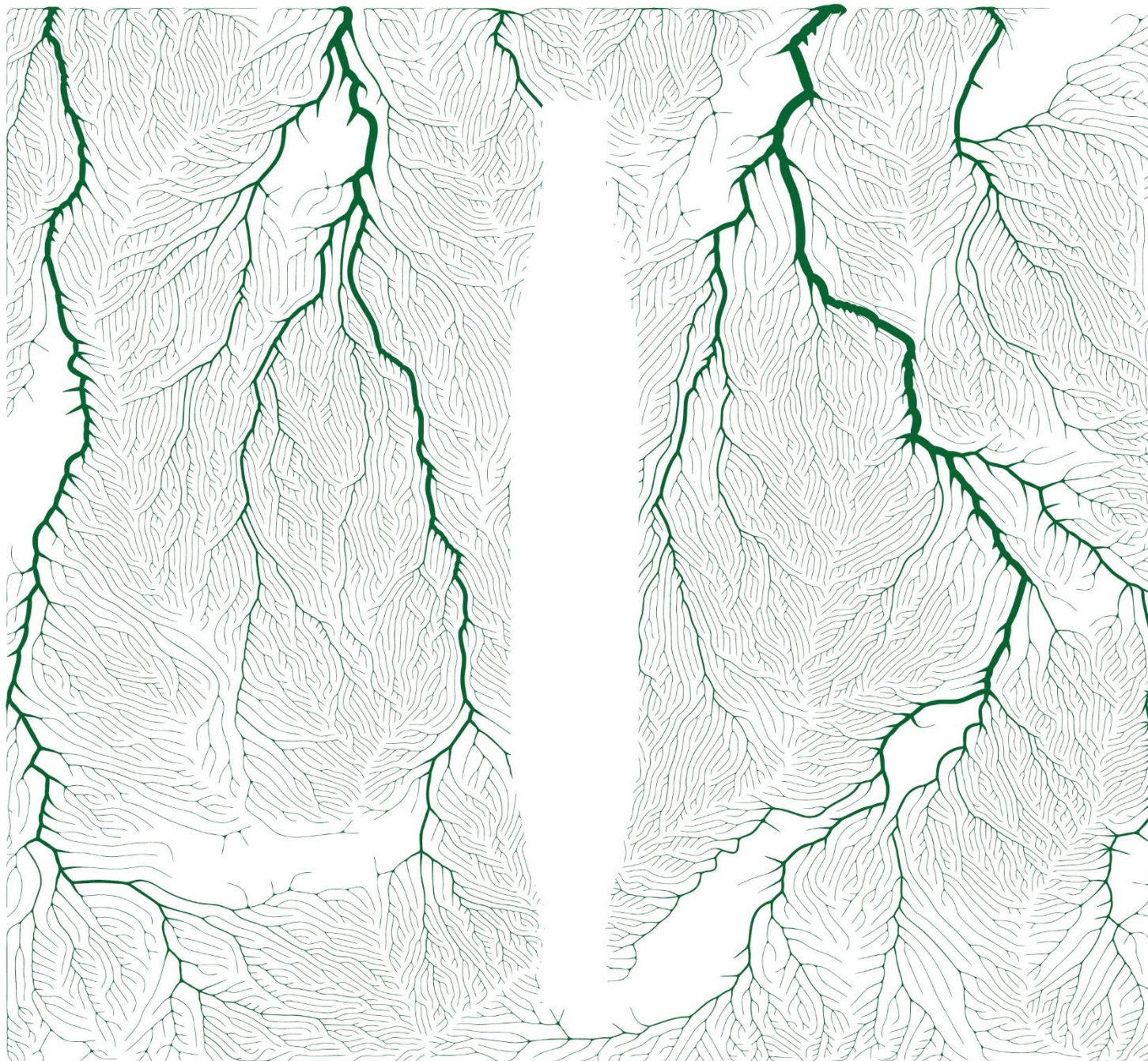


Factibilidad de uso de un sistema de riego pasivo con piezas de cerámica para sistemas intensivos domésticos micro productivos y paisajísticos urbanos y periurbanos.

Potencialidad del Riego Ecopónico para su uso en sistemas intensivos micro productivos y paisajísticos urbanos y periurbanos

Palabras clave:
riego ecopónico, riego pasivo, piezas cerámicas porosas.



Fecha: 12/10/2021

Estudiante:
Lucía Alduncin
Legajo:
27982/4
DNI:
40258929
Correo Electrónico:
lucia,alduncin@gmail.com

Directora:
Ing. Agr. María Lucrecia Puig
Co-Director:
Dr. Ing. Agr. Alfredo H. Benassi



Facultad de
Ciencias Agrarias
y Forestales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

INDICE

Resumen	3
1. Introducción	5
2. Hipótesis	9
3. Objetivo General	9
3.1 Objetivos Específicos	9
4. Materiales y Métodos	10
4.1 Descripción del Ensayo	10
4.2 Caracterización del Suelo	10
4.3 Diseño del ensayo	11
4.3.1 Características del montaje	13
4.3.2 Composición del circuito de riego	14
4.4 Variables Medidas	17
4.4.1 Volumen del agua suministrada por ambos Sistemas de riego	17
4.4.2 Contenido de humedad del suelo	17
4.4.3 Temperatura del Suelo	19
4.4.4 Índice de verdor	19
4.4.5 Determinaciones morfológicas	20
4.5 Análisis de los resultados	20
5. Resultados	21
5.1 Volumen de agua suministrado por ambos Sistemas	21
5.2 Calculo de lámina de riego aplicada	21
5.3 Contenido de humedad y temperatura del Suelo	22
5.4 Índice de verdor y determinaciones Morfológicas	23
6. Discusión	26
7. Conclusión	28
8. Consideraciones Finales	28
9. Bibliografía	30

RESUMEN

El riego ecopónico se basa en piezas cerámicas huecas y porosas interconectadas con cañerías flexibles plásticas, en un circuito de agua de riego. El agua se mueve desde un tanque o fuente y por vasos comunicantes conecta hasta las piezas cerámicas que, por su capilaridad proporciona una exudación gradual de agua al medio radical de las plantas.

El objetivo de este trabajo fue evaluar del efecto del riego ecopónico sobre variables fisiológicas y productivas de un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) utilizando al riego por goteo convencional como testigo. El ensayo se desarrolló bajo invernadero, en la Estación Experimental Julio Hirsschhorn. Para el riego ecopónico se instaló un tanque de 200 litros, con líneas de manguera siliconada con 15 cápsulas de cerámica interconectadas, distanciadas 20 cm y enterradas a 4 cm (T1). Como testigo se utilizó riego por goteo con goteros a 25 cm (T2). El 25/01/2021 se trasplantó lechuga mantecosa (30 cm entre plantas) sobre lomos cubiertos con mulching negro. Sobre tres plantas tomadas al azar por tratamiento y repetición, se registró índice de verdor (SPAD Minolta) y número de hojas, calculando tasa relativa de producción de hojas ($TRH = (H_f - H_i) / (H_i \cdot t)$); se registró humedad y temperatura del suelo para cada tratamiento, número de hojas. Además, se evaluó el volumen de agua y la lámina aplicada en cada tratamiento. La cosecha se realizó 30 días postransplante, registrando peso de planta. Se planteó un diseño en bloques completos aleatorizados con 6 repeticiones, con parcelas de 4 m. Los datos se sometieron a análisis de varianza ($p \leq 0,05$). No se observaron diferencias significativas entre formas de riego. El índice de verdor promedió 26,2 y 27,2 unidades SPAD en la primera y segunda determinación, respectivamente, y la TRH fue en T1=0,13 hoja. hoja⁻¹. día⁻¹ y en T2=0,11 hoja.hoja⁻¹. día⁻¹. A cosecha las plantas presentaron en T1: 40 hojas y 343 g.planta⁻¹ t y

en T2: 41 hojas y 307 g.planta⁻¹ . En las condiciones de ensayo, el sistema de riego ecopónico mostró potencial en su uso.

1. INTRODUCCIÓN

En 1969, una de cada tres personas padecía hambre diariamente; hoy, a finales del milenio, se estima que es una de cada cinco; es decir, ha disminuido el padecimiento del hambre. Esto constituye una demostración palpable de que, en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial, la agricultura ha tenido un éxito contundente. Los rendimientos de la producción de trigo, maíz y arroz aumentaron en forma sostenida. En general, la producción agrícola ha crecido a una tasa mayor que la población, crecimiento que da crédito de los avances científicos y tecnológicos que se han logrado en el desarrollo de las actividades agrícolas. Sin embargo, el resultado de las prácticas agrícolas no ha sido tan efectivo, desde el punto de vista del desarrollo sostenible, pues, al maximizarse la producción, se han deteriorado los recursos naturales. Sin duda, la producción y la productividad agrícolas han crecido a expensas de la degradación de los estos. En los próximos 25 años, el crecimiento de la población demandará, en los países desarrollados, un aumento del 64 por ciento en su producción de alimentos; en el caso de los países menos desarrollados, se requerirá un aumento de hasta el cien por ciento (Iturri, 1999).

En muchas regiones del mundo, los recursos hídricos se encuentran sujetos a grandes presiones, pero seguirá aumentando la demanda de agua para cubrir necesidades de alimentos, energía, servicios y agua potable, “por lo que la competencia por el recurso hídrico será inevitable y se intensificará” (Beekman et al., 2014). El riego de cultivos es el usuario más significativo en el uso consuntivo de agua del planeta y muy importante en regiones con climas áridos y semiáridos (Booker et al., 2012).

En este marco, el aumento de la población en sectores urbanos, la degradación de los recursos naturales y la necesidad de obtener alimentos de calidad a bajo costo han traído

aparejado el crecimiento exponencial de las producciones intensivas urbanas y periurbanas. La gestión de las ciudades hacia objetivos de sustentabilidad constituye uno de los desafíos más apremiantes de nuestros tiempos. Lograr que los asentamientos humanos sean seguros, inclusivos y resilientes es uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos por los Estados Miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en la Agenda fijada hacia 2030. En este contexto, las áreas urbanas y periurbanas adquieren un papel prioritario ya que conjugan numerosas problemáticas y conflictos ambientales asociados con la heterogeneidad de actividades que se desarrollan en estos espacios, involucrando una multiplicidad de actores (Daga, et al. 2020).

En este contexto, el agua como recurso natural renovable, fundamental para la vida humana y para los procesos de producción, ante la contaminación y la sobre explotación por encima de su capacidad de recarga, se convierte en un recurso escaso. De ahí la importancia de identificar, validar y difundir aquellas formas de captación, almacenamiento, distribución y conservación del agua que contribuyen a su uso racional y que son un factor clave en los procesos de desarrollo rural y manejo de los recursos naturales en los ecosistemas. Es entonces que el valor del agua se vuelve mayor cuando, como factor de producción, influye en la seguridad alimentaria y la seguridad hídrica, a la vez que se convierte en el principal medio por el cual se manifiestan los impactos del cambio climático (FAO, 2013). Desde la Asociación Mundial del Agua (GWP, por sus siglas en inglés) y en el año 2000 surge la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) definida como “un proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, el suelo y los recursos asociados para maximizar equitativamente el bienestar social y

económico resultante, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (GWP, 2000: 24).

Entre las alternativas para aplicar riego localizado se encuentra el riego por succión mediante envases porosos que colocan el agua directamente a la zona radical, esta tecnología está surgiendo como un método altamente promisorio para la irrigación agrícola localizada a pequeña escala (Bainbridge, 2002). La vasija de arcilla es un método antiguo todavía practicado y en auge, especialmente útil en condiciones de alta salinidad, aridez extrema y limitada suplencia de agua, por lo que se le considera simple pero eficiente para el ahorro de este preciado líquido (Siyal et al., 2009; Altaf et al., 2009). El riego con cápsulas porosas es una adaptación eficiente y moderna de la antigua vasija de arcilla, cuya aplicación del agua se fundamenta en el principio de riego por succión, basado en un sistema a baja presión, donde la lámina aplicada es determinada por el potencial mátrico del suelo, es decir, bajo este sistema, el agua es automática y continuamente liberada debido a una diferencia entre el potencial de la cápsula y el del suelo. En la medida que las plantas toman el agua del suelo, la diferencia de potencial entre éste y las cápsulas de riego se incrementa, provocando un flujo directamente al suelo que permite suplir las necesidades de la planta, por lo que, el riego en este sistema es continuo, permanente y autorregulado por el consumo del cultivo, resultando fácil de operar, además, de eficiente en el uso del agua (Vargas et al., 2010). La composición de la mezcla de materias primas determina la capacidad de salida del flujo del agua hacia el suelo desde la vasija (Setiawan et al., 1996), en este caso de las cápsulas porosas.

En este caso, se comenzó a trabajar en el denominado riego ecopónico, que como se mencionó a través de piezas cerámicas interconectadas en cañerías plásticas que dosifica el agua de manera pasiva.

El riego ecopónico (Paredes Rojas 1993¹) se basa en este caso con piezas cerámicas huecas y porosas interconectadas con cañerías flexibles plásticas, en un circuito de agua de riego. El agua se mueve desde un tanque o fuente y por vasos comunicantes conecta hasta las piezas cerámicas que, por su capilaridad proporciona una exudación gradual de agua al medio radical de las plantas.

Por lo tanto, el riego ecopónico; es un sistema de pasivo, gravitacional, capilar y subterráneo, cuya unidad funcional dosificadora es una pieza hueca de cerámica porosa, conectada en un circuito de agua y en contacto directo con el suelo en la zona de exploración de las raíces de las plantas; sólo con mulching o envase cerrado, aunque no hermético porque este sistema funciona a presión atmosférica abierta influenciado por la altura del agua en el contenedor, en este caso el depósito de agua. Pudiendo ser aplicable a cultivos productivos, domésticos y paisajísticos (Benassi, 2021).

El potencial se podría constatar para su uso en cultivos intensivos productivos bajo mulching en coberturas de invernaderos y también en cultivos paisajísticos en general, como también en exteriores e interiores edilicios sobre losas en altura.

¹ La denominación para la técnica de riego con vasijas cerámicas *Riego Ecopónico*, es propuesta por Paredes Rojas, Rafael en "El regreso de una cerámica necesaria, página 97. Universidad de La Serena 1993.

2. HIPÓTESIS

El uso de cápsulas huecas porosas de cerámica con riego pasivo para un uso racional del recurso renovable del agua, puede aplicarse a la producción de cultivos intensivos en espacios edilicios, urbanos, periurbanos y rurales.

3. OBJETIVO GENERAL

Comparar el sistema de riego por ampollas con un sistema por goteo convencional en un cultivo de lechuga.

3.1 Objetivos Específicos

- Estimar el caudal aportado y el consiguiente contenido de humedad y la temperatura en el suelo para ambos tratamientos.
- Medir parámetros fisiológicos de un cultivo de lechuga bajo dos sistemas de riego. (Índice de verdor, Materia Seca de raíz, peso Fresco; etc.)
- Evaluar parámetros de rendimiento y calidad en un cultivo de lechuga bajo los dos sistemas de riego.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Descripción del Ensayo

El ensayo se realizó en La Plata, Provincia de Buenos Aires (34° 58' S, 57° 54' W) en un invernadero metálico (24 m x 40 m) de tipo parabólico ubicado en la Estación Experimental Julio Hirschhorn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. El material vegetal utilizado fue lechuga mantecosa, cuyos plantines fueron provistos por plantineras de la región.

4.2 Caracterización del suelo del ensayo

El suelo de dicho invernáculo es un Argiudol vértico cuyo perfil se observa en la figura 1. Son suelos de fuerte desarrollo, bien a moderadamente bien drenados, de permeabilidad lenta o muy lenta. El horizonte superficial es generalmente de textura franco limosa, con tenores de arcilla de 20-25% y 20 a 30 cm de espesor. Por debajo suele aparecer un horizonte de transición con algunos sectores levemente decolorados designado como AB. En otros casos el horizonte A apoya directamente sobre un horizonte Bt, casi siempre dividido en tres subhorizontes. Tiene un espesor de 60 a 90 cm, llegando a una profundidad algo superior a 1 metro. Tiene textura arcillosa, con 45-55% de arcilla. La transición hacia el material originario es gradual, existiendo generalmente dos horizontes BC, a veces con acumulaciones de carbonato de calcio. El solum tiene entre 150 y 200 cm de espesor. Se ha detectado algunas veces la presencia de un horizonte B sepultado por debajo de los horizontes BC. Esta paleosuperficie se extiende a otros suelos del área siendo visible en cortes profundos del terreno tales como canteras, donde se aprecian

varios horizontes B enterrados que revelan que la región ha estado sometido a sucesivos ciclos de depositación y pedogénesis (Alconada., 2014).

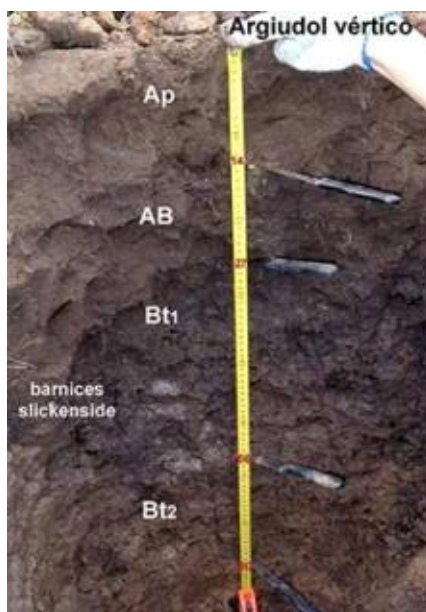


Figura. 1 calicata del perfil de suelo Argiudol Vertico del invernáculo de la Estación Experimental Julio Hirschhörn de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. Alconada et al. (2017).

4.3 Diseño del ensayo

Para el ensayo se utilizaron plantines de lechuga (*Lactuca sativa* L.) de tipo comercial mantecosa provistos por plantineras comerciales de la zona. El trasplante se realizó el 20/01/2021, sobre suelo cubierto con mulching negro, en tresbolillo a 25 cm entre plantas.

Se plantearon los siguientes tratamientos:

- Lechuga con riego por goteo convencional (Testigo)
- Lechuga con riego por ampollas de cerámica porosa.

El diseño experimental fue en bloques completos al azar con 6 repeticiones.

Para el caso del tratamiento 1) se utilizó sistema de riego por goteo instalado en el invernadero compuesto por tanque de 1000 l de capacidad, bomba de potencia de 1 HP y un filtro de malla para evitar la obstrucción de los emisores. El sistema de distribución de agua está compuesto por tuberías de PVC de 2 pulgadas de diámetro conectadas a cintas de riego, y emisores espaciados cada 10 cm.

Para el tratamiento 2) se instaló un tanque de 200 l, con líneas de manguera siliconada donde se conectaron 15 cápsulas de cerámica distanciadas 20 cm, como se observa en la figura 5 y 6, enterradas a 4 cm (Ecoponia). Es importante destacar que para su funcionamiento este sistema debe encontrarse a “régimen”, es decir que una vez instalado se deja funcionar un tiempo sin la implantación del cultivo para que el agua circule y se produzca la saturación de las ampollas para que funcionen como emisores.



Figura. 2 modulación horizontal de piezas cerámicas por metro lineal, Adenda Técnica del fabricante. Benassi (2021).



Figura 3. Módulo lineal instalado a campo.



Figura 4. Módulo lineal a campo. Inspección luego de 26 meses de funcionamiento 10 noviembre 2019 al 2 enero 2022.

4.3.1 Característica del montaje

Las piezas cerámicas se utilizaron en forma combinada dispuestas en líneas; en este caso, tres piezas por 1000 milímetros de circuito y manguera transparente final vertical para verificación de la columna de agua y expulsión de burbujas de aire del circuito (figura 5). En todos los casos las piezas van soterradas e interconectadas con una manguera plástica flexible en un circuito comunicante de agua, la que debe ser sin sedimentos sólidos en suspensión ni burbujas en su circuito.

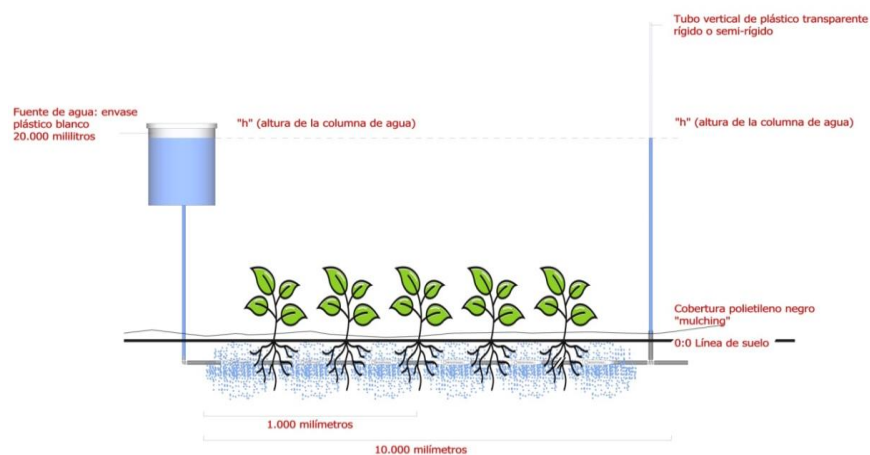


Figura 5. Adenda técnica del fabricante. Benassi 2021. En prensa

La presión atmosférica abierta permite por el principio físico de los vasos comunicantes en estado de equilibrio o “estado de reposo” del circuito de agua. En el que no debe haber burbujas gaseosas, que afectaría el buen funcionamiento del sistema.



Figura 6. Ilustración de cápsulas conectadas (instalación y conexión 10 noviembre 2019).

4.3.2 Composición del circuito de riego

El circuito de riego se inicia con la fuente de agua, un tanque de 200.000 mililitros de volumen, cuya columna de agua en el tanque es de reposición y medición del consumo semanal.

Las cápsulas porosas utilizadas, están elaboradas con arcilla (figura 3). Su diseño es tal que permite diferentes tipos de montajes y ser incorporadas a una red de tubería de riego (figura 6). Este tipo de sistema fue realizado interconectando mangueras atóxicas

siliconadas flexibles de ½ pulgadas disponibles en el mercado, con las piezas cerámicas huecas y porosas, en un circuito de agua de riego (Benassi, 2020).

El circuito de piezas interconectadas se debe hallar debajo de un “mulching” y soterradas en el suelo en tramos de 10.000 milímetros de largo en los que emerge a la superficie en cada tramo, un caño vertical de plástico transparente, que permite observar la altura de la columna de agua en buen funcionamiento y a su vez, la expulsión de burbujas gaseosas perniciosas en el circuito.



Figura 7. Esquema de las cápsulas de cerámica. Dimensiones 215mm de largo x 28mm de alto. (Benassi, 2021)



Figura 8. Ampolla de cerámica con sistemas de mangueras siliconadas y Ampollas de cerámicas con sistema de mangueras siliconadas conectadas entre sí al tambor de 200l respectivamente.



Figura 9. Imagen del ensayo emplazado en el invernadero.

4.4 Variables medidas

4.4.1 Volumen de agua suministrado por ambos sistemas de riego

El volumen de riego se obtuvo mediante medición directa utilizando recipientes medidores colocados debajo de la cinta de riego por goteo. En el caso del sistema de riego pasivo, también se calculará con el registro y reposición semanal de la altura de columna de agua decreciente desde el tanque de 200 litros expresando los resultados en cm³ de agua.

4.4.2 Contenido de humedad del suelo

Para tal fin se colocó un sensor de contenido hídrico de suelos Cavadevices SCH10 que posee 4 sensores, dos de los cuales se instalaron en los lomos de los tratamientos de riego por piezas de cerámica y los dos restantes en los lomos bajo riego por goteo. Para esto se clavó una planchuela de hierro de 3 cm de ancho por 4 mm de espesor en el suelo verticalmente utilizando una maza. Se quitó con cuidado de no llenar el agujero resultante con tierra y se insertó el sensor, compactando levemente el suelo de los laterales del mismo. Se dejó instalado durante todo el ciclo del cultivo. Los 4 sensores arrojaron valores cada media hora de humedad del suelo durante todo el ciclo del cultivo. Luego se realizó la curva de calibración con la totalidad de los datos. Para la calibración se necesita:

- 1. Agua
- 2. Suelo
- 3. Recipiente de 30 x 15 x 20 cm

El procedimiento consta de los siguientes pasos:

1. Romper los terrones de suelo.
2. Tamizar la muestra.

3. Colocarla en el contenedor para su posterior humectación añadiendo una cantidad conocida de agua en pequeñas cantidades para evitar la formación de grumos.
4. Mezclar y homogenizar la muestra cada vez que se haya agregado agua.
5. Para conseguir muestras con distintos contenidos de agua, a modo de guía: aplicando 250 cl de agua se varía el contenido volumétrico de 3% a 10%.
6. Una vez se ha añadido toda el agua y se ha homogeneizado la muestra, ésta se coloca dentro de un contenedor de 30cm x 15cm x 20cm. **Se tiene que conseguir una profundidad de unos 10 cm.**
7. Insertar la sonda SCH10 en la superficie del suelo, de forma que la parte plana esté perpendicular a la superficie.
8. Compactar (con las manos) el suelo alrededor de la sonda. **El contacto suelo-sonda es imprescindible para conseguir buenas lecturas.** Con el fin de estandarizar esta etapa y evitar errores experimentales: insertar los dedos índice y medio para compactar el suelo a lo largo de la sonda. Realizar esta operación 7 veces.
9. Después de compactar el suelo alrededor de la sonda, acabar de verter la mezcla de suelo encima de la sonda. La sonda tiene que quedar a unos 3 cm de la superficie. Compactar el suelo.
10. Conectar la sonda a un datalogger las lecturas (en voltage, mV)
11. Utilizando un cilindro de 16.1cm³, tomar cuidadosamente tres muestras para la determinación posterior del contenido volumétrico de agua. **Este es un paso crítico, debido a los posibles errores de muestreo.**
12. Rápidamente pesar los cilindros para proceder a determinar el contenido gravimétrico del agua.

13. Secado de los cilindros: en un MICROONDAS (10 min al máximo) o en la ESTUFA (24h a 105°C). Una vez las muestras están secas, se dejan a temperatura ambiente (tapadas herméticamente) hasta que se enfrían.

14. Pesarse otra vez los cilindros y descontar la tara. Para construir la curva de calibración entera, se realizan 3 repeticiones para cada uno de los 4 a 6 contenidos volumétricos de agua preparados.

4.4.3 Temperatura del suelo

Se midió mediante un logger de temperatura de 4 canales de entre -40° y +125° o milivoltios de 0 a 4095 mV (Cavadevices). Registrando la temperatura en ambos tratamientos cada media hora. Con los resultados obtenidos se realizó el promedio de las lecturas diarias para construir las curvas de temperatura.

4.4.4 Índice de verdor

Se determinó el índice de verdor mediante el uso de un medidor de clorofila Minolta SPAD 502. Las determinaciones se realizaron en dos momentos distintos, siendo la primera medición el 02/02/2021 con la planta en pleno crecimiento y la segunda 23/02/2021 con la planta óptima para cosecha. Para esto se seleccionaron 3 plantas al azar por parcela, 9 por tratamiento y se realizaron 10 mediciones por hoja, realizando el promedio de estos valores para obtener el dato resultante.

4.4.5 Determinaciones morfológicas

- Se midió con una cinta métrica, el **diámetro de la planta**, midiendo siempre en forma paralela al camellón.
- **Número de hojas**. Para esto se contaron todas las hojas con un tamaño mayor a 4 cm a cosecha.
- **Tasa relativa de producción de hojas**: se determinó mediante la siguiente formula:

$$TRH=(Hf-Hi)/(Hi.t)$$

Donde: TRH= Tasa relativa de producción de hojas.

Hf= Numero de hojas finales (a cosecha).

Hi= Número de hojas iniciales registradas el 2/3/2020.

t= tiempo entre mediciones.

- **Peso fresco y seco a cosecha**. Para esto se pesaron con balanza analítica las plantas al momento de cosecha, luego se las colocó en bolsas de papel madera y luego a secar en estufa a 70 °C durante 48 hs para la determinación del peso seco.
- **% Materia Seca**: se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\%MS= 100-(((Ph-Ps)/(Ph))*100)$$

Donde: Ph=Peso húmedo

Ps= Peso seco en estufa a 60°C.

4.5 Análisis de los resultados

Los datos se sometieron a análisis de la varianza, evaluando las diferencias entre medias por la prueba de Tukey ($p < 0,05$) utilizando el programa Infostat (Di Rienzo, 2020). Los gráficos se realizaron utilizando el programa Graphpad.

5. RESULTADOS

5.1 Volumen de agua suministrado por ambos sistemas

En el caso del riego por goteo el volumen erogado por goteo fue de 1,5 L *Hora, lámina aplicada: 18,75 mm con un intervalo de 5 días mientras que en el caso del sistema ecopónico se determinó una oferta de 0,6 L * día * ampolla, lo que equivale a 0,025 L* Hora* ampolla, una lámina aplicada de 0,15 mm de manera constante durante 24 horas y 5 días, lo que da una lámina aportada de 18 mm. Esto arroja valores sin diferencia significativa siendo menor la lámina aportada en el riego ecopónico.

5.2 Cálculo de Lámina Aplicada

Riego por goteo:

caudal $1,5 \text{ l/h} \times 5 \text{ goteros} = 7,5 \text{ l/h} = 0,0075 \text{ m}^3/\text{h}$

Lámina Aplicada: $0,0075 \text{ m}^3/\text{h} \times 1 \text{ hora} / 0,40 \text{ m}^2 = 0,01875 \text{ m} = 18,75 \text{ mm}$ con un intervalo de 5 días.

Riego ecopónico:

caudal $0,025 \text{ l/h} \times 2,4 \text{ capsulas} = 0,06 \text{ l/h} = 0,00006 \text{ m}^3/\text{h}$

Lámina Aplicada: $0,00006 \text{ m}^3/\text{h} \times 1 \text{ hora} / 0,40 \text{ m}^2 = 0,00015 \text{ m} = 0,15 \text{ mm}$ se aplica de manera constante durante 24 horas y 5 días, lo cual da 18 mm.

5.3 Contenido de humedad y temperatura del suelo

En Figura 10 el suelo de los lomos con riego por cápsulas de cerámica porosas, presentó contenidos volumétricos de humedad algo menores que para el riego por goteo convencional. En el caso de las piezas cerámicas el contenido de agua promedio para el periodo estudiado fue de 0,438 m³ m⁻³, mientras que el testigo arrojó valores promedio de 0,585 m³ m⁻³. Además, de la figura 6 se puede mencionar que la marcha del contenido de humedad para el riego con cápsulas porosas muestra un leve decrecimiento hacia el final del periodo estudiado, mostrando un comportamiento más heterogéneo que para el caso del riego por goteo, que se mostró más constante a lo largo del periodo. En el caso de la temperatura del suelo (Figura 11), se observa un comportamiento similar en cuanto a la heterogeneidad que muestra la marcha de temperatura en el caso del riego ecopónico, mostrando mayor variabilidad en el comportamiento que el riego por goteo. Los promedios de temperatura se encontraron para el caso de las cápsulas de cerámica en 26,23°C y en el caso del testigo en 25,15°C.

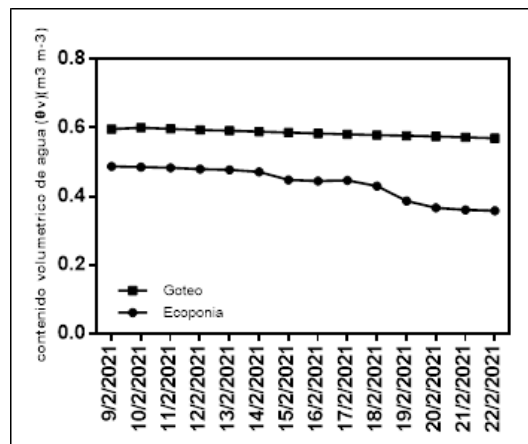


Figura 10. Contenido volumétrico de agua en el suelo (m³) medido con un sensor SCH10 de 4 canales (Cavadevices). Los cuadrados representan la media diaria para el riego por goteo (testigo) y los círculos representan el promedio diario para el riego ecopónico.

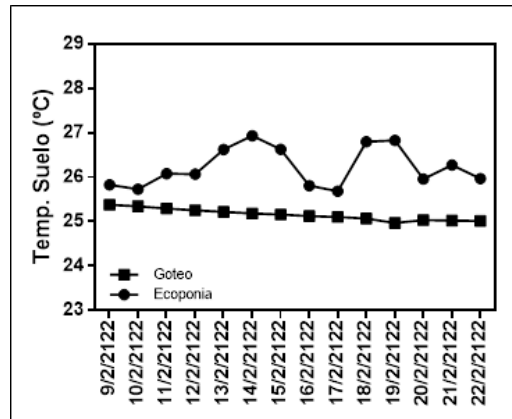


Figura 11. Temperatura del suelo. Los cuadrados representan la medida promedio diaria para el riego por goteo (Testigo) y los círculos representan el promedio diario de temperaturas de suelo para el riego ecopónico.



Figura 12. Inspección de ampollas (2 enero 2022)

5.4 Índice de verdor y determinaciones morfológicas

De los resultados obtenidos, no se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para los tratamientos analizados (figura 13). Siendo el promedio de los valores de 26,39 y 27,79 para las mediciones en el tiempo 1 y 2 respectivamente, en el riego ecopónico y para el caso del testigo los valores promedio fueron de 26,13 en el T1 y 26,6 en el T2. La variación observada en el caso de la Ecoponia fue de un 5 % de aumento, mientras que en el riego por goteo el aumento fue de un 1%.

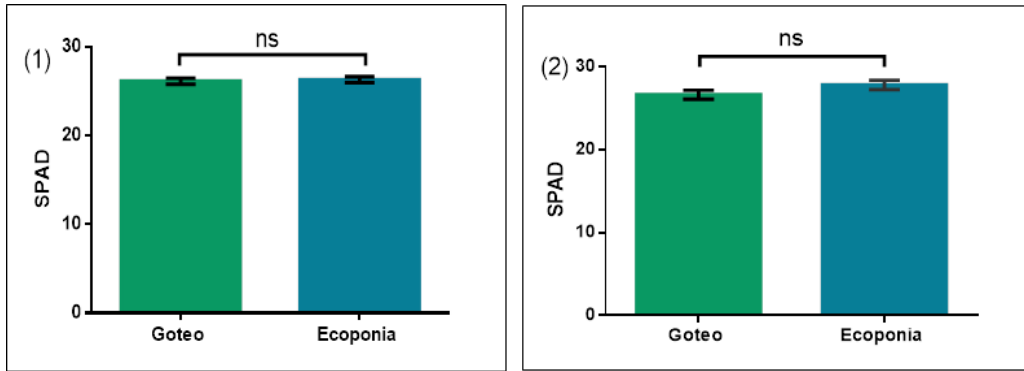


Figura 13. Contenido de clorofila expresado en unidades SPAD. Columnas verdes representan al riego por goteo (Testigo), columnas azules representan el riego ecopónico. (1) medición al T1, (2) medición en el tiempo 2. Ns= sin diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

El número de hojas con un largo mayor a 4 cm después de encabezamiento, tampoco arrojó diferencias significativas entre los tratamientos (figura 14).

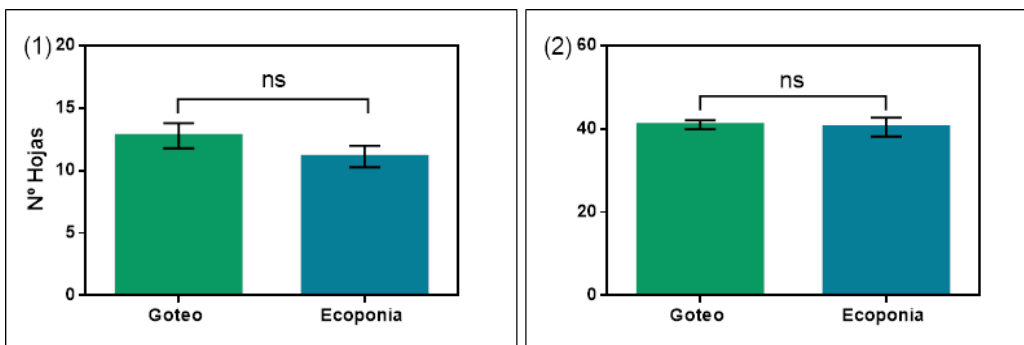


Figura 14. Número de hojas en el T1 (1) y T2 (2). Columnas verdes representan el testigo y columnas azules representan el riego ecopónico. Ns= diferencias no significativas. ($p < 0.05$).

El número de hojas promedio en el T1 fue de 13 y 11 para el testigo y el riego con cápsulas porosas respectivamente. En el T2 los valores obtenidos fueron de 41 hojas para el testigo y 40 para el riego ecopónico. También, se determinó la tasa relativa de producción de hojas (TRH), que al igual que el resto de las determinaciones no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos (Figura 15). La TRH en el caso del riego por goteo fue de $0,13 \text{ hoja} \cdot \text{hoja}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ y en el riego ecopónico de $0,11 \text{ hoja} \cdot \text{hoja}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$.

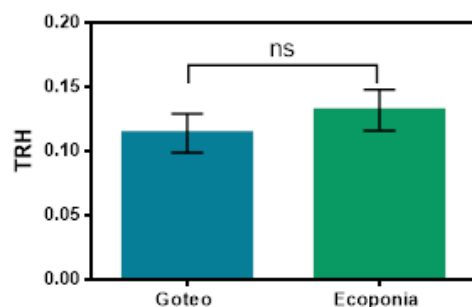


Figura 15. Tasa relativa de producción de hojas (TRH). Columnas verdes representan el testigo y columnas azules representan el riego ecopónico. Ns= diferencias no significativas. ($p < 0.05$)

Se realizó la medida del diámetro de las cabezas al momento de cosecha, no encontrándose diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 1). La media para el testigo fue de 27,71 cm y para la Ecoponia 26,72 cm.

Se determinaron el peso fresco al momento de cosecha y el seco luego de secar a estufa a 60°C durante 48hs (Tabla 1). Estos parámetros no arrojaron diferencias significativas entre los tratamientos. Los valores promedio de peso fresco fueron de 357,5 g, para el testigo y de 292,5 g para el riego ecopónico. En el caso del peso seco los valores fueron de 19,8 g y 15,03 g para el testigo y el tratamiento con cápsulas porosas respectivamente. El porcentaje de materia seca arrojó un valor de 5,40% para el testigo y de 5.62% para el riego ecopónico.

Tratamiento	Variables			
	Diámetro de cabeza	Peso Seco	Peso Fresco	%MS
Goteo	27.71 ± 0.3164 a	19.80 ± 4.24 a	357.5 ± 17.16 a	5.40 ± 0.41 a
Ecoponia	26.72 ± 0.5182 a	15.03 ± 2.93 a	292.5 ± 31.59 a	5.62 ± 0.64 a

Tabla 1. Variables determinadas a cosecha. Diámetro de cabeza, peso seco, peso fresco y % MS. Las letras diferentes entre columnas representan diferencias significativas ($P < 0.05$).

6. DISCUSIÓN

La agricultura ha obtenido logros importantes por la introducción de tecnologías avanzadas para el riego de cultivos agrícolas. Sin embargo, los recursos hídricos y energéticos, pueden resultar competitivos con las necesidades de la población y la industria, sobre todo, en aquellas regiones donde existen limitaciones de este vital líquido. Por lo que es necesario emplear alternativas de riego que conduzcan al uso racional del agua y a la disminución del uso de la energía para el bombeo, con el desarrollo de investigaciones que se materialicen en proyectos de desarrollo sustentable. El riego por cápsulas porosas es una adaptación moderna y eficiente del método tradicional de riego por macetas enterradas (Bainbridge, 2002). Estos recipientes generalmente de cerámica, están provistas de una entrada y una salida de agua, un espesor de pared constante, un volumen preestablecido y una porosidad determinada que garantice que cuando se llene de agua, sea capaz de sudar a través de sus poros, sin permitir la acción del goteo (Sebastián, 2016).

Las cápsulas porosas utilizadas, se interconectan con mangueras atóxicas siliconadas flexibles de ½ pulgadas disponibles en mercado, en un circuito de agua de riego. En cuanto al volumen ofertado por el sistema de riego por cápsulas porosas (“Ecoponia”) él mismo fue significativamente menor que para el testigo, esto implica mayor economía de recurso y coincide con lo que se encuentra ampliamente reportado en la bibliografía (Paredes Rojas, 1993). En este sentido, numerosos autores mencionan que, en el caso de los sistemas de riego por exudación o cápsulas porosas, los mismos presentan un ahorro en el volumen de agua aplicado (Cuestas, 2018; Rodríguez *et al.*, 2010; Casadevall *et al.*, 2018)

Del análisis de los resultados se pudo determinar que las variables número de hojas, peso seco, peso fresco y diámetro de cabeza presentaron valores ligeramente superiores en el testigo, pero sin representar diferencias estadísticamente significativas coincidentemente con lo reportado por Enriquez Garcia *et al.* (1995) quienes realizaron la evaluación de un sistema de riego con cápsulas porosas en comparación a sistemas de riego convencional (goteo y microaspersión) en un cultivo de lechuga.

Sobre las cápsulas de cerámica desde hace algunos años Peña (2015), ha estado trabajando para desarrollar una tecnología basada en la ley de conservación de la energía, la cual, primeramente, fue enfocada para la producción de alimentos en zonas áridas, en sistemas órgano-pónicos y casas de cultivo con resultados altamente prometedores.

Las primeras variables analizadas en este trabajo final, contenido de humedad y temperatura del suelo, no presentaron diferencias significativas. El contenido de humedad, algo inferior al sistema por goteo, que presenta el riego ecopónico puede deberse a la profundidad de las cápsulas, y la heterogeneidad de succión de las plantas de acuerdo al estadio fenológico, donde sus requerimientos hídricos cambian, en cambio el riego por goteo tiene un suministro de energía constante. Esta diferencia de humedad podría tener relación directa con las diferencias de temperatura. La cantidad de humedad en el suelo influye en la velocidad a la que el suelo se enfría y se calienta. Los suelos húmedos se calientan más lentamente que los suelos secos porque el agua en los poros entre las partículas absorbe más calor que el aire (Globe, 2005.) Se recomienda colocar las cápsulas a 10 cm de profundidad medido desde la parte superior del sustrato ya sea en sistemas interiores, exteriores o espacios abiertos lo cual simplifica los criterios de Artiago y Guardado (1993), para el riego por succión. En este ensayo las mismas, fueron

colocadas a 4 cm de profundidad lo que no arrojó diferencias en la producción del cultivo, pero pudo ser el motivo de la variabilidad obtenida en contenido de humedad y temperatura.

7. CONCLUSIÓN

Las variables morfo-fisiológicas evaluadas no presentaron diferencias significativas entre tratamientos. El volumen de agua ofertado por el sistema ecopónico fue relativamente menor al riego por goteo. Esto podría sugerir que el sistema de riego ecopónico podría ser de relevancia a la hora de utilizarlo en sistemas de cultivo intensivos urbanos, paisajísticos y periurbanos de autoconsumo.

8. CONSIDERACIONES FINALES

Para producir el doble de alimento que se requerirá en los próximos 30 años, la agricultura tendrá que incrementar de manera notable la eficiencia en el uso del agua.

En este contexto los sistemas de riego por cápsulas porosas se constituyen en sistemas de relevancia para la producción de alimentos en sistemas urbanos y periurbanos para el autoconsumo y paisajismo.

En las grandes ciudades, donde la mayoría de los habitantes reside en edificios en los cuales quizás el único acceso a un espacio verde sean balcones, terrazas y patios internos, sin tener acceso a porciones de tierra y, teniendo en cuenta el avance de las situaciones de pandemia y conflictos bélicos que gobiernan hoy a nuestro planeta, la oportunidad de producir nuestros propios alimentos domina nuestros temas de discusión.

Es por esta razón que los resultados obtenidos en el marco de esta tesis otorgan conocimientos teórico-prácticos sobre alternativas de producción a escala doméstica de gran relevancia.

Las ampollas de riego ecopónico con un costo inicial y bajo costo de mantenimiento, puede adaptarse a diferentes sistemas ya sea con agua de riego o con soluciones nutritivas hidropónicas, presentando las siguientes ventajas:

- Se reducen las pérdidas de agua debidas a la evaporación interrumpida por “mulching” que requiere, nula es la percolación, por lo que se logran eficiencias de riego muy altas.
- No genera impactos ambientales negativos, mejora los niveles de compactación, erosión, estabilidad estructural y grado de agregación del suelo.
- Se minimiza el vandalismo y facilita las operaciones de mantenimiento. La proliferación de plantas indeseables es mínima.
- Es compatible con el fertirriego y presenta perspectivas en suelos con problemas en zonas áridas y semiáridas. O en sustratos para cultivos en altura edilicia sobre losas.
- Es un sistema de riego auto regulado y el aprovechamiento del agua es óptimo, esto implica un desarrollo y rendimiento favorables en los cultivos.

9. BIBLIOGRAFÍA

Altaf A., Van Genuchten M. & Todd H. (2009). Performance of pitcher irrigation system. Soil Science 174(6): 312-320.

Artiago, A. R., Guardado, L. R (1993). El agua en el suelo. Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria. Universidad de Castilla – La Mancha, Revista Agronomía del riego, Ed. Prensa. ISBN: 10-22-33-44-4, Castelló 37, Madrid, España.

Bainbridge, D.A. (2002). Alternative irrigation systems for arid land restoration. *Ecology restoration* 20(1): 23-30.

Beekman G., Cruz Majluf S., Espinoza N., García Benevente E., Herrera Toledo C., Medina Hidalgo D., Williams D., García-Winder, M. (2014). "Agua, alimento para la tierra". Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). ISBN: 978-92-9248-512-2. San José, Costa Rica.

Benassi, A.H. (2021). Adenda Técnica del Autor-fabricante Piezas Cerámicas "Ecoponia". *En Prensa*

Booker J., Howitt R., Michelsen A., Young R. (2012). "Economics and the modeling of waterresources and policies". *Natural Resource Modeling*, 25, pp.168-218.

Casadevall, M. S. P., & Rodríguez, P. V. (2018). Tecnología del riego por succión para la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*) en condiciones controladas/Suction irrigation technology for the production of tomato (*Lycopersicon esculentum*) under controlled conditions. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 27(2), 1-10.

Cuestas, M. A. M. (2018). Evaluación de la sustentabilidad del sistema de riego por exudación en el cultivo de chile habanero en Petén, Guatemala. Tesis de Maestría.

Daga D., Zulaica L. & Vazquez P. (2020). El periurbano de Mar del Plata (Argentina): clasificación digital de los usos del suelo y análisis de las transformaciones en el cinturón hortícola. *Revista Geográfica De América Central*, 2(65), 175 - 205. <https://doi.org/10.15359/rgac.65-2.7>

Di Benedetto A. (2005). Manejo de cultivos hortícolas: bases ecofisiológicas y tecnológicas. Primera edición. Buenos Aires, Orientadora grafica editora, 385p.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

URL <http://www.infostat.com.ar>

Enriquez Garcia, R., Benavides Benavides, O., & Legarda Burbano, L. (1995). Evaluación del sistema de riego con vasijas de barro y comparación con los sistemas de riego por goteo y microaspersión en el cultivo de la lechuga. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 13(1 y 2).

FAO (2013). SAFA Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems: Indicators Food and Agriculture Organization of the United Nations; Roma, Italy, p. 271.

GWP (2000). *Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Background Paper No. 4*; Global WaterPartnership, Stockholm, Sweden.

Globe, (2005.). *Investigación Hidrológica programa Globe*.

Iturri, MP (1999). Los recursos de agua y suelo para la agricultura y el desarrollo rural. revista técnica del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) COMUNIICA, Año 4, N°11, p. 35-50.

Paredes Rojas, R. (1993). *El Regreso de una Cerámica Necesaria*. Universidad de la Serena. Chile.

Rodríguez, P. V., Casadevall, M. P., Victoria, K. G., de la Rosa, D. R., & Andión, R. Á. (2010). Sistema de riego con emisores porosos para la producción de tomate con ahorro de agua y energía: propuesta de diseño. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 31(1), 34-42.

Romani A., Pinelli P., Galardi C., Sani G., Cimato A., Heimler D. (2002). Polyphenols in greenhouse and open air-grown lettuce. *Food Chemistry*, 79:337-342.

Ryeder E.J., Whitaker T.W: (1995). Lettuce. (pp 53-57). En: *Evolution of crop plants*. Semartt J., Simmonds N.W. (Eds.) Longman Scientifica and Technical, Londres.

Sebastian, M (2016). Manejo del agua con el uso de cero energía y ahorro de agua en jardines de hoteles. *Revista Ingeniería Agrícola*, 6, 50-55.

Setiawan B., Kalsim D.K. & Ilyas A. (1996). Numerical study on soil moisture profile in pitcher. *Journal of Indonesian Society of Agricultural Engineering* 4(1): 37-42.

Siyal A.A., Van Genuchten M.T. & Skaggs T.H (2009). Performance of pitcher irrigation system. *SoilScience* 174(6): 312-320.

Paredes Rojas R. (1993). El regreso de una cerámica necesaria. Universidad de La Serena 1993. Chile.

Vargas R., P., M. Peña C., K. García V., D. Roble de la R. y R. Álvarez A (2010). Sistemas de riego con emisores porosos para la producción de tomate con ahorro de agua y energía: propuesta de diseño. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* 31(1): 34-42.

Wien H. C. (1997). *The physiology of vegetable crops*. CAB INTERNATIONAL, New York. (672p.).