



## Productividad del agua con sub-irrigación a dos alturas de sustrato, en los cultivos de nabo (*Brassica naphus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en invernadero en Kentupata

**Water productivity subirrigated substrate at two heights, in crops of swede (*Brassica naphus*) and lettuce (*Lactuca sativa*) glasshouse in Kentupata**

*Genaro Serrano Coronel*

### RESUMEN:

La labor de producir hortalizas en forma intensiva con la aplicación de riego subsuperficial en ambientes atemperados es una estrategia para optimizar el uso de agua, cubriendo los requerimientos hídricos durante todo el ciclo del cultivo. El riego subsuperficial fue suministrado por medio de un reservorio de regulación con una frecuencia de 2 veces por semana, los mismos que fueron cuantificados como gastos en L/semana. Las hortalizas que permitieron evaluar el método de riego subsuperficial fueron el nabo (*Brassica naphus*) variedad corona morada y la lechuga (*Lactuca sativa*) variedad señorita. Para la evaluación experimental se utilizó un arreglo combinatorio distribuido en bloques al azar con 8 tratamientos y 4 repeticiones. Al finalizar el ciclo vegetativo de los cultivos, se realizó la evaluación de las características morfológicas y agronómicas, habiéndose establecido fundamentalmente que la profundidad del nivel freático no afecta de manera directa el desarrollo de las hortalizas, pero influye indirectamente en la producción, en virtud de que las condiciones de humedad y aireación del suelo son afectados por la poca o mucha disponibilidad de agua en el subsuelo. Es así que los mejores rendimientos fueron obtenidos en los tratamientos: T-2 (lechuga a 55 cm de profundidad con R°S) con 47,36 Mg/ha y T-4 (nabo a 55 cm de profundidad con R°S) con 66,50 Mg/ha, que corresponden a la parte comercial en ambos cultivos.

**PALABRAS CLAVE:** Riegos, ciclo vegetativo, hortalizas

### ABSTRACT:

The work to produce vegetables intensively with the application of subsurface irrigation in temperate environments is a strategy to optimize the use of water, covering the water requirements throughout the crop cycle. Subsurface irrigation was supplied by a reservoir regulation with a frequency of 2 times a week, the same as were quantified as expenses in L / week. The vegetables that allowed evaluate the method of subsurface irrigation were turnip (*Brassica naphus*) crown purple variety and lettuce (*Lactuca sativa*) variety miss. a combinational arrangement distributed in randomized blocks with 8 treatments and 4 replications was used for the experimental evaluation. At the end of the growing cycle of crops, evaluation of morphological and agronomic characteristics was performed, having essentially that established; The depth of the water table does not affect directly the development of vegetables, but indirectly influences the production, under the conditions of humidity and soil aeration are affected by the low or high availability of water in the subsoil. So that the best yields were obtained in treatments: T-2 (lettuce to 55 cm deep with R°S) with 47.36 Mg / ha and T-4 (turnip to 55 cm deep with R°S) with 66.50 mg / ha, corresponding to the commercial part in both crops.

**KEY WORDS:** Irrigation, vegetative cycle, vegetables

### AUTOR:

**Genaro Serrano Coronel:** Docente. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés.  
[sicserrano@gmail.com](mailto:sicserrano@gmail.com)

**Recibido: 31/03/17. Aprobado: 28/05/17.**

## INTRODUCCIÓN

La productividad agrícola de gran parte del Altiplano boliviano está supeditado a factores climáticos adversos así como a la escasa disponibilidad de agua, debido a esta situación varias instituciones de servicio empezaron a introducir nuevas tecnologías de producción en ambientes atemperados (camas orgánicas, carpas solares e invernaderos), los mismos fueron desarrollados y probados en países europeos por más de un siglo. Sin embargo, en nuestro medio aún

no se tiene un seguimiento sistematizado que determine el método de riego más apropiado para las condiciones que se crean en el interior de los ambientes atemperados.

La poca disponibilidad de agua de buena calidad, hace que este líquido se convierta en el recurso natural más valioso, por consiguiente urge estudiar metodologías de fácil manejo y mayor aprovechamiento como la sub-irrigación o riego subsuperficial (R°S), que permite aportar la suficiente cantidad de agua a los cultivos y,

controlar la oscilación de la altura del nivel freático, previniendo de esta manera la saturación de los suelos.

Wind (1960), menciona que el flujo ascendente en un suelo de textura gruesa con un nivel freático de 60 cm es de 5 mm/día, en un suelo de textura fina es sólo de 2 mm. Con un nivel freático de 90 cm los flujos se reducen a 1 mm/día en ambos suelos.

La agua subsuperficial adquiere mayor significación en el aprovechamiento de la humedad edáfica por las plantas. Por tanto, producir hortalizas en forma intensiva mediante la sub-irrigación es una estrategia importante para cubrir los requerimientos hídricos durante todo el ciclo del cultivo. En consecuencia, el presente estudio plantea evaluar la productividad del agua con sub-irrigación a dos alturas de sustrato, en los cultivos de nabo (*Brassica napus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en invernadero.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los predios de la Granja Experimental Universitaria de Kentupata, dependiente del Instituto de Desarrollo Regional (I.D.R. - U.M.S.A.) ubicado en el Cantón Tambillo, Provincia Los Andes, al nor-oeste del departamento

de La Paz a una distancia de 50 km. Geográficamente está comprendida entre los paralelos 16° 33' de Latitud Sur y 68° 31' Longitud Oeste, a una altitud de 3850 m.s.n.m. (Figura 1).

**Instalación de materiales y equipo**

El terreno fue emparejado con tierra cernida, estableciéndose sobre el mismo 4 bloques o repeticiones, cada uno con ocho tratamientos divididos en áreas de 1,5 m x 1 m (ver Figura1). En los tratamientos con R°S se introdujo el polietileno grueso para crear una especie de maceta impermeable, en cuya base se extendió paja, y sobre éste una capa de grava de 4 cm de espesor, previa instalación del politubo de distribución de 1 pulg dirigido hacia el centro de cada tratamiento con R°S, una vez emparejado el drenaje con grava se procedió a cubrir con una capa de arena corriente de 3 cm de espesor y, finalmente sobre esta se adicionó el sustrato de tierra en alturas de 55 y 35 cm respectivamente.

Para el abastecimiento y cuantificación del suministro de agua, fue instalado un recipiente (turril) abastecedor de 200 L de capacidad provisto de un flotador para controlar el nivel y un piezómetro para medir el ingreso de agua (Figura 1).

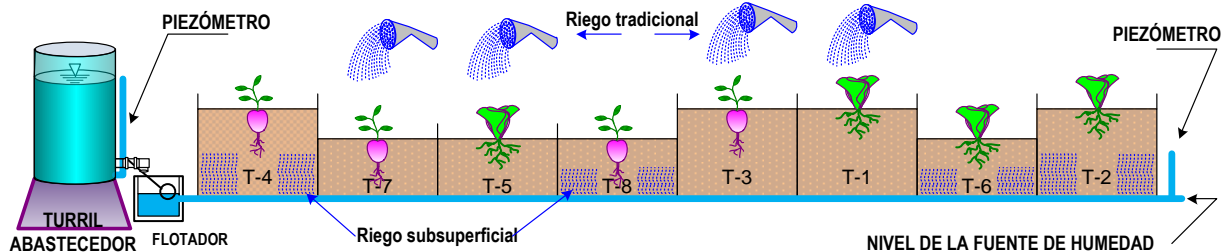


Figura 1. Corte de la sección longitudinal del bloque II.

**RESULTADOS Y DISCUSIONES**

En 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 son los siguientes:

<b>Factores</b>	<b>Niveles</b>
A.- Profundidad	A <sub>1</sub> : 55 cm

A <sub>2</sub> : 35 cm
B.- Cultivo
B <sub>1</sub> : Lechuga (hoja)
B <sub>2</sub> : Nabo (raíz)
C.- Riego
C <sub>1</sub> : Riego tradicional
C <sub>2</sub> : Sub-irrigación

Resultando los siguientes tratamientos:

T-1: Profundidad de 55 cm, cultivo lechuga, empleando riego tradicional.

Productividad del agua con sub-irrigación a dos alturas de sustrato, en los cultivos de nabo (*Brassica napus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en invernadero en Kentupata.

T-2: Profundidad de 55 cm, cultivo lechuga, empleando riego subsuperficial.

T-3: Profundidad de 55 cm, cultivo nabo, empleando riego tradicional.

T-4: Profundidad de 55 cm, cultivo nabo, empleando riego subsuperficial.

T-5: Profundidad de 35 cm, cultivo lechuga, empleando riego tradicional.

T-6: Profundidad de 35 cm, cultivo lechuga, empleando riego subsuperficial.

T-7: Profundidad de 35 cm, cultivo nabo, empleando riego tradicional.

T-8: Profundidad de 35 cm, cultivo nabo, empleando riego subsuperficial.

Para medir la variación de presión matricial durante el ensayo, los tensiómetros fueron instalados a las profundidades de 15 y 25 cm respectivamente, con estos se midió el potencial matricial mediante la siguiente ecuación:

$$\Psi_m = -12.6 (h) + h_1 + h_2 \quad [1]$$

Durante el experimento la conductividad hidráulica fue estimada con la relación reportada en 1981 a través del Institute of Hidrology de Wallingford, Inglaterra (Ven Te Chow, 1994):

$$K\Theta = 250 (-\Psi_m)^{-2.11} \quad [2]$$

Donde:

$K\Theta$  = Conductividad hidráulica (cm/día)

$\Psi_m$  = Potencial matricial promedio en (cm)

La ecuación de Darcy para el movimiento de agua en un suelo no saturado, se reescribe para un campo de flujo promedio  $q_z$  entre los puntos de medición 1 y 2 de la siguiente manera:

$$q_z = -K(\theta) (\psi_1 - \psi_2)/(z_1 - z_2) \quad [3]$$

La ecuación [1] nos permitió determinar los datos de tensión matricial a una cabeza de succión de 15 y 25 cm respectivamente para aquellos tratamientos sometidos a R°S, en tanto que con la ecuación [2] se determinó la conductividad hidráulica en función del potencial matricial para cada semana. La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), fue determinado con la fórmula propuesta por PenmanMonteith (1990), mediante la siguiente expresión

$$ET_o = \frac{0.408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot u_2)}$$

Donde:

ET<sub>o</sub> = Evapotranspiración de referencia (mm/día)

R = Radiación neta de superficie de cultivo (MJ/m<sup>2</sup> d)

R<sub>a</sub> = Radiación extraterrestre (mm/día)

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

T = Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

u = Velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)

e<sub>s</sub> = Presión de vapor de saturación (kPa)

e<sub>a</sub> = Presión real de vapor (kPa)

e<sub>s</sub>-e<sub>a</sub> = Déficit de presión de vapor (kPa)

Δ = Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)

γ = Constante psicrométrica (kPa/°C)

No habiendo pérdidas por escorrentía ni percolación profunda, el flujo ascendente resulta igual a la evapotranspiración, ajustado como consumo de agua para cada tratamiento con riego subsuperficial por proporción simple.

La Eficiencia del uso de agua (EUA) o productividad del agua (PA), se define como la relación entre la biomasa por unidad de agua utilizada, para nuestro caso la biomasa será sustituido por el rendimiento, quedando expresado mediante la siguiente relación:

$$PA = \frac{\text{Producción (kg)}}{\text{Agua utilizada (m}^3\text{)}} \quad [5]$$

### Evaluación a la aplicación del riego

Durante el período de riego (82 días), se registró un gasto de agua promedio en aproximadamente 18,51 L/m<sup>2</sup> por semana (del gasto total acumulado en 12 semanas), la cantidad de agua suministrada para el riego, fue cuantificado semanalmente como gasto de agua en L/24m<sup>2</sup>, luego a L/m<sup>2</sup>d. El riego subsuperficial fue aplicado a 4 tratamientos, los cuales cuentan con 4 repeticiones (cada uno de 1,5 m<sup>2</sup> de área), de tal manera que se mantuvo en el rango de humedad aprovechable a 24 m<sup>2</sup> de superficie cultivada.

La cantidad de agua suministrada para el riego tradicional, estuvo supeditado al gasto de agua

generado en el riego subsuperficial, de manera que el gasto promedio del riego subsuperficial fue distribuido en la misma cantidad para los tratamientos con riego tradicional, fraccionando el volumen a cada unidad experimental de 1,5m<sup>2</sup> de área. Es así que para la primera semana el gasto de agua fue de 350 L /24 m<sup>2</sup>, los cuales fueron consumidos por 16 unidades, en tanto que para las 16 unidades restantes, el volumen equivalente fue fraccionado a 21,86 L para cada unidad que recibe el riego superficial durante la primera semana.

La grafica de Figura 2, nos muestra un gasto muy elevado durante la segunda semana y valores similares de gasto para la 1ra, 3ra y 4ta semana, encontrándose los gastos más reducidos durante la 5ta 6ta y 7ma semana, situación que nos permite deducir que en éstos períodos el área foliar de los cultivos generó la sombra adecuada sobre la superficie del terreno, lo cual pudo restringir de gran manera la evaporación del agua, por lo que estaríamos mencionando que el gasto de agua suministrado fue aprovechado para el consumo fisiológico de las plantas y la transpiración. El gasto elevado de la 2da semana podría estar relacionado con la eliminación de cobertura (semi-sombra de paja) en este periodo, por tanto durante la primera fase del desarrollo de los cultivos, el gasto promedio de agua se pudo deber principalmente a la evaporación de la superficie del suelo, mientras que el descenso de consumo puede relacionarse con el desarrollo de las hojas que lograron cubrir la superficie evaporante del suelo.

A partir de la 7ma semana la curva de gasto es casi exponencial hasta la 10ma semana, este comportamiento puede ser atribuido a la intensa actividad fotosintética que desarrollan las plantas luego de registrar una formación completa del área foliar. Asimismo el flujo de agua guarda estrecha relación con el gasto de agua durante el periodo inicial, donde el requerimiento proyectado (ETc) de agua por parte de los cultivos es mínimo para este periodo, esta situación apoya de alguna manera la aseveración de que la mayor demanda de agua estaría siendo generada por la evaporación del agua en la superficie del suelo.

El acenso de gasto de agua a partir de la 6ta semana es mayor debido a la etapa de pleno desarrollo en

que se encuentran los cultivos; sin embargo, no podemos descartar la demanda de agua por evaporación, en vista que la ETo se encuentra por encima del gasto y el flujo de agua para estos periodos. Por otro lado también se debe tomar en cuenta que la lechuga presenta un enraizamiento superficial, por tanto agota la humedad disponible en la zona de raíces mucho más rápidamente que los cultivos de enraizamiento profundo (Gordon, 1992).

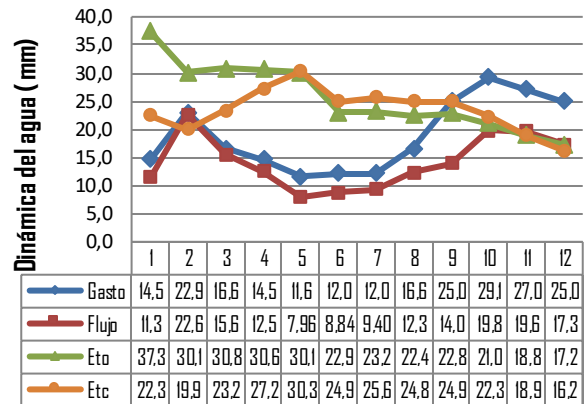


Figura 2. Dinámica del agua en gasto, flujo y requerimiento.

**Movimiento de agua en el suelo con sub-irrigación y riego tradicional**

Las curvas de la Figura3, nos muestran que los mayores flujos se han registrado en los tratamientos 6 y 8 que están a una profundidad de 35 cm, lo que nos lleva a deducir que el mayor gasto de agua pudo producirse por evaporación, bajo éstas condiciones los que mayor consumo realizan son los cultivos de hoja, entre estos está el tratamiento 6 que mantuvo durante casi todo el ciclo un elevado flujo de agua ascendente, incluso respecto al cultivo de nabo (T4 y T8). En la segunda semana también se evidenció que los tratamientos con 55 cm de profundidad freática mostraban condiciones de pérdida de humedad (deseccación) en la superficie del suelo, pero que removidos a 5 y 10 cm de profundidad se constató que éstos se encontraban en condiciones húmedas, en cambio los tratamientos con 35 cm de profundidad freática siempre presentaban una constante humedad en la parte superficial del suelo.

Productividad del agua con sub-irrigación a dos alturas de sustrato, en los cultivos de nabo (*Brassica napus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en invernadero en Kentupata.

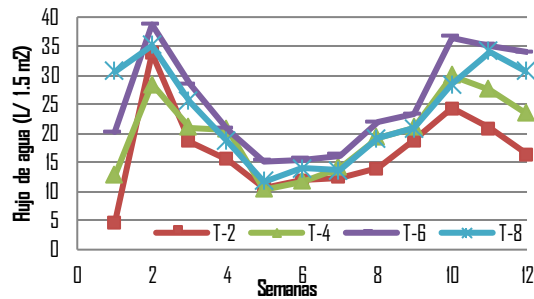


Figura 3. Flujo ascendente de agua en 4 tratamientos.

El comportamiento del gasto de agua de la Figura 2, se asemeja al comportamiento de flujo ascendente del agua de la Figura 3, de tal manera de podríamos mencionar que el gasto de agua mantiene una relación directa con el flujo ascendente en el método de riego subsuperficial, siempre y cuando no se tengan pérdidas por percolación o fuga de humedad lateral.

De acuerdo a los datos de la Figura 2, se puede indicar que el consumo de agua en los tratamientos con R° SS varió ostensiblemente de acuerdo al periodo, es así que durante la décima semana se registró el consumo máximo con 29,1 mm (700 L /24 m²), en tanto que el consumo mínimo se

registró durante la quinta sexta y séptima semana con 11,6 mm y 12 mm (280 y 290 L /24 m²) respectivamente.

En el riego superficial el flujo de agua es de forma descendente, de manera que la cantidad de agua infiltrada en el suelo depende de la velocidad de infiltración, el cual es inherente a las propiedades físicas de cada suelo. Durante el período de desarrollo de los cultivos el riego tradicional se realizó con una frecuencia de una vez por semana, en tanto que a partir de la sexta semana se tuvo que regar en dos turnos por semana, debido a que la saturación del suelo fue casi de inmediato, esto podría ser atribuido a que el suelo se encontraba cercano a la capacidad de campo, por lo que se puede decir que el estado de saturación del suelo amortiguó la infiltración de la cantidad de agua prevista en un solo turno.

De acuerdo con los datos del Cuadro 1, la diferencia (0,46 L/m² d) que se registra producto de una sumatoria (1,62 L/m² d) en los tratamientos con flujos ascendente en relación al gasto total (2,08 L/m² d), es empleado para ajustar el consumo en los diferentes tratamientos.

Tabla 1. Gasto, flujo ascendente y consumo de agua para los tratamientos con riego subsuperficial, expresados en (L/m² d).

Fecha	Gasto tot.	Flujo ascendente de agua en L/m² d				Consumo ajustado de agua en L/m² d				
		L/m² d	55 Trat.-2	55 Trat.-4	35 Trat.-6	35 Trat.-8	55 Trat.-2	55 Trat.-4	35 Trat.-6	35 Trat.-8
22 Mar										
29 Mar	2,08	0,11	0,31	0,48	0,73	0,14	0,39	0,62	0,94	
5 Abr	3,27	0,80	0,68	0,92	0,84	0,81	0,68	0,93	0,85	
12 Abr	2,38	0,44	0,50	0,68	0,61	0,47	0,53	0,72	0,65	
19 Abr	2,08	0,37	0,49	0,49	0,44	0,43	0,57	0,57	0,51	
26 Abr	1,67	0,25	0,25	0,36	0,28	0,37	0,36	0,53	0,41	
3 May	1,73	0,28	0,28	0,37	0,33	0,39	0,38	0,51	0,45	
10 May	1,73	0,30	0,34	0,38	0,33	0,38	0,43	0,49	0,42	
17 May	2,38	0,33	0,46	0,52	0,46	0,45	0,62	0,70	0,61	
24 May	3,57	0,45	0,50	0,55	0,50	0,80	0,89	0,99	0,89	
31 May	4,17	0,58	0,71	0,87	0,68	0,85	1,05	1,28	1,00	
7 Jun	3,87	0,50	0,66	0,84	0,81	0,69	0,91	1,15	1,12	
14 Jun	3,57	0,39	0,56	0,81	0,73	0,56	0,80	1,16	1,05	

También cabe mencionar que de acuerdo a los resultados obtenidos de la prueba de infiltración

(Cuadro 1 del Anexo 1), éste nos da una velocidad de infiltración básica (V.I.B.) de 25,7 mm/hora, que

nos indica que éste suelo tendría como valores normales una porosidad de 40-47%, densidad 1,4 - 1,6 gr/cc de acuerdo con Cuenca (1989), citado por Chipana (1996).

### Rendimiento de producto comercial y total de materia húmeda

Como es de suponer se destaca una amplia superioridad en el rendimiento de la raíz del nabo, comparado con la raíz de la lechuga. En el cultivo del nabo, de acuerdo a los datos de la Figura 4, el T-4 alcanza 66,50 Mg/ha, expresándose como el de mayor rendimiento, mientras que el de menor rendimiento se presenta en el T-3 con apenas 11,70 Mg/ha.

Se encuentra diferencias altamente significativas en las fuentes de variación de cultivo y riego, así como en las interacciones: profundidad - riego, cultivo - riego y profundidad - cultivo - riego. Estas diferencias pueden ser atribuidas al carácter hidrofílico que poseen las raíces para desarrollar hacia las fuentes de humedad, situación que puede ser mejor aprovechado por el nabo que representa a los cultivos de raíz.

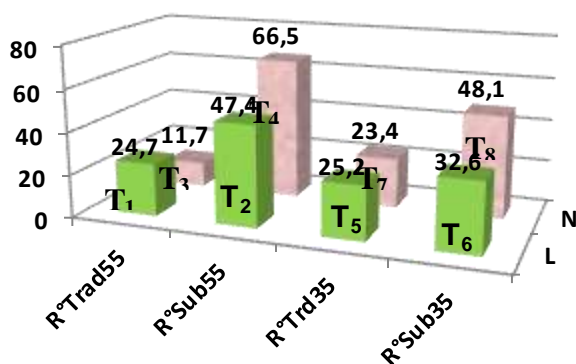


Figura 4. Rendimiento (t/ha) de nabo y lechuga con sub-irrigación a dos profundidades de sustrato.

Se estima que los altos rendimientos alcanzados, principalmente a la mayor profundidad de nivel freático, se lograron gracias a la acción aditiva de los efectos R°S y profundidad, que colaboraron para crear una mejor condición en el mantenimiento de humedad y la asimilación de nutrientes disueltos en el medio. Asimismo se plantea que para los cultivos de raíz será mejor

tener mayor profundidad cuando éstos son irrigados con agua subterránea y menor profundidad cuando se utiliza agua superficial.

El Cuadro 2, nos muestra el peso total de la planta (tallo, hojas y raíz), donde los resultados de materia verde varían con amplia diferencia dentro los cultivos de nabo (raíz) y lechuga (hoja) con respecto al método de riego, es así que en el cultivo de hoja se aprecia un mayor rendimiento en el T-2 con un promedio de 5,001 kg/m<sup>2</sup>, mientras que el T-1 registra el menor rendimiento con solo 2,68 kg/m<sup>2</sup>. En el cultivo de raíz se tiene al T-4 con 10,88 kg/m<sup>2</sup> como el mejor rendimiento y el T-3 con 3,00 kg/m<sup>2</sup> como el de menor rendimiento.

Tabla 2. Rendimiento total (materia húmeda) en kg/m<sup>2</sup> y Mg/ha.

Trat.	Detalle			Rendimiento	
	Prof.	Cultivo	Riego	(kg/m <sup>2</sup> )	(Mg/ha)
T-1	55cm	lechuga	R°T	2,68	26,8
T-2	55cm	lechuga	R°S	5,00	50,0
T-3	55cm	nabo	R°T	3,00	30,0
T-4	55cm	nabo	R°S	10,88	108,8
T-5	35cm	lechuga	R°T	2,73	27,3
T-6	35cm	lechuga	R°S	3,41	34,1
T-7	35cm	nabo	R°T	5,09	50,9
T-8	35cm	nabo	R°S	8,05	80,5

El factor profundidad es significativo para los niveles propuestos, en tanto que el factor riego es altamente significativo bajo los niveles propuestos. Además podemos decir que el riego subsuperficial presenta un efecto positivo para el cultivo de raíz (nabo) como se observa en el Cuadro 2, donde los rendimientos promedios de materia verde en el tratamiento 3 (30,0 Mg/ha), son menores frente al tratamiento 4 (108,8 Mg/ha) a una misma profundidad.

Los cultivos representativos de raíz (nabo), muestran un bajo rendimiento de la parte aérea comparado con los cultivos de hoja (lechuga), habiéndose obtenido el mayor rendimiento en el T-4 que se encuentra a 55 cm de profundidad tratado con R°S, en tanto que a la profundidad de 35 cm de nivel freático no se observa una amplia diferencia

Productividad del agua con sub-irrigación a dos alturas de sustrato, en los cultivos de nabo (*Brassica napus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en invernadero en Kentupata.

en los rendimientos de la parte aérea del nabo, cuando este cultivo es tratado con riego tradicional y sub-irrigación.

### Productividad del agua empleando riego tradicional y sub-irrigación

Con el promedio de los valores de consumo de agua ajustado para cada uno de los tratamientos del Cuadro 1 y los valores de rendimiento total del Cuadro 2, se genera la productividad del agua de acuerdo con el Cuadro 3. Los valores del Cuadro 3, nos muestran una amplia productividad de agua para los tratamientos con riego subsuperficial (R°S), con respecto a los tratamientos con riego tradicional (R°T).

La diferencia es más notoria para la profundidad de 55 cm en relación a los de 35 cm. El método de R°S mejora la productividad en 25,04 kg/m<sup>3</sup> en promedio para los cultivos que se encuentran a 55

cm de altura respecto a los tratamientos con R°T, mientras que para los cultivos a 35 cm de altura se mejora en 7,19 kg/m<sup>3</sup>, en ambos casos disminuye el uso de agua.

Tabla 3. Productividad del agua (PA) en dos métodos de riego.

Variables de productividad de agua	Diferentes tratamientos			
	55 cm de prof.	35 cm de prof.		
Gasto prom. (L/m <sup>2</sup> d)	0,53	0,63	0,80	0,74
Riego/Ciclo (L/m <sup>2</sup> d)	177,5	213,2	270,4	248,9
Rdto de R°T (kg/m <sup>2</sup> )	2,68	3,00	2,73	5,09
Rdto de R°S (kg/m <sup>2</sup> )	5,00	10,8	3,41	8,05
PA en R°T (kg/m <sup>3</sup> )	15,0	14,0	10,1	20,4
	8	6	1	3
PA en R°S (kg/m <sup>3</sup> )	28,1	51,0	12,6	32,3
	8	3	1	2

Tabla 4. Determinación de B/C en el presupuesto parcial de la primera y segunda gestión, para la producción de lechuga y nabo bajo los diferentes tratamientos.

Gestión	Descripción	Cultivo de hoja (lechuga)				Cultivo de raíz (nabo)			
		T-1	T-2	T-5	T-6	T-3	T-4	T-7	T-8
1ra	Rendimiento medio (Mg/ha)	25	47	25	33	12	66	23	48
	Rendimiento ajustado (Mg/ha)	23	45	24	31	11	63	22	46
	Beneficios brutos (\$us/ha)	7211	13844	7366	9515	1708	9719	3423	7026
	Costo total (\$us/ha)	3488	23496	2873	20511	3488	23496	2873,1	20511
	Beneficios netos (\$us/ha)	3723	-9652	4493	-10997	-1780	-13777	549	-13486
	B/C	2,07	0,59	2,56	0,46	0,49	0,41	1,19	0,34
2da	Rendimiento medio (Mg/ha)	24,7	47,4	25,2	32,6	11,7	66,5	23,4	48,1
	Rendimiento ajustado (Mg/ha)	23,4	45	23,9	30,9	11,1	63,2	22,2	45,7
	Beneficios brutos (\$us/ha)	7211,2	13844	7366,2	9514,6	1708,5	9719,2	3422,9	7025,6
	Costo total (\$us/ha)	1796,2	926,75	1796,2	926,75	1796,2	926,75	1796,2	926,75
	Beneficios netos (\$us/ha)	5415,1	12917	5570	8587,9	-87,615	8792,5	1626,8	6098,9
	B/C	4,01	14,94	4,10	10,27	0,95	10,49	1,91	7,58

Del Cuadro 4 para una primer gestión el T<sub>5</sub> presenta mejor beneficio neto, además los costos son menores a los del T<sub>1</sub>, por lo que se podrá obtener una tasa de retorno marginal mayor al 100 % (valor mínimo). Los T<sub>1</sub> y T<sub>5</sub> tienen los índices de B/C de 2,07 y 2,56 respectivamente, lo que nos indica que ambos son beneficiosos, pero con preferencia se debe optar por T<sub>5</sub>.

Los resultados parciales en los tratamientos T<sub>2</sub> y T<sub>6</sub> nos muestran que los ingresos son menores a los

egresos en una primera gestión, situación que genera una relación B/C menor a la unidad, lo que significa que la producción de las hortalizas con el sistema propuesto bajo estos tratamientos es a pérdida, incluso tomando un porcentaje de ajuste en el rendimiento de 5% (valor mínimo), cifra que implica que el productor debe producir bajo este sistema sin mucha variación, lo cual puede ocurrir dado que la producción de esta naturaleza no requiere de un conocimiento demasiado tecnificado. Sin embargo, para una segunda gestión

tanto el  $T_6$  y  $T_2$ , se tornan atractivos, con preferencia el  $T_2$  que resulta con el mejor B/C (14,94).

Para una segunda gestión casi todos los tratamientos resultan con B/C mayor a 1, excepto el  $T_3$ , mientras que el  $T_7$  sobrepasa a 1 levemente (1,91), por lo que se puede recomendar su descarte, debido a que su beneficio neto es menor y su costo es mayor en comparación con los otros dos tratamientos dentro del cultivo de raíz. El  $T_8$  y el  $T_4$  generan una tasa de retorno marginal de 144 %, lo que significa decir que por 1 Bs que se invierta para cambiar del  $T_8$  al  $T_4$ , se recupera 1,44 Bs.

Pero también se tiene la posibilidad de optar por quedarse con el  $T_8$  cuyo índice B/C es de 7,58, lo que nos indica que también es conveniente producir con el  $T_8$ , para lo cual no se requerirá realizar un mayor trabajo en la fase de instalación del sistema de riego subsuperficial, teniendo en cuenta que el tratamiento 4 requiere una excavación de 55 cm de profundidad para la instalación respectiva, situación que requiere de un gasto adicional que pasa a formar parte de los costos fijos.

## CONCLUSIONES

El gasto de agua en el sistema de riego subsuperficial está directamente influenciado por la profundidad del nivel freático, ocasionando un mayor flujo de humedad ascensional en aquellos substratos que tienen menor profundidad, como en el  $T_6$  y  $T_8$  a 35 cm de profundidad, que efectuaron consumos promedio de agua ajustado en 5,63 y 5,19 L/semana respectivamente, frente al  $T_2$  y  $T_4$  a 55 cm de profundidad, los cuales efectuaron como promedio 3,70 y 4,44 L/semana respectivamente.

En los tratamientos  $T_2$ ,  $T_4$ ,  $T_6$  y  $T_8$  los flujos de agua en términos de lámina fueron estimados en 1,61, 1,90, 2,42, y 2,24 mm/día respectivamente como promedio para todo el ciclo vegetativo de los cultivos, bajo las condiciones edafoclimáticas en que se llevó a cabo el experimento.

En cuanto al rendimiento de materia verde total del cultivo de hoja (lechuga), a la profundidad de sustrato 55 cm, sobresale el  $T_2$  (5,00 kg/m<sup>2</sup>) con

riego subsuperficial en relación al  $T_1$  (2,68 kg/m<sup>2</sup>) con riego tradicional. De manera similar a profundidad de 35 cm, sobre sale el  $T_6$  (3,41 kg/m<sup>2</sup>) con riego subsuperficial en relación al  $T_5$  (2,73 kg/m<sup>2</sup>). La reducida diferencia de este último y la comparación con el rendimiento del  $T_1$ , nos permite concluir que el método de riego adquiere menor relevancia en la producción de lechuga frente a profundidades reducidas de sustrato.

Para los cultivos de raíz (nabo) en términos de rendimiento de materia verde total, resultan con mejores rendimientos los producidos con riego subsuperficial como el  $T_4$  (10,88 kg/m<sup>2</sup> a 55 cm) y el  $T_8$  (8,05 kg/m<sup>2</sup> a 35 cm), con respecto a los producidos con riego tradicional  $T_7$  (5,09 kg/m<sup>2</sup> a 35 cm) y el  $T_3$  (3,00 kg/m<sup>2</sup> a 55 cm). En este caso son muy notorias las diferencias en el rendimiento verde total a la misma profundidad, incluso relacionando ambas profundidades, de manera que se puede aseverar que el método de riego ejerce influencia en el cultivo de nabo entre las profundidades de 35 y 55 cm.

El incremento en rendimiento que muestran los cultivos de raíz producidos con riego subsuperficial, es de casi 4 veces más al producido con riego tradicional, lo cual justifica en alguna manera la inversión económica inicial que se requiere para la instalación del método de riego. En el análisis de costos, no se obtiene los beneficios económicos en la mayoría de los tratamientos, excepto en los  $T_1$ ,  $T_5$  y  $T_7$  para una primera gestión de cultivo. Los beneficios netos se generan a partir de la segunda gestión para casi todos los tratamientos excepto el  $T_3$ .

El método de R<sup>°</sup>S mejora la productividad en 25.04 kg/m<sup>3</sup> en promedio para los cultivos que se encuentran a 55 cm de altura respecto a los tratamientos con R<sup>°</sup>T, mientras que para los cultivos a 35 cm de altura se mejora en 7,19 kg/m<sup>3</sup>, en ambos casos disminuye el uso de agua.

## AGRADECIMIENTOS

En primera instancia debo agradecer a Dios por permitirme dedicar a la actividad que me apasiona, a la familia y amigos que confían en cada una de las actividades emprendidas por mi persona. Un



Productividad del agua con sub-irrigación a dos alturas de sustrato, en los cultivos de nabo (*Brassica napus*) y lechuga (*Lactuca sativa*) en invernadero en Kentupata.

agradecimiento especial para LIDEMA por el apoyo económico brindado en calidad de becario, asimismo al Dr Rene Chipana por el apoyo como asesor y confianza para ejecución del trabajo de investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aviles, D. (1992); *Evaluación Comparativa de Sistemas Microclimáticas Para la Producción de Hortalizas en la Provincia Pacajes Departamento La Paz*, Tesis de Grado. La Paz - Bolivia. 182 p.

Black, C.A. (1975); *Relaciones Suelo-plantas*, Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 90 p.

Calzada, J. (1982); *Métodos Estadísticos Para la Investigación*. Editorial "MILAGROS" S.A. Lima-Perú. 611 p.

Chapter, (1987); *Relación entre suelo-planta-agua*. Manual de ingeniería de suelos. Diana S.A. México.

Chipana, R. (1996); *Principios de riego y drenaje (IRTEC)*. Texto de consulta U.M.S.A. La Paz – Bolivia. 202 p.

Díaz, R. (1998); *Aplicación fraccionada del nitrógeno en tres densidades de plantación, en lechuga (Lactuca sativa) bajo carpa solar*. Tesis de grado para optar el título de ingeniero agrónomo U.M.S.A. La Paz-Bolivia. 129 p.

Doorendos, J. (1980); *Las necesidades de agua de los cultivos*, organización de las naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Roma. 194 p.

Forsythe, W. (1985); *Física de suelos*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 212 p.

Giacola, J. (1996); *Efecto de 6 profundidades de nivel freático sobre la producción y componentes de producción de la zanahoria*

(*Daucus carota L.*). Publicación Sociedad Brasileira de Ingeniería Agrícola (S.B.E.A.). Vicosa-Mina Gerais, Brasil. 17 p.

Gordon, R. B, J. (1992); *Horticultura*. Traducido al Español por Flor A. Editor A.G.T., Primera Reimpresión, México. 727 p.

Hartmann, F. (1990); *Invernaderos y Ambientes Atemperados*. Editado por Fundación Para Alternativas de Desarrollo (FADES), La Paz - Bolivia. 131 p.

Juarez, E. R, A. (1982); *Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Editorial Limusa, México. 642 p.

Kramer, P. (1974); *Relaciones hídricas de suelo – planta*. Versión traducido al Español por Leonor Tejada. Editex, México. 539 p.

Litle, M. H, J. (1980); *Métodos Estadísticos para la Investigación en la Agricultura*. Editorial Trillas, México. 270 p.