

**Evaluación de tres sustratos y tres recipientes
para la producción de lechuga
(*Lactuca sativa*) cultivar Kristine**

**Damaris Massiel Castillo Arauz
Génesis María Sánchez Barahona**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras**

Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

Evaluación de tres sustratos y tres recipientes para la producción de lechuga (*Lactuca sativa*) cultivar Kristine

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingenieras Agrónomas en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Damaris Massiel Castillo Arauz
Génesis María Sánchez Barahona**

Zamorano, Honduras

**Evaluación de tres sustratos y tres recipientes para la producción de lechuga
(*Lactuca sativa*) cultivar Kristine**

**Damaris Massiel Castillo Arauz
Génesis María Sánchez Barahona**

Resumen. El tipo de sustrato y recipiente son dos de los componentes más importantes de un sistema de producción sin suelo, los cuales son determinantes en el desarrollo de un cultivo como la lechuga. El objetivo del experimento fue evaluar tres sustratos elaborados con raquis de maíz u olote y compost en diferentes proporciones (70:30, 40:60 y 100%) y tres recipientes (trinchera, saco y bolsa); la trinchera y saco se caracterizan por ser anchos y poco profundos, y la bolsa angosta y profunda. El estudio se condujo en las estructuras del Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas de Zamorano, Honduras. Se utilizó un arreglo factorial de parcelas divididas, siendo el recipiente el factor en parcelas principales y el sustrato en subparcelas con cuatro repeticiones. Las variables medidas fueron biomasa a los 10, 15, 20, 25 y 30 días después de trasplante (DDT), mortalidad de las plantas a los 5, 15 y 30 DDT, pH, conductividad eléctrica y patrón de humedecimiento al finalizar el experimento. Los costos se estimaron con base en los presupuestos parciales de cada tratamiento. Los sacos presentaron los mayores valores de biomasa; los sustratos, no tuvieron efecto sobre la biomasa. Las trincheras presentaron el mayor porcentaje de mortalidad. Los valores de pH y conductividad eléctrica se encontraron fuera del rango óptimo para el cultivo de lechuga.

Palabras claves: Biomasa, conductividad eléctrica, mortalidad, pH, raquis de maíz.

Abstract. The type of substrate and container are two important components of a soilless production system, which determine the development of a crop, such as lettuce. The objective of this experiment was to evaluate three substrates elaborated with maize rachis or cob and compost at different proportions (70:30, 40:60 and 100%), and three containers (trench, sac and bag); the trench and sac are broad and shallow, and bag narrow and deep. This study was carried out at the facilities of the Regional Center of Innovation for Vegetables and Fruits in Zamorano, Honduras. The experiment was conducted using a split plot arrangement completely randomized; the type of container was the dominant factor on main plots and the kind of substrates in sub-plots with four repetitions. The variables measured were plant biomass at 10, 15, 20, 25 and 30 days after transplant (DAT), mortality at 5, 15 and 30 DAT, pH, electrical conductivity and the humidity pattern on the wet-bulb. Costs were estimated based on a partial budget for each treatment. Sacks presented the highest values of biomass unlike the substrates that had no effect on this variable. The trench systems had the highest mortality percentage. The pH and electrical conductivity values were found out of the optimum range for lettuce.

Key words: Biomass, electrical conductivity mortality, pH, maize cob.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Índice de cuadros y figuras	v
1. INTRODUCCION	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	9
4. CONCLUSIONES.....	15
5. RECOMENDACIONES.....	16
6. LITERATURA CITADA.....	17

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros	Página
1. Tratamientos y factores establecidos en el experimento... ..	5
2. Cantidad de fertilizante aplicado al cultivo de lechuga cultivar Kristine.....	6
3. Medición de diámetro y profundidad del bulbo de humedad en tres tipos de recipientes.....	11
4. Efecto de tres recipientes en la biomasa (g) de plantas de lechuga cultivar Kristine a los 10, 15, 20, 25 y 30 días después de trasplante (DDT)	12
5. Efecto de tres sustratos en la biomasa (g) de plantas de lechuga cultivar Kristine a los 10, 15, 20, 25 y 30 días después de trasplante (DDT)	12
6. Efecto de tres recipientes en la mortalidad de plantas de lechuga cultivar Kristine a los 5, 15 y 30 días después de trasplante (DDT)	13
7. Efecto de tres sustratos en la mortalidad de plantas de lechuga cultivar Kristine a los 5,15 y 30 días después de trasplante (DDT)	13
8. Estimación de costos en dólares para la producción de lechuga variedad Kristine usando tres tipos diferentes de sustratos y recipientes con base en una hectárea.....	14

Figuras	Página
1. Diagrama de una trinchera con sus dimensiones.....	4
2. Diagrama de una bolsa con sus dimensiones.	4
3. Diagrama de un saco con sus dimensiones.	4
4. Diseño experimental en campo	8
5. Comportamiento del pH de la solución de los sustratos 70R30C, 40R60C y 100R por un periodo de cuatro semanas	9
6. Comportamiento del CE de la solución de los sustratos 70R30C, 40R60C y 100R por un periodo de cuatro semanas	10

1. INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una planta perteneciente al orden Asterales y familia Asteracea, proveniente del Mediterráneo. Su crecimiento es óptimo en climas donde la temperatura promedio va de 15 a 18 °C; 21 a 24 °C máxima y 7 °C mínima (Casaca 2005). En Honduras, la producción de lechuga se concentra en los departamentos de Comayagua, Francisco Morazán, Intibucá y Ocotepeque, gracias a las condiciones favorables que proveen (MCA-Honduras 2009). La lechuga se cultiva generalmente en suelo sin embargo estudios indican que el área agrícola en Honduras está en proceso de degradación acelerada y por esto es necesario la búsqueda de nuevas alternativas que empleen la producción sin suelo para productores dispuestos a cumplir con la demanda nacional y que puedan obtener beneficios que conlleva el uso de los mismos (FAO 2002).

En los últimos 30 años ha ocurrido una expansión de cultivos sin suelo como es el caso de las hortalizas, donde el tomate se posiciona en primer lugar, seguido del pepino y por último pimiento. Estudios respaldados por encuestas realizadas a agricultores, señalan que los componentes de sustratos más utilizados son perlita, lana de roca, fibra de coco y arena (Magán Cañadas 2008). Dentro de los recipientes más comunes figuran bolsas y bancales de polietileno (Mata-Vázquez *et al.* 2010).

El sustrato representa uno de los componentes más importantes de un sistema de producción debido a que cumple la función de soporte, reservorio de agua y nutrientes para la planta. Es importante conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas de un sustrato; porque los estados iniciales de estas propiedades, así como sus transformaciones en el tiempo, van a determinar el desarrollo o muerte de la planta (Masaguer *et al.* 2015).

Algunos materiales tales como el compost puede ser aprovechado como sustrato puro o combinado con otros materiales. El uso de este va a depender de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Por lo tanto, es importante asegurarse que el proceso de compostaje se lleve a cabo de una forma ideal (Navarro *et al.* 1995). De acuerdo a Osorio Castro (2011), una mezcla de sustrato con un contenido de 50% de compost genera plantas de lechuga de buena calidad. Así mismo, Márquez *et al.* (2008) afirma que el uso de compost como sustrato combinado con arena o perlita incrementan notablemente los rendimientos en producción de tomate sin suelo.

El raquis de maíz u olote es un residuo o subproducto agrícola que se genera en el proceso de separación del grano de la mazorca, se estima que por cada tonelada de maíz se obtienen 170 kg de raquis. En el 2010 se estimó que la producción mundial de maíz fue de 844

millones de toneladas, de las cuales se generan alrededor de 144 millones de toneladas de raquis. Este recurso se ha destinado principalmente a la quema o al esparcimiento de sus residuos al aire libre, limitando su aprovechamiento para otras actividades (Córdoba *et al.* 2013).

Se ha reportado una alta eficiencia de raquis de maíz como mulch para reducir la tasa de erosión y coberturas en invernaderos de rosas. En invernaderos las fragmentaciones de las partículas de raquis permiten la movilidad del agua, manteniendo temperaturas uniformes. Todos estos aspectos promueven la visualización del raquis como posible sustrato (Córdoba *et al.* 2013). Actualmente hay poca documentación que registre el uso de raquis de maíz integrado en sustratos de cultivos.

Otro factor a considerar al cultivar en sustratos es el recipiente o contenedor, en los cuales predominan dos morfologías. En la primera domina el eje horizontal sobre el vertical, que es el caso, de los recipientes tipo saco y trinchera. En la segunda, el eje vertical es más largo que el horizontal, morfología que corresponde a macetas y bolsas. La forma del contenedor influye en propiedades ecofisiológicas tales como el desarrollo radicular, oxigenación y condiciones de salinidad en un sustrato (Alarcón 2006).

El uso de sustratos para cultivar lechuga provee ventajas técnicas tales como prevención de enfermedades y plagas del suelo, además existe un mayor control del empleo y movimiento del agua, aprovechando eficientemente el área de producción.

El objetivo de este estudio fue:

- Evaluar la eficiencia de tres sustratos y tres tipos de recipientes para la producción de lechuga.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. El estudio se llevó a cabo en el Centro Regional de Innovación para las Hortalizas y Frutas de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Localizada a 30 km de Francisco Morazán. Se estableció en el mes de septiembre, durante este mes se presentó una precipitación acumulada de 39.4 mm y una temperatura promedio de 23.2 °C.

Establecimiento. Se designó un área de 12 × 21 m, la cual fue preparada previa a la instalación del experimento. Se formaron 12 parcelas de 2.4 × 3.5 m cada una y el área restante fue distribuida en distanciamiento.

Sustratos. Los dos materiales que se utilizaron para la mezcla de sustrato final fueron raquis de maíz u olote molido y compost en diferentes proporciones. Se llenaron sacos con 1376 L (578 kg) de raquis para trasladarlos al molino donde se redujo el tamaño a partículas de 15 mm; y se obtuvieron 1209 L (498 kg) de raquis de maíz molido lo que representa un 13.8% de reducción de peso. Se emplearon 519 L (230 kg) de compost, proveniente de la compostera de la Unidad de Agricultura Orgánica. Se colocaron 2 L de sustrato por planta.

Se evaluaron tres sustratos con diferentes proporciones de raquis y compost. El sustrato 70R30C estaba compuesto en un 70% por raquis de maíz y 30% compost (v/v), en el cual se mezclaron 403 L (174 kg) de raquis con 173 L (75 kg) de compost. El segundo sustrato, 40R60C, fue 40% raquis y 60% compost (v/v), mezclando 230 L (104 kg) de raquis y 346 L (155 kg) de compost. El último sustrato, 100R, fue 100% raquis de maíz.

Recipientes. Se utilizaron tres recipientes.

- **Trincheras:** para la elaboración de trincheras, se realizó desmalezado haciendo uso de azadón y se prosiguió a cavar los huecos en el suelo, cuyas dimensiones fueron 2.4 × 0.6 × 0.15 m. Una vez listos los huecos se colocó plástico de polietileno de alta densidad (HDPE) para cubrirlos, en los que se realizaron cuatro perforaciones a lo largo para crear drenaje. Se depositaron 48 L por cada una (Figura 1).
- **Bolsas:** se utilizaron bolsas HDPE de 40 cm × 45 cm (15 L) las cuales se llenaron con 4 L de sustrato (Figura 2). Se doblaron para ajustar la altura a 25 cm.
- **Sacos:** se utilizaron sacos de polietileno con medidas de 90 × 60 × 15 cm con 16 L de sustrato cada uno (Figura 3).

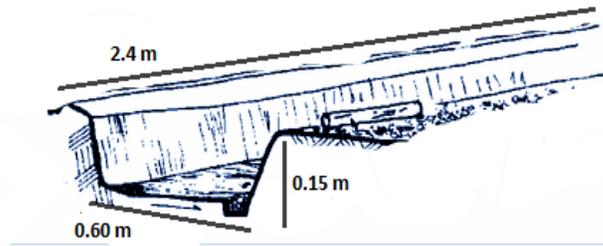


Figura 1. Diagrama de una trinchera con sus dimensiones.

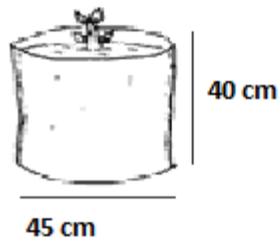


Figura 2. Diagrama de una bolsa con sus dimensiones.

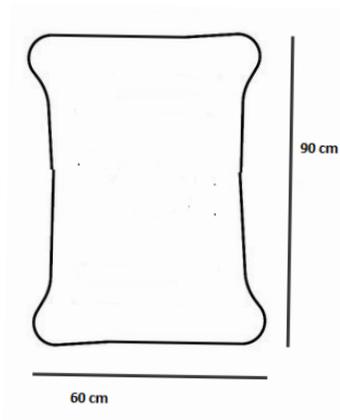


Figura 3. Diagrama de un saco con sus dimensiones.

Tratamientos. Los tratamientos fueron definidos en base a la combinación de tres sustratos y tres recipientes, evaluando nueve tratamientos que se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos y factores establecidos en el experimento.

Tratamiento	Sustrato	Recipiente
1	70R30C	Trinchera
2	40R60C	Bolsa
3	100R	Saco
4	40R60C	Trinchera
5	100R	Bolsa
6	40R60C	Saco
7	100R	Trinchera
8	70R30C	Bolsa
9	70R30C	Saco

Siembra. Se utilizó semilla de lechuga cultivar Kristine. La siembra se realizó en la sección de plántulas en la Unidad de Ornamentales y Propagación de la Escuela Agrícola Panamericana. Las semillas fueron sembradas en bandejas speeding de plumavit con 200 alvéolos en un medio de turba (PINDSTRUP®). Estas permanecieron en el cuarto de pregerminación por 48 horas y luego se movieron al invernadero por 28 días.

Trasplante. Se decidió utilizar una configuración de 20 × 20 cm en base a un ensayo llevado a cabo por Carrillo *et al.* (2015). Se trasplantaron 864 plántulas en total. Esta actividad fue llevada a cabo en horas frescas de la mañana y al igual que la siembra, se realizó dos veces.

En las trincheras, se hicieron agujeros a doble hilera a una distancia de 20 × 20 cm. Colocando 12 plántulas por hilera. En las bolsas, se realizaron dos agujeros por bolsa a una distancia de 20 cm, situando dos plántulas por bolsa. En los sacos, se hicieron agujeros a doble hilera a una distancia de 20 × 20 cm, colocando ocho plántulas por saco.

Riego. Se estableció un sistema de riego por goteo usando cintas del modelo Azud. Se colocaron dos cintas en los recipientes saco y trinchera, y una cinta por bolsa, cada una con un distanciamiento entre emisor y cintas de 20 cm. Previo al trasplante se realizó un aforo para determinar el caudal de los emisores cuyo resultado fue de 0.43 L/h/emisor promedio. Este dato permitió establecer una frecuencia diaria de riego con una duración de 1 h para suplir la necesidad del cultivo de 2.4 mm/ día. El riego fue suspendido los días en que se presentó precipitación.

Fertilización. Según MCA-Honduras/ EDA y FINTRAC (2009) los requerimientos del cultivo de la lechuga son: 150 kg/ha N, 110 kg/ha P, 180 kg/ha K, 50 kg/ha Ca, 50 kg/ha. Para suplir estos requerimientos se aplicó Pekacid, nitrato de calcio (NO₃CaO), sulfato de magnesio (SO₃Mg), nitrato de potasio (KNO₃) y nitrato de amonio (NO₃NH₄). Previo a la siembra se aplicó el 20% del fertilizante, quedando el 80% que se distribuyó durante los treinta días en campo. La fertilización se realizó a través del sistema de riego, tres veces por semana (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cantidad de fertilizante aplicado al cultivo de lechuga cultivar Kristine.

Fertilizantes	Pre siembra (g/aplicación)	Dosis (g/aplicación)
Nitrato de Calcio	1338	412
Pekacid	2197	676
Sulfato de Magnesio	1558	479
Nitrato de Potasio	1484	457
Nitrato de amonio	1021	314

Plagas y enfermedades. Existen factores que afectan la expresión del máximo potencial productivo de las plantas, al igual que para cualquier otro organismo vivo, los cuales se proceden de diversas índoles tales como insectos, hongos u otros organismos vivos e inclusive agentes abióticos. Cualquier factor que restrinja el desarrollo de la planta es reconocido como enfermedad o plaga (Molina de la Rosa 2017). Para este experimento se mantuvo un monitoreo constante e igual para todos los tratamientos y en el caso de que existieran problemas insectiles, de malezas o patógenos se tratarían los problemas por igual para todos los tratamientos evaluados.

En el experimento se encontró únicamente un individuo considerado plaga debido a que su presencia, específicamente, era capaz de generar daños en el follaje del cultivo. Conocido como gusano peludo, este es un lepidóptero perteneciente a la familia Arctiidae. Se observó una larva que fue controlada manualmente puesto que el nivel crítico se alcanza en un conteo de 13 larvas por cada 10 plantas (Rueda *et al.* 2010). En cuanto a enfermedades, no se distinguió alguna en el ensayo.

Variables evaluadas.

Porcentaje de mortalidad acumulado. La mortalidad varía en función de la densidad de semillas y plántulas, así como también es dependiente del tamaño de los individuos, incidencia de plagas y enfermedades (Samper y Vallejo 2007). En un estudio realizado por Carvajal-Vanegas y Calvo-Alvarado (2013) se monitoreó la mortalidad de manera temprana, intermedia y tardía. Por lo tanto, en este experimento, se midió el porcentaje de mortalidad de cada uno de los tratamientos a los 5, 15 y 30 días posterior al trasplante. Se sumaron los porcentajes de cada medición para tener un porcentaje de mortalidad total respecto a la densidad inicial por tratamiento.

pH y Conductividad eléctrica. Cuando se cultiva sin suelo existen factores que se deben manejar para obtener el desempeño esperado. Entre ellos se encuentran el pH y la conductividad eléctrica (CE), los cuales son indicadores de la disponibilidad y absorción de nutrientes por la planta (Juárez Sifuentes 2014).

Se realizaron las medidas de pH y CE utilizando tres lisímetros de succión de modelo Irrometer que fueron colocados en los sustratos 40R60C, 70R30C y 100R, en el recipiente tipo trinchera. Se extrajo el contenido de los lisímetros una vez por semana mediante la presión negativa ejercida por una jeringa y se depositó la solución, para posteriormente tomar las medidas usando un potenciómetro de modelo GroLine. Se tomaron muestras semanales por la duración del experimento. Para un total de cuatro evaluaciones.

Biomasa. Por lo general, la cuantificación del material vegetal que existe en lechuga se inicia a los 10 días después del trasplante (DDT) con una frecuencia de muestreo de ocho días y tomando tres plantas por parcela al azar, con un total de siete muestreos en ciclo de 70 días (Carranza *et al.* 2009). Para este experimento se seleccionaron tres plantas por parcela (equivalente a una planta por sub-parcela), siendo muestreadas cuatro plantas por tratamiento (equivalente a una planta por repetición). Se cuantificó el follaje y la raíz cada cinco días, a partir del día 10 hasta el día 30 DDT. Se utilizó una balanza del modelo KFS-1BK con una capacidad máxima de 5 kg, para pesar las muestras individualmente y se obtuvieron datos de biomasa en gramos.

Patrón de humedecimiento. El patrón de humedecimiento depende de la porosidad, el caudal y el tiempo de riego. Se mide calculando la distancia lateral y vertical (de arriba abajo) del bulbo de humedad (Gil-Marín 2001). Se seleccionaron nueve tratamientos establecidos para determinar la forma y tamaño, comparando los diámetros de los bulbos obtenidos de cada uno de los tratamientos. La toma de medidas se hizo luego de una sesión de riego de 0.43 L/h por emisor utilizando una cinta métrica.

Colorante textil (FD&C No. 2) ayudó a delimitar la forma geométrica del bulbo de humedad (Gil-Marín 2001). Se hizo una dilución de 60 g de colorante en 20 L de agua. La toma de datos se realizó al finalizar debido a que los recipientes fueron partidos por la mitad para observar el bulbo de humedad lo que ocasiono que se dañaran.

Análisis económico. Se elaboró una tabla de estimación de costos de cada uno de los tratamientos comparando los costos de producción por hectárea que implica cada uno de los tratamientos, con el fin de determinar el tratamiento de menor costo. Los costos están expresados en dólares.

Diseño Experimental. Para este experimento se usó un diseño de parcelas subdivididas (Figura 4). Se trabajó con dos factores: sustrato y recipiente. Se definieron nueve tratamientos con 24 unidades experimentales (UE) (Cuadro 1) y cuatro repeticiones por cada uno. Se establecieron 12 parcelas distribuidas aleatoriamente en el área. En cada una se ubicaron, aleatoriamente, tres tratamientos con recipientes similares, considerados sub-parcelas. Se realizó la agrupación de esta manera para facilitar las actividades de establecimiento y manejo del cultivo.

Se utilizó el programa Sistema de Análisis Estadísticos (SAS® 9.4) con un nivel de significancia de 5% ($P \leq 0.05$). Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con una separación de medias Duncan.

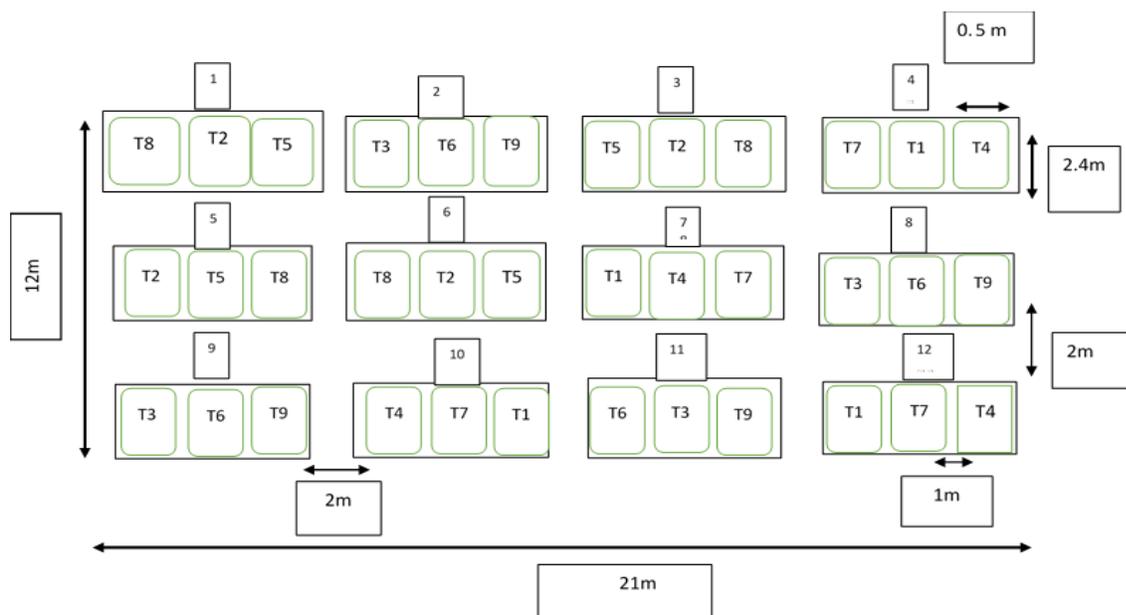


Figura 4. Diseño experimental en campo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

pH y Conductividad Eléctrica. Los tratamientos 70R30C y 100R presentaron un pH inicial de 7.2 con un ligero incremento en la semana dos, una disminución en la semana tres y un leve incremento al final del experimento (Figura 5). Para el tratamiento 40R60C el pH inicial fue de 7.5 incrementado a 7.6 en la semana dos y luego una disminución hasta el final del experimento. Todas las mediciones realizadas se encontraron fuera del rango óptimo de pH (5.5 a 6.6) (Gutiérrez Tlahque 2011).

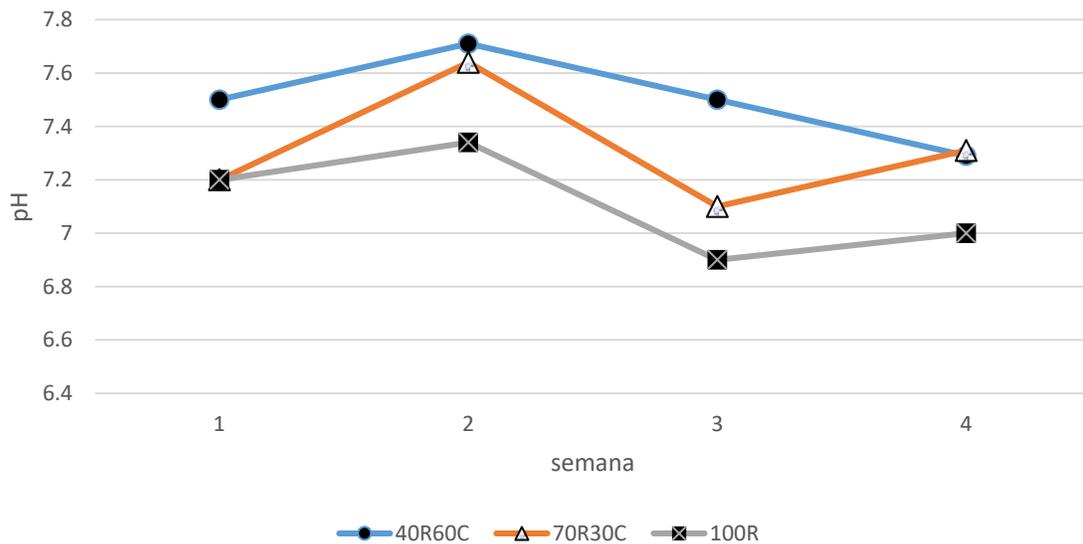


Figura 5. Comportamiento del pH de la solución de los sustratos 70R30C, 40R60C y 100R en trincheras por un periodo de cuatro semanas

En el medio de siembra 100R se recolectaron datos que variaron dentro del rango de 0.33 a 0.55 mS/cm (Figura 6). Para el medio 70R30C se obtuvieron CE de 0.35 a 0.72 mS/cm. En el medio 40R60C se registraron datos de CE dentro del rango 0.40 a 0.66 mS/cm. Todos los valores observados se encontraron debajo del rango óptimo de CE para lechuga (1.5 a 3 cmS/cm) (FAO 2014) (Figura 6).

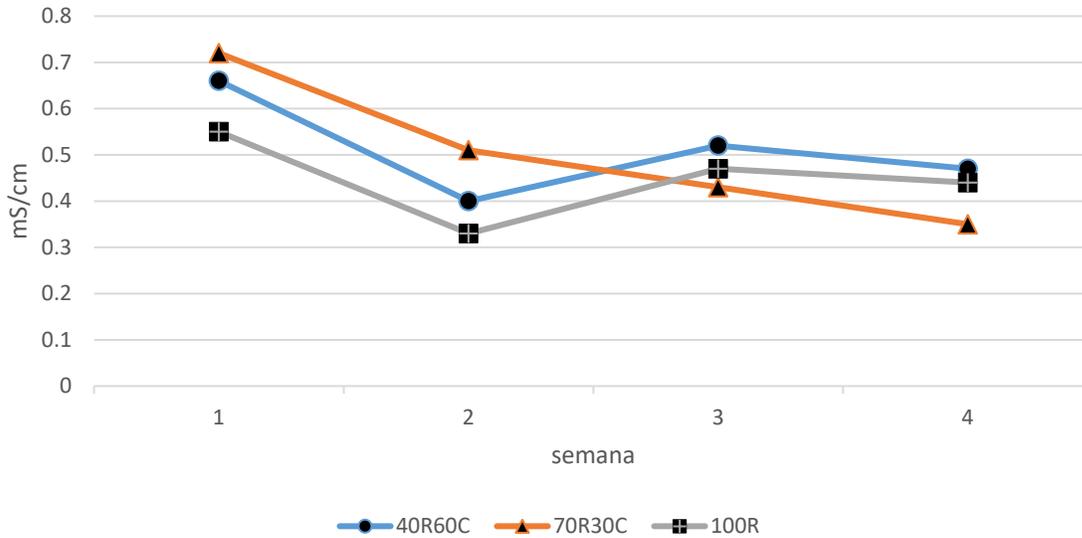


Figura 6. Comportamiento del CE de la solución de los sustratos 70R30C, 40R60C y 100R en trincheras por un periodo de cuatro semanas

El pH del sustrato incrementa o decrece dependiendo del tipo de fertilizantes, el cultivo con que se trabaje y el pH del agua de riego. El cambio de pH asociado a estos factores se da paulatinamente. Sin embargo, cuando la CE de un sustrato es muy baja o excesiva, el pH cambia rápidamente. En este experimento se reportaron valores de pH por encima del rango óptimo y se registraron medidas muy bajas de CE. Por lo tanto, se asocia el incremento de pH con los bajos niveles de CE que son causados generalmente por ineficacia en prácticas de manejo del cultivo, tales como bajas tasas o frecuencias de aplicación de fertilizantes. Existe una relación entre el pH del sustrato y la disponibilidad de los nutrientes para la planta. A pH mayores de 6 los micronutrientes: hierro, manganeso, zinc, cobre y boro se comienza a reducir la disponibilidad y solubilidad para la absorción de las raíces (Buechel 2017).

Patrón de humedecimiento. Se pudo observar que el sustrato 100R en todos los recipientes presentó un menor diámetro (Cuadro 3). En todos los recipientes al añadir compost al contenido del sustrato, en el caso 40R60C y 70R30C, presenta un mayor movimiento lateral del agua, independientemente de los recipientes.

Para los recipientes trincheras y sacos se observó que el agua profundizó en un 100% respecto a la altura del recipiente. Para las bolsas con sustrato 100R presentaron una mayor profundidad en comparación a los demás sustratos (100%), seguido de 70R30C y por último 40R60C.

Cuadro 3. Medición de diámetro y profundidad del bulbo de humedad en tres tipos de recipientes.

Sustrato	Trinchera		Bolsa		Saco	
	Diámetro (cm)	Profundidad (%)	Diametro (cm)	Profundidad (%)	Diámetro (cm)	Profundidad (%)
100R	11.00	100	10.00	100	9.00	100.00
40R60C	22.00	100	20.00	42	20.00	100.00
70R30C	18.00	100	17.00	48	19.00	100.00

La distribución y tamaño de las partículas de un sustrato determinan directamente el tamaño de los poros. A su vez, el espacio entre partículas denominado poros va a afectar el porcentaje de aireación, el movimiento y cantidad de agua que el sustrato puede retener. En suelo uno de los tamaños de partícula grande es el de arena muy gruesa que va de 1 a 2 mm, el cual se caracteriza por tener en su mayoría macroporos y el más pequeño es arcilla con un tamaño <0.002 mm caracterizado por tener poros más pequeños. Por lo tanto, la capacidad de retener y de movilizar agua por capilaridad es baja en un medio compuesto por arena; en cambio, en un medio compuesto por partículas pequeñas como arcilla se aumenta la habilidad de movimiento lateral y retención de agua en el medio (Rucks *et al.* 2004).

El sustrato 100R tiene un tamaño de partículas de 15 mm lo que indica que los espacios entre partículas son muy grandes. Por lo tanto, existe una menor movilidad lateral y un mayor movimiento vertical del agua en el sustrato, es decir, el bulbo tendera a ser angosto y profundo. En el caso de los tratamientos con compost al este presentar un tamaño de partícula más pequeño, aproximadamente 1 mm, provoca que exista un movimiento vertical menor y un movimiento lateral mayor. Se esperaba un bulbo más ancho y menos profundo (Rucks *et al.* 2004).

Biomasa. No se observaron diferencias significativas en el comportamiento de biomasa de las plantas de lechuga en los tres recipientes evaluados al día 10 y 15 después del trasplante (DDT). Al día 20, 25 y 30 DDT se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos donde saco presentó la media en biomasa más alta, seguido de bolsa y por último trinchera (Cuadro 4).

Los recipientes con mayor dimensión en el eje horizontal poseen la ventaja de mayor capacidad para retener agua, ya que la columna de presión de esta es menor en comparación a los recipientes que predomina el eje vertical (Alarcón 2006). A pesar de que las trincheras y los sacos presentaban las mismas dimensiones, los comportamientos de biomasa no fueron similares. Este fenómeno se puede atribuir a que en los días en que hubo precipitaciones, las trincheras no se drenaban correctamente debido a que se forraron con láminas de HDPE impermeable con orificios los cuales no fueron suficientes para drenar la solución provocando inundaciones. Según Mascarini *et al.* (2001), el exceso de agua en el

contenedor afecta el oxígeno disponible para el crecimiento del sistema radicular de la planta y así como también la absorción de nutrientes.

Cuadro 4. Efecto de tres recipientes en la biomasa (g) de plantas de lechuga cultivar Kristine a los 10, 15, 20, 25 y 30 días después de trasplante (DDT).

Recipientes	Biomasa (g/planta)				
	10DDT	15DDT	20DDT	25DDT	30DDT
Saco	7.5ns	11.3ns	20.7a [£]	36.5a	58.5a
Bolsa	5.2	6.7	16.5b	26.3b	44.2b
Trinchera	4.9	8.5	12.9b	18.7b	30.3b
Probabilidad	0.2440	0.2402	0.0581	0.0162	0.0676
R ²	0.33	0.22	0.37	0.43	0.52
CV	68.89	69.83	45.33	51.34	44.5

CV: coeficiente de variación.

£: Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

ns: no hay diferencia significativa.

No hubo efecto del sustrato sobre la biomasa de las plantas de lechuga evaluadas a los 10, 15, 20, 25 y 30 días después del trasplante (DDT) (Cuadro 5). No se observó efecto de la interacción del sustrato \times recipiente en la biomasa a los 10, 15, 20, 25 y 30 días después de trasplante.

Cuadro 5. Efecto de tres sustratos en la biomasa (g) de plantas de lechuga cultivar Kristine a los 10, 15, 20, 25 y 30 días después del trasplante (DDT).

Sustrato	Biomasa (g/planta)				
	10DDT	15DDT	20DDT	25DDT	30DDT
100R	5.3 ns	8.39ns	15.9 ns	25.9 ns	43.5 ns
40R60C	6.8	9.6	18.6	27.4	43.0
70R30C	5.5	8.7	15.5	28.3	46.2
Probabilidad	0.6154	0.8710	0.5570	0.9129	0.9128
R ²	0.30	0.22	0.37	0.43	0.52
CV	68.9	69.83	45.33	51.34	44.49

R: raquis; C: compost, CV: coeficiente de variación.

ns: no hay diferencia significativa.

Mortalidad. El tipo de recipiente tuvo efecto en la mortalidad al día 15 y 30 después de trasplante. Para el día 15 y 30, la mortalidad acumulada en trinchera fue superior en respecto a los otros recipientes (Cuadro 6). Como se mencionó previamente, el mal drenaje de estos recipientes provocó un ahogamiento de las plantas. El exceso de humedad en un sustrato provoca hipoxia. Al existir una poca capacidad del sustrato para aportar oxígeno a las raíces

de las plantas, el crecimiento se ve afectado de forma directa. Cuando las temperaturas son mayores de 20 °C las raíces consumen el oxígeno agotándolo en 24h. Por lo tanto, la supervivencia de las plantas se ve reducida y el rendimiento desciende bruscamente.

Cuadro 6. Efecto de tres recipientes en la mortalidad de plantas de lechuga cultivar Kristine a los 5,15, y 30 días después de trasplante (DDT).

Recipientes	% Mortalidad		
	05DDT	15DDT	30DDT
Saco	4.5ns	9.3b [£]	12.1b
Bolsa	2.4	7.6b	11.4b
Trinchera	6.2	13.5a	16.6a
Probabilidad	0.1973	0.043	0.02
R ²	0.33	0.33	0.38
CV	114.21	54.92	33.08

CV: coeficiente de variación.

£: Letras diferentes en la misma columna son significativamente diferentes ($P \leq 0.05$)

ns: no hay diferencia significativa

No se presentó efecto alguno del tipo de sustrato sobre la mortalidad acumulada en plantas de lechuga (Cuadro 7). A su vez, no se encontró efecto de la interacción del sustrato × recipiente en la mortalidad acumulada al día 5, 15 y 30 después de trasplante.

Cuadro 7. Efecto de tres sustratos en la mortalidad de plantas de lechuga cultivar Kristine a los 5,15, y 30 días después de trasplante (DDT).

Sustrato	% Mortalidad		
	5DDT	15DDT	30DDT
100R	4.5ns	10.4ns	13.1ns
40R60C	4.1	10.0	12.8
70R30C	4.5	10.0	14.2
Probabilidad	0.9810	0.9850	0.7295
R ²	0.33	54.92	0.38
CV.	114.21	0.33	33.08

R: raquis; C: compost; CV: coeficiente de variación.

ns: no hay diferencia significativa.

Análisis de costos. Una de las limitantes del experimento fue la inversión inicial, debido a que los materiales para la implementación de este sistema de producción son de alto costo. El tratamiento de menor costo fue la combinación de saco × 100R y el de mayor costo fue trinchera × 40R60C. La estimación de costos fue expresada en moneda dólares (USD) (Cuadro 8).

Cuadro 8. Estimación de costos en dólares para la producción de lechuga variedad Kristine usando tres tipos diferentes de sustratos y recipientes con base en una hectárea

Costos Variables	Bolsa			Trinchera			Saco		
	100R	70R30C	40R60C	100R	70R30C	40R60C	100R	70R30C	40R60C
Costo total de semilla	385.71	385.76	385.76	385.76	385.76	385.76	385.76	385.76	385.76
Costo total de pílón	457.13	457.20	457.20	457.20	457.20	457.20	457.20	457.20	457.20
Mano de obra trasplante	143.28	143.28	143.28	143.28	143.28	143.28	143.28	143.28	143.28
Costo total por recipiente	219.94	219.94	219.94	6240.00	6240.00	6240.00	7.14	7.14	7.14
Costo de compost	0.00	624.96	1291.57	0.00	624.96	1291.57	0.00	624.96	1291.57
Costo total de raquis	1571.40	1242.84	742.80	1571.40	1242.84	742.80	1571.40	1242.84	742.80
Costo total de sustrato	1571.40	1867.80	2034.37	1571.40	1867.80	2034.37	1571.40	1867.80	2034.37
Costo Fertilización	447.04	447.04	447.04	447.04	447.04	447.04	447.04	447.04	447.04
Costo sistema de Riego	729.96	729.96	729.96	729.96	729.96	729.96	729.96	729.96	729.96
Costo Total:	3954.46	4250.98	4417.55	9974.64	10271.04	10437.61	3741.79	4038.19	4204.76

4. CONCLUSIÓN

- Las medidas de pH y CE tomadas en los tres sustratos, se encontraron fuera del rango óptimo para el cultivo. El bulbo de humedad predominante en los recipientes saco y trinchera fue el ancho y poco profundo, en cambio, en el contenedor tipo bolsa fue angosto y profundo. Dentro del análisis expuesto, se determinó que los tres sustratos evaluados no tuvieron efecto en la biomasa a diferencia de los recipientes que sí tuvieron un efecto sobre esta. Los sacos resultaron ser los recipientes con mayor incremento en biomasa. No se encontró efecto de los sustratos sobre el porcentaje mortalidad acumulada a diferencia de los recipientes que si presentaron efecto. Las trincheras tuvieron mayor porcentaje de mortalidad.

5. RECOMENDACIONES

- Probar diferentes programas de fertilización para determinar el adecuado para este sistema de producción.
- Establecer nuevamente este ensayo, usando los mismos sustratos, contenedores y haciendo uso de malla tipo Ground cover permeable, aplicado a otros cultivos.
- Evaluar distintos sistemas de riego para determinar cuál se adapta mejor a este sistema de producción.
- Realizar análisis foliares para determinar las deficiencias de las plantas relacionadas a altos pH o bajas conductividades eléctricas.

6. LITERATURA CITADA

- Alarcón A. 2006. Cultivo sin suelo. Volumen 17. Murcia (España): Ediciones de Horticultural; [consultado 2018 ago 01]. https://books.google.hn/books/about/Cultivos_sin_suelo.html?id=b_4dGQAACA-AJ&redir_esc=y
- Buechel T. 2017. Relación entre los extremos de fertilidad y el pH del sustrato. Estados Unidos: Premier Tech Horticulture. [consultado 2018 oct 08]. <https://www.pthorticulture.com/es/acerca-de-nosotros/>
- Carranza C, Lancho O, Miranda D, Chaves B. 2009. Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. Rev. Agron. Colomb. [consultado 2018 sep 01]; 27(1): 41-48. Esp.
- Carrasco G, Izquierdo J. 1996. La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT") [internet]. Chile: Editorial Universidad de Talca. [consultado 2018 ago 12].
- Carrillo G, Lara A, Padilla L, Luna M, Avelar J, Llamas J. 2015. Evaluación técnica y financiera del cultivo de lechuga en invernadero, como alternativa para invierno. Terra Latinoamericana: 33. 251-260.
- Carvajal-Vanegas D, Calvo-Alvarado J. 2013. Tasas de crecimiento, mortalidad y reclutamiento de vegetación en tres estadios sucesionales del bosque seco tropical, Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica. Rev. Forest. Meso. Kurú. [consultado 2018 sep 10]; 10(25): 1-12. Esp.
- Casaca Á. 2005. Guías Tecnológicas de Frutas y Vegetales [internet}. El Salvador: DICTA. [consultado 2018 jun 22]. <http://www.innovacion.gob.sv/inventa/attachments/article/2792/lechuga.pdf>
- Córdoba J, Salcedo E, Rodríguez R, Zamora J, Manríquez R, Contreras H, Robledo J, Delgado E. 2013. Caracterización y valoración química del olote: degradación hidrotérmica bajo condiciones subcríticas. Rev. Latinoam. Quím. [consultado 2018 jun 22]; 41(3).

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2014. Anuario estadístico de la FAO [internet]. Santiago: © FAO. [consultado 2018 ago 02]. <http://www.fao.org/3/a-i3592s.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2002. El cultivo protegido en clima mediterráneo [internet]. Roma: © FAO. [consultado 2018 ago 02]. <http://www.fao.org/docrep/005/s8630s/s8630s00.htm#Contents>
- Giacconi M, Escaff G. 2004. Cultivo de Hortalizas. 15ª Ed. Santiago (Chile): Editorial Universitaria; [consultado 2018 oct 10]. <http://www.redalyc.org/pdf/1932/193215047008.pdf>
- Gil- Marín J. 2001. Forma y dimensiones del bulbo húmedo con fines de diseño de riego por goteo en dos suelos típicos de sabana. Rev. UDO Agrí. [consultado 2018 sep 10]; 1(1): 42-47. Esp.
- Gutiérrez Tlahque J. 2011. Producción hidropónica de lechuga con y sin recirculación de solución nutritiva [Tesis]. Universidad Autónoma Chapingo-México. 66 p.
- Juárez Sifuentes H. 2014. Cultivo hidropónico en mangas verticales de dos variedades de acelga y lechuga [Tesis]. Universidad Nacional Autónoma de México- D.F. 64 p.
- Magán Cañadas J. 2008. Producción de pimiento en sustrato [internet]. Innovación. Almería: Cajamar Caja Rural; [Consultado 2018 oct 10]. <http://www.publicacionescajamar.es/series-tematicas/centros-experimentales-las-palmerillas/produccion-de-pimiento-en-sustrato/>
- Márquez C, Cano P, Rodríguez N. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero [Consultado 2018 oct 10]; Rev. Agríc. Téc. Méx. 34(1). Esp. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172008000100008
- Masaguer A, López A, Carmona E, Fornés F, Ordovás J, Gómez M, Moreno M, Marfá O, Cáceres R, López R, Belda R. 2015. De Residuos A Recurso, El Camino hacia la Sostenibilidad. 1ra ed. Madrid (España): Ediciones Mundi-Prensa.
- Mascarini L, Lorenzo G, Svartz H, Pesenti S, Amado S. 2012. Tamaño del contenedor y tipo de sustrato afectan la eficiencia en el uso del agua en *Gerbera jamesonii* para flor cortada [consultado 2018 oct 10]; Revista Brasileira Horticultura Ornamental. 18(1): 71-77. Esp.
- Mata- Vázquez H, Anguiano-Aguilar R, Vázquez- García E, Gázano- Izquierdo I, González- Flores D, Ramírez- Meraz M, Padrón- Torres E, Basanta- Cornide R, García- Delgado M, Cervantes- Martínez J. 2010. Producción de tomate sistema hidropónico con solución nutritiva reciclable en sustrato de Tezontle. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. [Consultado 2018 oct 10]; 4(4): 50-54. Esp.

- MCA-Honduras (Cuenta del Desafío del Milenio- Honduras) / EDA (Entrenamiento y Desarrollo de Agricultores), FINTRAC (El centro de Análisis de Operaciones e Informes Financieros del Canadá). 2009. Producción de lechuga [internet]. La Lima, Cortes: Oficinas de la FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). [consultado 2018 sep 15]. http://bvirtual.infoagro.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/72/EDA_Manual_Produccion_Lechuga_02_09.pdf?sequence=1
- Molina de la Rosa J. 2017. Técnicas de Cultivo: Plagas y enfermedades del Olivo. Sevilla: Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural: Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. [consultado 2018 ago 24]. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/publicacion/17/07/1.%20Plagas%20y%20enferm_olivo_2017%20BAJA.pdf
- Navarro P, Moral H, Gómez L, Mataix B. 1995. RESIDUOS ORGÁNICOS Y AGRICULTURA. 1ra ed. Universidad de Alicante (España): Espagracic; [consultado 2018 jun 20]. <http://www.ingenieroambiental.com/2040/Residuos%20organicos%20y%20agricultura.pdf>
- Osorio Castro C. 2011. Evaluación de distintas fórmulas de sustratos orgánicos para la producción de plantines de lechuga y repollo [Tesis]. Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Agronómicas- Santiago, Chile. 30 p.
- Rucks L, García F, Kaplán A, Ponce de León J, Hill M. 2004. [Tesis]. Facultad de Agronomía de la Universidad de la República- Montevideo. Propiedades Físicas del Suelo.
- Rueda A, Raudes M, E. A. P. Zamorano- PROMIPAC (Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano- Programa de Manejo Integrado de Plagas en América Central). 2010. Plagas del Frijol en Centroamérica. Managua: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). [consultado 2018 ago 24]. <http://repiica.iica.int/docs/B1885e/B1885e.pdf>
- Samper C, Vallejo M. 2007. Estructura y dinámica de poblaciones de plantas en un bosque andino. Rev. Acad. Colomb. Cienc. [consultado 2018 sep 10]; 31(118): 57-68. Esp. <http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/196.pdf>