a disminuir cuando la profundidad de la napa freática es menor a 35cm.

Haciendo una analogía de este sistema de riego andino, con los conocimientos y terminología convencional, esta tecnología desarrollada es un sistema de riego subsuperficial, debido a que los canales que rodean a los camellones forman una napa freática cuya profundidad se controlaba con el caudal y pendiente de los canales, por tanto el riego o suministro de agua a los cultivos ocurre mediante un flujo ascendente de agua desde la napa freática hasta la zona radicular, en función al gradiente de potencial hídrico y a la conductividad hidráulica del suelo, tal como se puede advertir en la relación propuesta por Darcy-Buckingham (Libardi, 2000).

Por otro lado, pese a que en la región andina se generaron tecnologías como la indica y ser uno de los ocho centros de domesticación de plantas cultivadas en el mundo (Tapia, 1990), fundamentalmente de cultivos tales como papa, maíz, ulluco, cañahua, oca, quinua, etc., existe elevados niveles de desnutrición, producto de un bajo consumo de hortalizas, aspecto que ha llevado a instituciones públicas y privadas a encarar programas y proyectos de seguridad alimentaria, mediante al implementación de sistemas de riego (por las escasas y mal distribuidas precipitaciones que varían entorno a los 500mm por año entre los meses de enero a marzo), en su mayoría por superficie (surcos y melgas), con elevadas pérdidas de agua., debido al tipo de suelos, topografía y manejo deficiente del riego.

En tal sentido, asumiendo algunos principios del sistema de riego en "suka kollus", se llevó a cabo la presente investigación que tuvo como objetivo evaluar el consumo de agua en los cultivos de lechuga y nabo en el sistema de riego subsuperficial.

Dentro las hortalizas, la lechuga es la especie más producida en Bolivia, no obstante los volúmenes producidos son menores a su demanda, por tanto es necesario el uso de técnicas que permitan la obtención de mayor productividad y elevadas eficiencias de riego, debido a que este cultivo es muy dependiente del contenido de humedad en el suelo. Según Filgueira (1982), el suelo debe estar con una capacidad mayor al 80% de su capacidad de retención. Por su parte Gonçalves *et al.* (2000) encontraron que la lechuga responde muy positivamente al manejo simultáneo de agua nutrientes en el suelo.

METODOLOGÍA

El estudio fue llevado a cabo en los predios de la Granja Experimental Universitaria "Kentupata", que dependía en ese momento del Instituto de Desarrollo Regional (IDR), de la Universidad Mayor de San Andrés, ubicado a 50km de la ciudad de La Paz. Geográficamente está localizado entre los paralelos 16° 33' de latitud sur y 68° 31' de longitud oeste, a una altura de 3.850 m.s.n.m.

En esta zona, el clima es seco y frío con grandes variaciones diarias de temperatura y marcado déficit hídrico. La precipitación anual varía entre 400 a 600mm, distribuidos entre los meses de diciembre a marzo. Las temperaturas mínimas promedio están entorno a los - 5°C y las máximas promedio alcanzan los 16°C. La topografía es predominantemente plana con ligeras pendientes, con suelos variando de medianamente ácidos a medianamente básicos, formados sobre material aluvial relativamente profundos, con textura arcillo arenosa.

Para una mejor cuantificación de los aportes de agua, el experimento fue ejecutado en un ambiente protegido con plástico transparente, en una superficie de 100 m². Para el aprovisionamiento de agua se utilizó un recipiente de 200 L de capacidad ("turril"), a partir del cual el agua era conducido hasta las unidades experimentales mediante tuberías de polietileno.

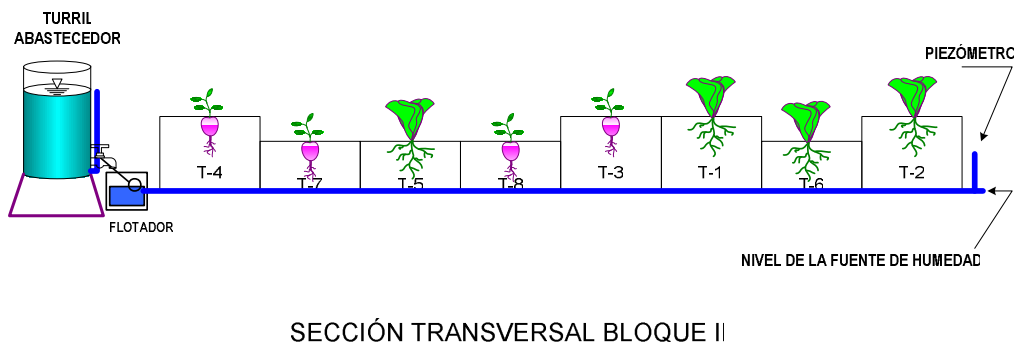


Figura 2. Disposición del sistema de abastecimiento de agua para el riego subsuperficial

El sistema de riego subsuperficial se implementó en dos profundidades de la napa freática, 35 y 55cm desde la superficie del suelo, para ambos cultivos, donde el límite inferior fue el nivel del agua. Este nivel se mantuvo constante en las unidades experimentales a través de un flotador que estaba conectado al "turri" (Figura 2).

La disposición del experimento y de las unidades experimentales dentro del ambiente protegido se puede observar en la Figura 3. Dichas unidades experimentales fueron aisladas unas de las otras mediante estructuras de plástico, para evitar interacciones por movimiento lateral y vertical de agua. Posteriormente en cada unidad experimental se colocó el sustrato de suelo preparado, consistente en una mezcla tierra del lugar, arena y estiércol de ganado vacuno en una proporción de 6:3:1. Posteriormente se efectuó la plantación de los cultivos: nabo (*Brassica napus*) variedad corona morada y lechuga (*Lactuca sativa*) variedad señorita.

Cada unidad experimental tenía un área de 1,5m² (1,5m × 1m), siendo la superficie experimental neta de cultivo igual a 48 m². En ambos cultivos la siembra se efectuó en surcos situados a una distancia de 0,22m y entre plantas 0,20 m, obteniéndose una densidad de 24 plantas/ m².

La plantación de ambos cultivos se efectuó el 22 de marzo de 2001 y la cosecha el 21 de junio de 2001, con una duración del ciclo vegetativo de 91 días.

Para el análisis estadístico se empleó el diseño experimental con arreglo combinatorio "distribución en bloques al azar", con 8 tratamientos y 4 repeticiones, cuyos factores y niveles fueron los siguientes:

Factores	Niveles
A: Profundidad (napa freática)	a1: 55cm a2: 35cm

B: Cultivo	b1: Lechuga b2: Nabo
C: Riego	c1: Riego tradicional c2: Riego subsuperficial

siendo los tratamientos los siguientes:

T-1 Profundidad 55cm, cultivo lechuga, riego tradicional

T-2 Profundidad 55cm, cultivo lechuga, riego subsuperficial

T-3 Profundidad 55cm, cultivo nabo, riego tradicional

T-4 Profundidad 55cm, cultivo nabo, riego subsuperficial

T-5 Profundidad 35cm, cultivo lechuga, riego tradicional

T-6 Profundidad 35cm, cultivo lechuga, riego subsuperficial

T-7 Profundidad 35cm, cultivo nabo, riego tradicional

T-8 Profundidad 35cm, cultivo nabo, riego subsuperficial

En los tratamientos bajo riego subsuperficial, no hubo limitación en el suministro de agua puesto que a medida que se iba consumiendo por la evapotranspiración de los cultivos, este elemento era automáticamente repuesto, y la cantidad de agua consumida en los tratamientos se determinó mediante la medición de la altura de descenso de agua en el "turri". En los tratamientos bajo riego tradicional el suministro de agua fue realizado según apreciaciones empíricas de los mismos agricultores en base a sus costumbres. Asimismo, las labores culturales (aporque, deshierbe y tratamientos fitosanitarios) fueron similares para todos los tratamientos.

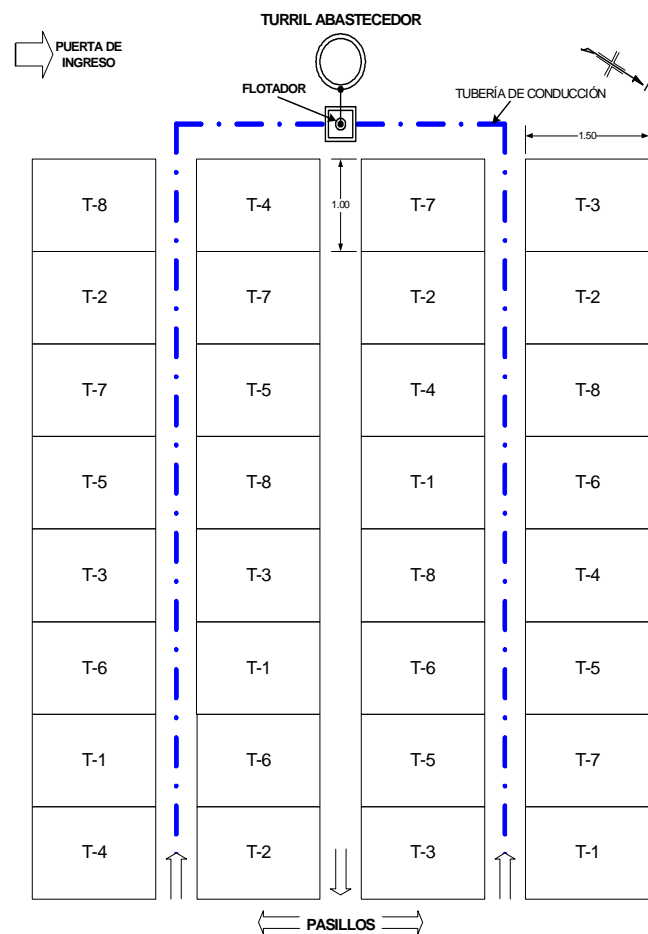


Figura 3. Disposición del experimento, dentro el ambiente protegido

Debido al aislamiento del sistema y a la eliminación de los aportes de agua de lluvia y de las pérdidas de agua por percolación y escorrentía superficial, el balance hídrico en el sistema de riego subsuperficial se redujo a los siguientes componentes:

Flujo ascendente de agua desde la napa freática
(q) = Evapotranspiración de cultivo (ET)

Asimismo, la evapotranspiración de referencia (ET_o) fue calculada con la ecuación de Hargreaves y Samani (1985), debido a que sólo se contaba con mediciones de temperatura máxima y mínima

$$ET_o = 0,0023Q_o(T_{max} - T_{min})^{0,5}(T_{med} + 17,8) \quad (1)$$

donde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm/d);

T_{max} = Temperatura máxima del aire ($^{\circ}C$);

T_{min} = Temperatura mínima del aire ($^{\circ}C$);

T_{med} = Temperatura media del aire ($^{\circ}C$);

Q_o = Radiación solar extraterrestre en mm de evaporación equivalente.

Con la anterior información y el coeficiente de cultivo (kc) se determinó la evapotranspiración de cultivo. Para la elección de los valores de kc , se tomó en cuenta las consideraciones efectuadas por Pires *et al.* (2001) donde se indica que el coeficiente de cultivo de la lechuga en suelos con alta humedad varía entre 0,7 a 1,05 y en el nabo entre 0,5 a 1,10.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dentro del ambiente protegido, durante el tiempo que duró el estudio, la evapotranspiración de referencia determinada, inicialmente fue alta (7,5mm/d), por las elevadas temperaturas, elevada amplitud térmica y radiación solar. Con el transcurso de las semanas disminuyó hasta alcanzar los 4,6mm/d. Respecto a la evapotranspiración de la lechuga esta fue superior al cultivo de nabo en la fase inicial, posteriormente prácticamente fueron similares en la fase final (Figura 4).

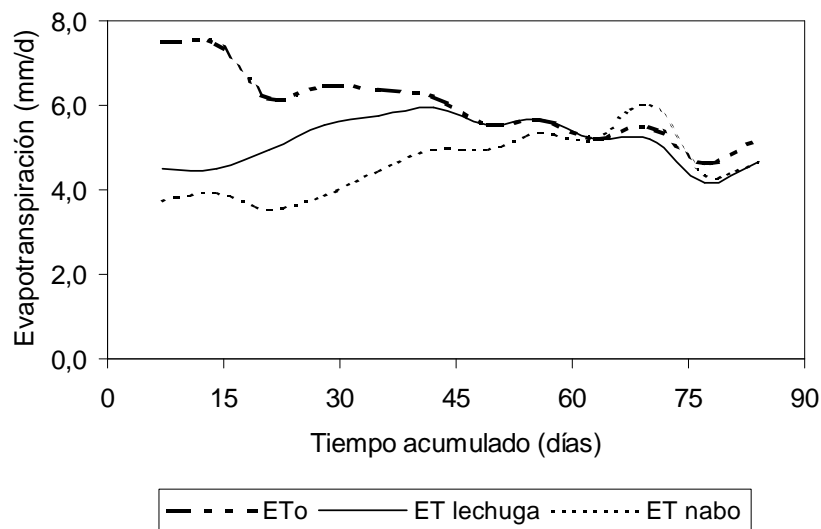


Figura 4. Variación de la evapotranspiración de referencia (ET_o), de la evapotranspiración del cultivo de lechuga (ET_l) y evapotranspiración del cultivo de nabo (ET_n), con el tiempo

El consumo de agua en los diferentes tratamientos se muestra en la Tabla 1, donde se puede observar que en el sistema de riego subsuperficial los mayores consumos se dieron para una profundidad de la napa freática de 35cm (tratamientos 6 y 8) comparado con 55cm, siendo 203,7mm para la lechuga y 188,2mm para el nabo. Este aspecto puede explicarse en razón a que la tasa de flujo de agua en el suelo (q) es inversamente proporcional a la distancia entre los puntos considerados y además porque el área foliar del cultivo de lechuga es mayor al nabo, por tanto la evapotranspiración también será mayor.

En el sistema de riego tradicional, los mayores consumos de agua también se dieron para una profundidad del suelo de 35cm, donde el consumo en el cultivo de lechuga fue de 418mm (tratamiento 5) y para el nabo de 343mm (tratamiento 7). Comparando todos los tratamientos de riego tradicional con riego subsuperficial, se puede indicar que prácticamente existe un ahorro de agua del 50% en favor del segundo sistema, debido a que los regantes en base a sus conocimientos empíricos optan por aplicar bastante agua al suelo y porque en el riego subsuperficial, las pérdidas de agua por evaporación prácticamente son nulas, principalmente en las últimas fases de desarrollo, con tasas de consumo de agua promedio de 2mm/d para el riego subsuperficial y 3,0mm/d para el riego tradicional (Tabla 2). Este aspecto es reforzado por Camp (1998), en sistemas de riego por goteo subsuperficial quien observó en todos los casos que este tipo es igual

o mejor que otros sistemas y entre otras cosas requiere menos cantidad de agua por reducirse drásticamente las pérdidas de agua por evaporación.

Respecto a los rendimientos de los cultivos, se puede señalar que hubo diferencias altamente significativas al nivel 0,01 en las fuentes de variación de profundidad, riego e interacción profundidad - riego. Por tanto los rendimientos fueron superiores en los tratamientos con riego subsuperficial (Tabla 3), debido probablemente a que las plantas tuvieron un mejor y continuo suministro de agua, en función a las necesidades de agua de los cultivos. De igual manera se observaron diferencias altamente significativas entre las profundidades de localización del nivel de la napa freática en el suelo, siendo mayores los rendimientos cuando el nivel de agua se encontraba a 55cm de la superficie del suelo, debido posiblemente a que a la profundidad de 35cm hubo exceso de humedad y poca aireación en el suelo, con las consiguientes consecuencias.

El rendimiento en materia fresca de la parte aérea de la lechuga alcanzó 4,7kg/m² para una profundidad de la napa freática de 55cm y 3,3kg/m² para una profundidad de 35cm. En el caso del nabo para la primera profundidad el rendimiento fresco de la raíz alcanzó a los 6,7kg/m² y para la segunda 4,8kg/m². Por tanto se puede inferir que para ambos cultivos la ubicación de la napa freática a 55cm de profundidad, proporciona la suficiente cantidad de agua para el desarrollo de la lechuga y nabo.

Tiempo (días)	Consumo de agua en el periodo (mm) por tratamiento							
	T - 1	T - 2	T - 3	T - 4	T - 5	T - 6	T - 7	T - 8
7	7,4	3,1	15	8,5	20	13,4	35	20,5
14	31	22,5	42	18,9	50	25,8	48	23,4
21	20	12,4	28	13,9	42	19	30	17
28	18	10,4	25	13,8	31	13,8	21	12,4
35	15	7	15	6,9	25	10,1	15	7,8
42	21	8	16	7,8	18	10,4	16	9,3
49	20	8,3	15	9,4	20	10,8	20	9,1
56	22	9,3	28	12,8	32	14,6	25	12,7
63	25	12,6	30	14	36	15,5	23	13,9
70	20	16,2	35	19,9	51	24,3	30	18,9
77	23	13,9	35	18,4	46	23,4	42	22,7
84	18	10,9	30	15,6	47	22,6	38	20,5
Total	240,4	134,6	314	159,9	418	203,7	343	188,2

Tabla 1. Consumo de agua por el sistema de riego en los diferentes tratamientos, durante la fase vegetativa de los cultivos

Tiempo (días)	Consumo de agua en el periodo (mm/d) por tratamiento							
	T - 1	T - 2	T - 3	T - 4	T - 5	T - 6	T - 7	T - 8
7	1,1	0,4	2,1	1,2	2,9	1,9	5,0	2,9
14	4,4	3,2	6,0	2,7	7,1	3,7	6,9	3,3
21	2,9	1,8	4,0	2,0	6,0	2,7	4,3	2,4
28	2,6	1,5	3,6	2,0	4,4	2,0	3,0	1,8
35	2,1	1,0	2,1	1,0	3,6	1,4	2,1	1,1
42	3,0	1,1	2,3	1,1	2,6	1,5	2,3	1,3
49	2,9	1,2	2,1	1,3	2,9	1,5	2,9	1,3
56	3,1	1,3	4,0	1,8	4,6	2,1	3,6	1,8
63	3,6	1,8	4,3	2,0	5,1	2,2	3,3	2
70	2,9	2,3	5,0	2,8	7,3	3,5	4,3	2,7
77	3,3	2,0	5,0	2,6	6,6	3,3	6,0	3,2
84	2,6	1,6	4,3	2,2	6,7	3,2	5,4	2,9

Tabla 2. Tasa de consumo de agua por el sistema de riego en los diferentes tratamientos, durante la fase vegetativa de los cultivos

Tratamiento	Rendimiento del cultivo (kg/m ²)	
T - 1	2,5	Lechuga
T - 2	4,7	Lechuga
T - 3	1,2	Nabo
T - 4	6,7	Nabo
T - 5	2,5	Lechuga
T - 6	3,3	Lechuga
T - 7	2,3	Nabo
T - 8	4,8	Nabo

Tabla 3. Rendimiento de lechuga en peso fresco de la parte aérea y peso fresco de la raíz de nabo (kg/m²)

CONCLUSIONES

Conforme a los resultados alcanzados se pueden indicar las siguientes conclusiones:

- Con el riego subsuperficial se obtuvo un ahorro de agua del 50 %, comparado con el riego tradicional.
- Los rendimientos de los cultivos de lechuga y nabo fueron superiores bajo el sistema de riego subsuperficial.
- La profundidad de la napa freática de 55cm permitió obtener mayores rendimientos de los cultivos en estudio.

REFERENCIAS

- Camp, C.R., (1998). Subsurface drill irrigation: a review. Transactions of the ASAEV, 41 (5), 1353–1367.
- Cruciani, D.E. (1987). A drenagem na agricultura. Sao Paulo, Nobel, 333 p.
- Erickson, C. (1986). Waru Waru: Una tecnología agrícola del altiplano prehispánico. En Andenes y camellones en el Perú andino: Historia, presente y futuro, CONCYTEC, Ministerio de la Presidencia, Lima, Perú, pp. 59–84.
- Filgueira, F.A.R. (1982). Chicoriáceas: alface, chicória e almeirão. En Manual de olericultura: cultura e comercialização de hortaliças, 2ed. Sao Paulo, Agronômica Ceres, Vol. 2. pp. 77–93.
- Giacola Neto, J., Martinez, M.A., Cecon, P.R., Mantovani, E.C. y Pruski, F.F. (1995). Efeito de seis profundidades de lençol freático sobre a produção e componentes de produção da cenoura (*Daucus carota* L.). En XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Vicososa-Minas Gerais, Brasil.
- Gonçalves, A.C.A., Rezende, R., Frizzone, J.A., Folegatti, M. V. (2000). Water and nutrients management effects on soil variables and on lettuce (*Lactuca sativa*) yield, Acta Horticulturae 537, pp. 799–804.
- Hargreaves, G.H., Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. Chicago, Amer. Soc. Agric. Eng. Meeting (Paper 85-2517).
- Libardi, P.L. (2000). Dinâmica da água no solo. 2da ed. Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, p. 497.
- Morlon, P. (1979). Apuntes sobre el problema económico de las heladas. Estudio Agroclimatológico de la Cuenca del Titicaca. Convenio Perú-Canada, Proyecto Colza-Cereales. Ministerio de Agricultura, Alimentación. Región X-Puno, Perú, pp. 1–54.
- Pires, R.C.M., Sakai, E., Arruda, F.B. y Folegatti, M.V. (2001). Necessidades hídricas das culturas e manejo da irrigação. En Irrigação, Vol. 1, SBEA, pp. 121–194.
- Tapia, M. (1990). Cultivos andinos subexplorados y su aporte a la alimentación. INIA. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, pp. 29–58.