

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS HORTÍCOLAS

EFFECTO DE SUSTRATOS Y PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN SOBRE
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LECHUGA EN CULTIVO HIDROPÓNICO, EN ZACAPA
TESIS DE GRADO

EMERSON MIZRAIM DE PAZ SALGUERO
CARNET 21089-07

ZACAPA, SEPTIEMBRE DE 2015
CAMPUS "SAN LUIS GONZAGA, S. J" DE ZACAPA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS HORTÍCOLAS

EFFECTO DE SUSTRATOS Y PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN SOBRE
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LECHUGA EN CULTIVO HIDROPÓNICO, EN ZACAPA
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
EMERSON MIZRAIM DE PAZ SALGUERO

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO EN CIENCIAS
HORTÍCOLAS

ZACAPA, SEPTIEMBRE DE 2015
CAMPUS "SAN LUIS GONZAGA, S. J" DE ZACAPA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO: DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA: ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA: MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

LIC. LUIS ANTONIO BARRIENTOS LÓPEZ

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. RAMIRO ARNOLDO LOPEZ PINEDA
ING. ÁNGEL OTTONIEL CORDÓN GARCÍA
LIC. JORGE ARMANDO ROSALES QUAN

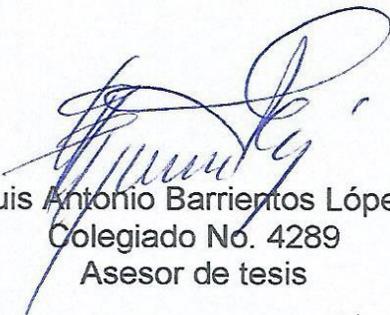
Guatemala, Agosto de 2015

Honorable Consejo de Tesis
Facultad de Ciencias Ambientales
Universidad Rafael Landívar
Campus Central

Respetables Miembros del consejo de Tesis:

Por este medio me dirijo a ustedes para comunicarles que he revisado el informe final de tesis al estudiante Emerson Mizraim De Paz Salguero identificado con carne 21089-07, titulado: **“EFECTO DE TRES SUSTRATOS Y TRES PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L.) EN CULTIVO HIDROPÓNICO EN ZACAPA”**, el informe reúne los requisitos académicos establecidos por la facultad de ciencias ambientales y agrícolas, por lo que me permito recomendar su aprobación, y por tanto solicito que sea revisado por terna que designe el honorable consejo de la facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Luis Antonio Barrientos López
Colegiado No. 4289
Asesor de tesis

Luis Antonio Barrientos López
Ingeniero Agronomo
Colegiado No. 4,289



**Universidad
Rafael Landívar**
Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06347-2015

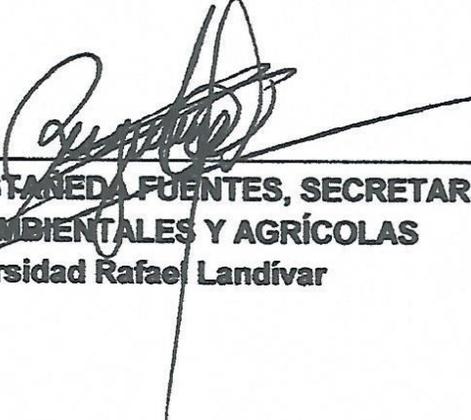
Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante EMERSON MIZRAIM DE PAZ SALGUERO, Carnet 21089-07 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS HORTÍCOLAS, del Campus de Zacapa, que consta en el Acta No. 0692-2015 de fecha 12 de septiembre de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

**EFFECTO DE SUSTRATOS Y PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN SOBRE
RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LECHUGA EN CULTIVO HIDROPÓNICO, EN ZACAPA**

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO en el grado académico de LICENCIADO EN CIENCIAS HORTÍCOLAS.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 30 días del mes de septiembre del año 2015.



ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios por darme la vida y sabiduría para culminar esta etapa de mi vida.

Ing. Luis Antonio Barrientos López por su asesoría, revisión y corrección del presente trabajo.

Mis Padres por todo el apoyo que me han brindado durante la vida en los buenos y malos momentos.

Al Ing. Ramiro López, Ing. Ángel Córdón, Ing. Jorge Rosales, por su apoyo en ser estrictos en la realización y corrección del presente trabajo de tesis.

La Universidad Rafael Landívar, durante mi formación como profesional.

La Escuela de Agricultura de Nororiente "EANOR" por darme la oportunidad de realizar mi ensayo de trabajo de tesis en una de sus áreas de producción.

DEDICATORIA

A:

Dios: por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mis Padres: Olivia Salguero Rosales y Francisco De Paz Reyes, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Mi Familia: Mis hermanas, hermanos y sobrinos, quienes me han acompañado y apoyado en cada etapa de mi vida, por sus sabios consejos e impulsarme a seguir adelante.

A Génesis, Janneth, Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

Mis Amigos: Rudy, Manolo, David, Luis Miguel, Alejandro, Arnoldo que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos, y a todos aquellos que siempre estuvieron presentes durante nuestra formación.

ÍNDICE GENERAL

| Contenido | Página |
|---|---------------|
| RESUMEN | I |
| SUMMARY | II |
| I INTRODUCCIÓN | 1 |
| II MARCO TEORICO | 3 |
| 2.1 Lechuga | 3 |
| 2.1.1 Características de la lechuga | 3 |
| 2.1.2 Características taxonómicas y botánicas de la lechuga | 3 |
| 2.1.3 Fases del ciclo de la lechuga | 5 |
| 2.1.4 Tipos y variedades de lechuga | 6 |
| 2.1.5 Mejora genética | 6 |
| 2.1.6 Usos de la lechuga | 7 |
| 2.2 Hidroponía | 8 |
| 2.2.1 Principios de la hidroponía | 8 |
| 2.2.2 Sistemas de hidroponía | 9 |
| 2.2.3 Ventajas y desventajas de los cultivos hidropónicos | 10 |
| 2.3 Sustratos para utilizarse en hidroponía | 11 |
| 2.3.1 Características de un buen sustrato | 12 |
| 2.3.2 Tipos de sustratos | 13 |
| 2.4 La solución nutritiva | 14 |
| III PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 18 |
| IV OBJETIVOS | 20 |

| | |
|--|----|
| 4.1 Objetivo general | 20 |
| 4.2 Objetivos específicos | 20 |
| V HIPOTESIS | 21 |
| VI METODOS Y MATERIALES | 22 |
| 6.1 Ubicación del estudio | 22 |
| 6.2 Factores estudiados | 22 |
| 6.3 Material experimental | 22 |
| 6.4 Tratamientos | 24 |
| 6.5 Diseño experimental | 26 |
| 6.6 Modelo estadístico | 26 |
| 6.7 Unidad experimental | 26 |
| 6.8 Croquis de campo | 27 |
| 6.9 Manejo del experimento | 28 |
| 6.10 Variables respuesta | 32 |
| 6.11 Análisis de la información | 33 |
| 6.11.1 Análisis estadístico | 33 |
| 6.11.2 Análisis financiero | 34 |
| VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 35 |
| 7.1 Temperatura y humedad relativa en la producción de lechuga | 35 |
| 7.2 Porcentaje de pegue | 36 |
| 7.3 Rendimiento de cabezas de lechuga | 37 |
| 7.4 Diámetro ecuatorial de la cabeza de lechuga | 40 |
| 7.5 Longitud del tallo de la cabeza de lechuga | 42 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 7.6 Altura de la cabeza de lechuga | 44 |
| 7.7 Peso de la cabeza de lechuga | 47 |
| 7.8 Análisis económico (TRM) | 49 |
| VIII CONCLUSIONES | 51 |
| IX RECOMENDACIONES | 52 |
| X REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 53 |
| ANEXOS | 56 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|---|---------------|
| 1. Valor nutricional de la lechuga en 100 g de sustancia. | 7 |
| 2. Preparación de la solución de Steiner. | 24 |
| 3. Producto y cantidad de estos para producir 100 litros de solución y cantidad de elementos por dosis a evaluar (g) de Steiner. | 25 |
| 4. Tratamientos evaluados en el estudio. | 25 |
| 5. Retención de humedad de los sustratos a evaluarse. | 30 |
| 6. Principales propiedades físicas de los sustratos evaluados. | 30 |
| 7. Calculo de la dotación de riego para cultivo de lechuga en arena blanca para los supuestos del 5% de agotamiento y 25% de drenaje. | 31 |
| 8. Análisis de varianza del porcentaje de pegue del cultivo de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 37 |
| 9. Análisis de medias de Tukey para el porcentaje de pegue del cultivo de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 38 |
| 10. Análisis de varianza del rendimiento de cabezas de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 39 |
| 11. Análisis de medias de Tukey para el rendimiento de cabezas de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 40 |
| 12. Análisis de varianza del diámetro ecuatorial de cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 41 |
| 13. Análisis de medias de Tukey para el diámetro ecuatorial de la cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 42 |

| | |
|--|----|
| 14. Análisis de varianza de la longitud de cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 43 |
| 15. Análisis de medias de Tukey para la longitud de la cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 44 |
| 16. Análisis de varianza de la altura de cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 46 |
| 17. Análisis de medias de Tukey para el tamaño de la cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 46 |
| 18. Análisis de varianza del peso de la cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 48 |
| 19. Análisis de medias de Tukey para el peso de la cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 48 |
| 20. Ingreso bruto y neto en la producción de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía en campo abierto. | 49 |
| 21. Análisis de dominancia en la producción de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía en campo abierto. | 50 |
| 22. Análisis de la tasa de retorno marginal en la producción de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía en campo abierto. | 50 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|--|---------------|
| 1. Sistema de raíz flotante (Tapia, 2009). | 10 |
| 2. Sistema NFT (Tapia, 2009). | 10 |
| 3. Sistema aeropónico (Tapia, 2009). | 10 |
| 4. Sistema de cultivo en sustrato inerte (Tapia, 2009). | 10 |
| 5. Parcela experimental de producción de lechuga bajo condiciones hidropónicas. | 27 |
| 6. Croquis de campo de la producción de lechuga bajo condiciones hidropónicas. | 27 |
| 7. Líneas de temperatura (en °C) y humedad relativa (en %) en la producción de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 35 |
| 8. Líneas de tendencia del porcentaje de pegue de las plantas de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 36 |
| 9. Correlaciones del rendimiento de cabezas de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 38 |
| 10. Correlaciones del tamaño ecuatorial de la cabeza de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 41 |
| 11. Correlaciones de la longitud del tallo de la cabeza de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 43 |
| 12. Correlaciones de la altura de la cabeza de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía. | 45 |

13. Correlaciones del peso de la cabeza de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

EFFECTO DE SUSTRATOS Y PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE LECHUGA EN CULTIVO HIDROPÓNICO, ZACAPA

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el efecto de tres sustratos sólidos y tres dosis de solución nutritiva de Steiner en el rendimiento y calidad del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), bajo condiciones hidropónicas, en la Escuela de Agricultura de Nororiente, Zacapa. Los tipos de sustratos empleados fueron: arena de río, arena blanca y piedra pómez; y los programas de fertilización fueron: 3, 4 y 5 cc de solución nutritiva de Steiner por cada litro de agua por planta. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar, con arreglo en parcelas divididas, con nueve tratamientos y tres repeticiones. Las variables de respuesta fueron: porcentaje de pegue de plántulas de lechuga, altura, diámetro, longitud y peso de las cabezas de lechuga, así como; el rendimiento y la tasa de retorno marginal. Los resultados obtenidos mostraron que en el porcentaje de pegue diferencias significativas entre los tratamientos; el tratamiento con mayor rendimiento, diámetro, longitud, peso de las cabezas de lechuga y tasa de retorno marginal fue cuando se utilizó el sustrato arena de río y dosis de 5 cc de SN/litro de agua/planta, con valores de 23,675 kg/ha, 17.71 cm/cabeza, 3.03 cm/tallo, 18.87 cm/cabeza, 173.33 g/cabeza y 802.72% respectivamente. De acuerdo a los resultados técnico y económico financiero para la producción de cabezas de lechuga bajo condiciones hidropónicas en el área de Zacapa, se recomienda utilizar arena de río como sustrato y dosis 5 cc/L de agua de solución nutritiva de Steiner por aplicación.

EFFECT OF SUBSTRATA AND FERTILIZATION PROGRAMS ON THE YIELD AND QUALITY OF LETTUCE UNDER HYDROPONIC CONDITIONS, ZACAPA

SUMMARY

Through this study, the effect of three solid substrata and three doses of Steiner nutritive solution on the yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.), under hydroponic conditions, was evaluated in *Escuela de Agricultura de Nororiente, Zacapa*. The substrata used were: river sand, white sand and pumice stone; and the fertilization programs were: 3, 4, and 5 cc of Steiner nutritive solution per liter of water per plant. A complete randomized block design, in a split plot arrangement, with nine treatments and three replicates was used. The response variables were: percentage of successful lettuce plants, height, diameter, length, and weight of lettuce heads, as well as yield and marginal rate of return. According to the results, the percentage of success showed significant differences among treatments; the highest yield, diameter, length, weight of lettuce head, and marginal rate of return was obtained with the treatment that consisted of river sand substrata and dose of 5 cc of SN/liter of water/plant, with values of 23,675 kg/ha, 17.71 cm/head, 3.03 cm/stem, 18.87 cm/head, 173.33 g/head, and 802.72%, respectively. According to the technical and financial-economical results, for the production of lettuce heads under hydroponic conditions in the area of Zacapa, it is recommended to use river sand substrata and a dose of 5 cc/L of water with Steiner nutritive solution per application.

I. INTRODUCCIÓN

La hidroponía es una de las ramas de la agricultura que ha alcanzado altos índices de desarrollo utilizando tecnología de punta, destacando las granjas hidropónicas de países desarrollados que por limitaciones climáticas o edáficas, o ambas, hacen uso de esta técnica para producir una variada cantidad de vegetales, hortalizas, flores y ornamentales, destinados la mayoría a los mercados regionales o internacionales.

Los cultivos hidropónicos pueden ser una opción en la lucha contra la pobreza y la desnutrición de las áreas rurales marginadas de Guatemala y en especial, en el departamento de Zacapa, donde el suelo y el clima no son adecuados para la producción de hortalizas y vegetales, y 36.70% de la población vive en pobreza total (SEGEPLAN, 2011 citado por el Banco Mundial, 2013). Esta pobreza lleva implícita serios problemas de desnutrición o malnutrición, donde se presentan dietas con excesos o limitadas en carbohidratos, con bajo o ningún consumo de fuentes de proteína, vitaminas y minerales, por la ausencia de las fuentes de estos nutrientes como verduras, hortalizas y frutas.

Con el fomento y producción de cultivos hidropónicos a través del Programa de Capacitación, Asistencia Técnica y Crédito, del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) (MAGA, 2013), para la producción de hortalizas y vegetales se puede contribuir a elevar la calidad de vida de las comunidades rurales del departamento de Zacapa. La producción hidropónica es una alternativa donde las limitantes de agua y suelo se pueden superar con sistemas intensivos o semi-intensivos, asociando la producción a nuevas técnicas de cultivo sustituyendo el suelo por sustratos orgánicos e inorgánicos presentes en las comunidades, y técnicas de fertilización no convencionales y utilizando cantidades mínimas de agua, con posibilidad de reutilizarse.

Para obtener mayor eficiencia, mejores resultados y éxito de la producción hidropónica a campo abierto o libre exposición, se debe tomar en cuenta los siguientes criterios: ubicar la huerta en un lugar donde reciba como mínimo seis (6) horas de luz solar. Para

esto es importante utilizar espacios con buena iluminación, y cuyo eje longitudinal mayor esté orientado hacia el norte. Se deben evitar aquellos espacios sombreados por árboles, los lugares inmediatos a casas u otras construcciones y los sitios expuestos a vientos fuertes. Además se debe instalar de algún tipo de techo plástico transparente, de uso agrícola para proteger la huerta de lluvias excesivas, también se debe tomar en cuenta el uso de un sarán al 50% de sombra con el cual se logra un mejor control de la sombra y temperatura disminuyendo así los efectos del stress calórico en las zonas cálidas como lo es el departamento de Zacapa. Así como estar ubicada cerca de una fuente de agua para los riegos, con el fin de evitar el esfuerzo que significa transportar los volúmenes de agua necesarios.

Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la respuesta de tres tipos de sustratos sólidos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones hidropónicas a campo abierto, en la calidad y rendimiento del cultivo de lechuga *Lactuca sativa* L., en la Escuela de Agricultura de Nororiente, Zacapa. Con el fin de alcanzar cultivos de calidad en el menor tiempo posible, con mínimos costos de producción. El experimento se condujo en un diseño bifactorial de bloques al azar, con arreglo en parcelas divididas con nueve tratamientos y tres repeticiones.

Dentro de los resultados más sobresalientes de la presente investigación se tienen: el porcentaje de pegue de lechuga fue significativa en todos los tratamientos con excepción cuando se utilizó arena blanca con dosis 4 y 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta, con valores de 81.33 y 82.67% respectivamente; el mejor rendimiento de cabezas, los mejores diámetros y longitudes de cabeza, el mayor peso de la cabeza y mejor tasa de retorno marginal fue cuando se utilizó arena de río como sustrato y 5 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta.

Por lo tanto, los resultados técnico y económicamente para la producción de cabezas de lechuga bajo condiciones hidropónicas en el área de Zacapa, se recomienda utilizar arena de río como sustrato y dosis 5 cc/L de agua de solución nutritiva de Steiner por aplicación.

II. MARCO TEORICO

2.1 LECHUGA (*Lactuca sativa* L).

2.1.1 Características de la lechuga

El origen de la lechuga no parece estar muy claro, aunque algunos autores afirman que procede de la India, hoy en día los botánicos no se ponen de acuerdo, por existir un seguro antecesor de la lechuga, *Lactuca scariola* L., que se encuentra en estado silvestre en la mayor parte de las zonas templadas. El cultivo de la lechuga se remonta a una antigüedad de 2,500 años, siendo conocida por griegos y romanos. Las primeras lechugas de las que se tiene referencia son las de hoja suelta, aunque las acogolladas eran conocidas en Europa en el siglo XVI (Malca, 2001).

De Egipto paso a Grecia, según los escritos de Sócrates (450 a.C.), Aristóteles (356 a.C.), Teofrasto (332 a.C.) y Dioscórides (60 a.C.). La lechuga fue muy bien cultivada por los romanos, quienes lo difundieron por toda Europa y llegó a América, en 1594, registrándose su cultivo en la isla de Isabela, hoy llamada Croked Island, en las Bahamas, solo dos años después del primer viaje de Colón. Se consideraba que la lechuga conocida en esa época era del tipo cos o bien de la hoja (Granval y Gaviola, 2010).

2.1.2 Características taxonómicas y botánicas de la lechuga

De acuerdo a Granval y Gaviola (2010), la clasificación taxonómica de la lechuga es la siguiente:

| | |
|--------------------|-----------------------|
| Reino: | Plantae |
| División: | Magnoliophyta |
| Clase: | Magnoliopsida |
| Orden: | Asterales |
| Familia: | Asteraceae |
| Subfamilia: | Cichorioideae |
| Tribu: | Lactuceae |
| Género: | <i>Lactuca</i> |
| Especie: | <i>Sativa</i> |
| Nombre científico: | <i>Lactuca sativa</i> |
| Nombre vulgar: | Lechuga |

La descripción botánica de la lechuga de acuerdo a Granval y Gaviola (2010), es la siguiente:

Raíz: esta es pivotante, presenta un eje principal carnosos, poco ramificado, con abundante látex, pudiendo llegar hasta 1.8 m de profundidad. Tiene numerosas raíces laterales, estas se desarrollan en la capa superficial del suelo (en los primeros 30 cm).

Tallo: este al estado óptimo de cosecha para el mercado es muy corto (es una planta casi acaule); luego cuando termina su etapa comercial comienza a desarrollar el tallo floral, que es el alargamiento del mismo para dar origen a la etapa reproductiva. Este puede llegar a medir de 1.0 a 1.2 m en algunos cultivares.

Hoja: por su forma puede ser lanceolada, oblonga, obovada o redonda. El borde de la hoja puede ser liso, lobulado o dentado. La superficie es plana, rugosa o abarquillada. Por el color puede ser amarillenta, verde claro, verde oscuro, rojiza o purpuras. Por su consistencia pueden ser rígidas (tipo capuchinas), tiernas o suaves. Por su gusto amargas o levemente dulces.

Flor: estas están agrupadas en capítulos compuestos por 10 a 20 floretes, con receptáculo plano, rodeado por brácteas imbricadas. Las flores periféricas son liguladas (amarillas o blancos amarillentas), y las interiores presentan corola tubular de borde dentado. El cáliz es filamentosos y al madurar la semilla forma el papús o vilano que actúa como órgano de diseminación anemófila. El gineceo es unicarpelar, con ovario ínfero y el estigma bífido que se poliniza al desarrollarse y atravesar el tubo de las anteras. Los lóbulos del estigma se separan permitiendo la caída del polen sobre los papilos estigmáticos. Luego los lóbulos se curvan hacia abajo (en este estado se consideran que ya han germinado los granos de polen). El androceo está formado por cinco estambres que están adheridos a la base de la corola, presentando cinco anteras soldadas que forman un tubo que rodea el estilo. Hay protandria, pues se produce la dehiscencia de las anteras antes del alargamiento del pistilo; cuando este se alarga los

pelos colectores que tiene el estilo y estigma barren el polen de las anteras maduras. Por lo expuesto se considera que la lechuga es una planta autógama.

Inflorescencia: los capítulos se hallan agrupados en inflorescencias compuestas, constituyendo racimos o corimbos de capítulos.

Fruto-semilla: la semilla de lechuga es un aquenio. Tiene forma obovada, achatada, con 3 a 5 costillas en cada cara; de color blanco, amarillo, marrón o negro, mide de 2 a 4 mm de longitud. En su base se encuentra el vilano o papús plumoso que facilita la diseminación por el viento, éste se desprende fácilmente quedando el aquenio semilla limpio.

2.1.3 Fases del ciclo de la lechuga

Desde el punto de vista agronómico USAID RED (2008), en el ciclo del cultivo de la mayor parte de las lechugas se distinguen las siguientes fases:

- Fase de formación de una roseta de hojas
- Fase de formación de un cogollo más o menos compacto
- Fase de reproducción o de emisión de un tallo floral

De las tres fases, la segunda es la que más difiere de acuerdo al tipo de lechuga y a las distintas variedades, ya que el acogollado es de carácter genético cuantitativo y acarrea conjuntamente, plantas con hojas anchas en la base (USAID-RED, 2008). Sin embargo no solo la genética influye en el acogollado, sino que hay factores del medio. A continuación se listarán los más relevantes:

- En el acogollado de la lechuga influye el equilibrio entre la luz y la temperatura.
- En períodos de escasa iluminación la lechuga acogolla mal si el régimen térmico es superior a los 20°C, mientras que con el mismo déficit de luz y temperaturas bajas, el acogollado se ve favorecido.
- En condiciones de fotoperiodo largo e iluminación alta, el acogollado es bueno a temperaturas alrededor de los 20°C.

- La fertilización tiene influencia sobre el acogollado de la lechuga.
- El período de lluvia, casi siempre es negativo causando mal acogollado, ejerce efecto sobre iluminación, temperatura, exceso de humedad relativa y humedad del suelo.

Cada variedad tiene su propio régimen de temperaturas para el acogollado, o lo que es lo mismo, requiere de determinado diferencial de la temperatura diurna de la nocturna (entre 8 a 10°C) (USAID-RED, 2008).

2.1.4 Tipos y variedades de lechuga

De acuerdo a INFOAGRO (2002), las variedades de lechuga se pueden clasificar en los siguientes grupos botánicos:

- **Romanas:** *Lactuca sativa* var. Longifolia
No forman un verdadero cogollo, las hojas son oblongas, con bordes enteros y nervio central ancho. Entre estas se tiene: Romana y Baby.
- **Acogolladas:** *Lactuca sativa* var. Capitata
Estas lechugas forman un cogollo apretado de hojas. Dentro de este grupo se encuentran: Batavia, Iceberg y Mantecosa.
- **De hojas sueltas:** *Lactuca sativa* var. Inybacea
Son lechugas que poseen las hojas sueltas y dispersas. Dentro de las que se encuentran: Lollorossa, Red salad bowl y Cracarelle.
- **Lechuga espárrago:** *sativa* var. Augustana.
Son aquellas que se aprovechan por sus tallos, teniendo las hojas puntiagudas y lanceoladas. Se cultiva principalmente en China y la India.

2.1.5 Mejora genética

Los objetivos de la mejora genética se basan en la obtención de nuevos tipos de lechuga y la reducción del tamaño. Además de la mejora en calidad: basada fundamentalmente en la formación de los cogollos, haciéndolos más compactos.

Además de lo anteriormente citado destaca la tolerancia a la subida de la flor y a Tipburn, incluyendo la producción de semillas libres de virus (INFOAGRO, 2002).

2.1.6 Usos de la lechuga

De acuerdo a la Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Innovación Tecnológica (2000), los usos de la lechuga son las siguientes:

Nutrición: la lechuga tiene muy poco valor nutritivo, con un alto contenido de agua (de 90 a 95%). Es rica en antioxidantes, como las vitaminas A, C, E, B1, B2, B3, B9 y K; minerales: fósforo, hierro, calcio, potasio y aminoácidos. Las hojas exteriores más verdes son las que tienen mayor contenido en vitamina C y hierro (Cuadro 1).

En medicina: las lechugas han sido y son utilizadas en infusión como un ansiolítico moderado que facilita el dormir. Sin embargo en la remota Antigüedad especialmente en Egipto se rendía culto a las deidades consideradas patrocinadoras de la libido ofrendándoles plantas de lechuga. Este culto parecía paradójico hasta que en el 2006 se descubrió que una dosis moderada de los alcaloides presentes en la lechuga tiene efectos ligeramente afrodisíacos, mientras que una elevada actúa a la inversa, como ansiolítico (DICTA, 2000).

Cuadro 1. Valor nutricional de la lechuga en 100 g de sustancia.

| ELEMENTO | CANTIDAD |
|---------------|-----------|
| Carbohidratos | 20.1 g |
| Proteínas | 8.4 g |
| Grasas | 1.3 g |
| Calcio | 0.4 g |
| Fósforo | 138.9 mg |
| Vitamina C | 125.7 mg |
| Hierro | 7.5 mg |
| Niacina | 1.3 mg |
| Riboflavina | 0.6 mg |
| Tiamina | 0.3 mg |
| Vitamina A | 1155 U.I. |
| Calorías | 18 cal |

(DICTA, 2000).

Higiene: en aquellos países en que la higiene de las aguas de regadío es deficiente, o incluso se riega los cultivos con aguas servidas, la lechuga representa una importante fuente de infección de enfermedades gastrointestinales como la fiebre tifoidea, el cólera y salmonelosis, por lo que es muy recomendable consumirlas bien lavadas con agua potable y desinfectadas con una solución microbicida (Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Innovación Tecnológica, 2000).

2.2 HIDROPONÍA

Según Malca (2001), hidroponía es un conjunto de técnicas que sustituye al suelo también es denominada agricultura sin suelo. La hidroponía permite diseñar estructuras simples y/o complejas favoreciendo las condiciones ambientales idóneas para producir cualquier planta de tipo herbáceo aprovechando en su totalidad cualquier área (azoteas jardines, suelos infértiles, terrenos escabrosos, etc.) sin importar las dimensiones como el estado físico de estas.

2.2.1 Principios de la hidroponía

Según Cánovas, Magna y Boukhalfa (1993), la hidroponía es una alternativa para producir alimentos sin tener que esperar a la lluvia o sin temer a los fenómenos de sequía y exceso de agua, fenómenos que han encarecido el abasto de alimentos en todo el mundo. A través de la hidroponía, es posible primero, que la gente produzca para su autoconsumo y posteriormente, que logre producir para vender. La hidroponía resulta atractiva ya que permite producir más, por ejemplo, con las técnicas tradicionales se pueden lograr 30 ton/ha de pepino, y con técnicas hidropónicas se ha logrado producir 300 ton/ha. Además esta técnica permite incorporar al cultivo regiones del país que abarcan desde terrenos poco fértiles o muy pequeños hasta las azoteas de una ciudad donde una familia de personas que no se hayan dedicado a la agricultura pueden cultivar hortalizas con éxito, para su autoconsumo.

2.2.2 Sistemas de hidroponía

Para Martínez y García (2005), la hidroponía se trata de mantener el mayor control posible sobre el desarrollo de las plantas. Por ejemplo, hay sustancias que son necesarias para el desarrollo de la planta, pero puede que en un tipo de tierra no estén en la cantidad correcta y que además sea difícil saber cuánto tienen. Este es el caso del nitrógeno, elemento indispensable para el desarrollo de la planta, puede ser muy abundante en un tipo de tierra y muy escaso en otra. Para dedicarse a cultivar hortalizas, flores o frutos con hidroponía es necesario conocer los sistemas que se puede emplear. Hay dos sistemas para realizar la hidroponía que son:

- Sistema de cultivo en medio líquido (agua): donde las plantas viven directamente en el agua, en la que previamente se han disuelto los nutrientes, que están en contacto con las raíces de la planta (Tapia, 2003). El agua es oxigenada previamente para evitar que las plantas sufran por falta de oxígeno y mueran. Dentro de estos se tienen:
 - Sistema de raíz flotante (Figura 1).
 - Sistema NFT y NFT modificado (Figura 2 y 3).
 - Sistema aeropónico.

- El cultivo con sustrato inerte: las plantas crecen en un material sólido, inerte y libre de nutrientes que es el sustrato. Este sustrato ayuda a fijar a la raíz de planta sirviéndole de sostén (Tapia, 2009). Los nutrientes son disueltos en el agua, que al circular por el sustrato, está en contacto con la raíces de las plantas. El sustrato guarda el aire y la humedad, y debe de tener un buen drenaje para eliminar el exceso de agua y de nutrientes (Figura 4).

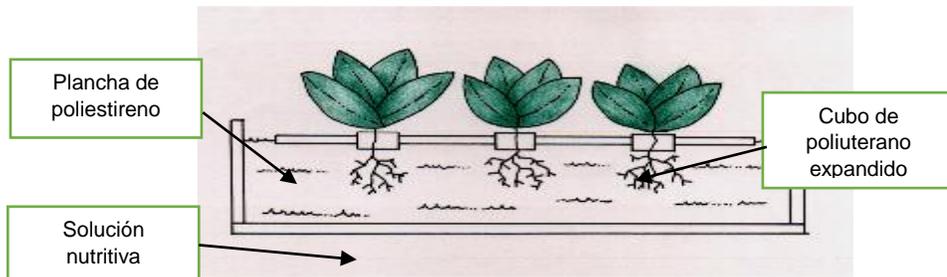


Figura 1. Sistema de raíz flotante (Tapia, 2009).

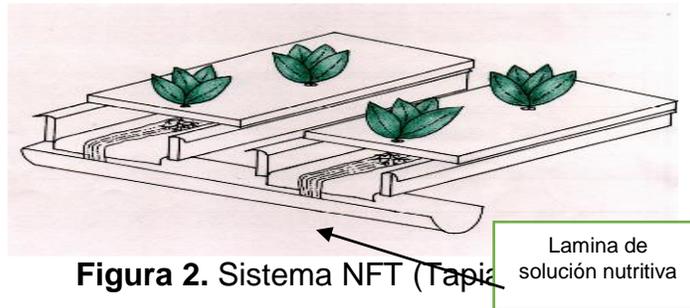


Figura 2. Sistema NFT (Tapia, 2009).

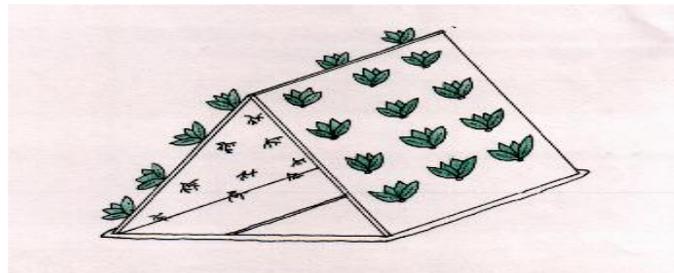


Figura 3. Sistema aeropónico (Tapia, 2009).

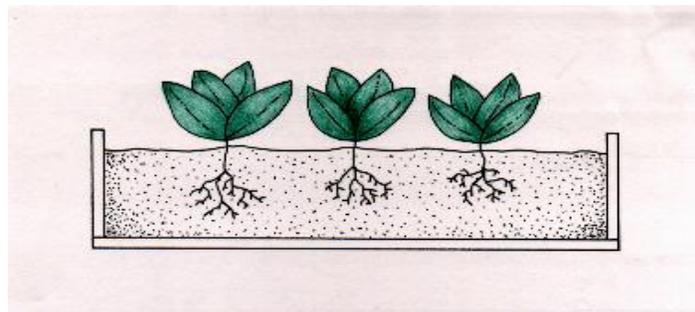


Figura 4. Sistema de cultivo en sustrato inerte (Tapia, 2009).

2.2.3 Ventajas y desventajas de los cultivos hidropónicos

De acuerdo a Estrada (2003) y Torres (2010), las ventajas de utilizar hidroponía son:

- Permiten obtener cultivos más homogéneos y de forma especial, favorecen el desarrollo de un sistema radicular más homogéneo.

- Los cultivos están exentos de problemas fitopatológicos relacionados con enfermedades producidas por los denominados hongos del suelo, lo que permite reducir el empleo de sustancias desinfectantes, algunas de las cuales están siendo cada vez más cuestionadas y prohibidas.
- Reducen el costo de energía empleado en las labores relacionadas con la preparación del terreno para la siembra o plantación.
- Mayor eficiencia del agua utilizada, lo que representa un menor consumo de agua por kilogramo de producto obtenido.
- Respecto a los cultivos establecidos sobre un suelo normal, los cultivos hidropónicos utilizan los nutrientes minerales de forma más eficiente.
- El desarrollo vegetativo y productivo de las plantas se controla más fácilmente que en cultivos tradicionales realizados sobre un suelo normal.
- Mayor cantidad, calidad y precocidad de cosecha.
- Permite una programación de actividades más fácil y racional.
- Admite la posibilidad de mecanizar y robotizar la producción.

En un cultivo hidropónico no todo son ventajas. Los inconvenientes más importantes de acuerdo a Estrada (2003) y Torres (2010), que se presentan en los cultivos hidropónicos son los siguientes:

- El coste elevado de la infraestructura e instalaciones que configuran el sistema.
- El coste añadido que representa el mantenimiento de las instalaciones.
- El coste de la energía consumida por las instalaciones.
- La producción de residuos sólidos, a veces, difíciles de reciclar.
- La acumulación de acuíferos cuando se practican vertidos improprios.
- El coste de las instalaciones y de la energía necesaria para la reutilización de parte de los drenajes producidos.

2.3 SUSTRATOS PARA UTILIZARSE EN HIDROPONÍA

Para Terres, Artetxe y Beunza (1997), un sustrato es un medio sólido e inerte, que protege y da soporte a la planta para el desarrollo de la raíz en las hortalizas y flores, permitiendo que la solución nutritiva se encuentre disponible para su desarrollo.

Todo sustrato según Terres *et al.* (1997), debe cumplir las 2 funciones esenciales siguientes:

- Anclar y sostener las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles respirar.
- Contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan

Los gránulos de que está compuesto el sustrato deben permitir la circulación del aire y de la solución nutritiva. Se consideran buenos los que permiten la presencia entre 15% a 35% de aire y entre 20% a 60% de agua, en relación con el volumen total. Muchas veces resulta muy útil mezclar sustratos buscando que unos aporten lo que les falta a otros (Terres *et al.*, 1997).

2.3.1 Características de un buen sustrato

De acuerdo a Baixauli y Aguilar (2002), los sustratos deben tener gran resistencia al desgaste o a la meteorización y es preferible que no tengan sustancias minerales solubles para no alterar el balance químico de la solución nutritiva que será aplicada. El material no debe ser portador de ninguna forma viva de macro o micro organismo, para disminuir el riesgo de propagar enfermedades o causar daño a las plantas, a las personas o a los animales que los van a consumir.

Las propiedades que debe reunir un buen sustrato según Baixauli y Aguilar (2002), son:

- Que las partículas que componen el sustrato tengan un tamaño no inferior a 0.5 y no superior a 7.0 mm.
- Que retengan una buena tasa de humedad, pero que además faciliten la salida de los excesos de agua que pudieran caer con el riego o con la lluvia.
- Que no retengan mucha humedad en su superficie.
- Que no se descompongan o se degraden con facilidad.
- Que tengan preferentemente coloración oscura.
- Que no contengan elementos nutritivos.

- Que no contengan micro organismos perjudiciales a la salud de los seres humanos o de las plantas.
- Que no contengan residuos industriales o humanos.
- Que sean abundantes y fáciles de conseguir, transportar y manejar.
- Que sean de bajo costo.
- Que sean livianos.

2.3.2 Tipos de sustrato

Para Marulanda e Izquierdo (2003), los materiales ya probados en varios países de América Latina y el Caribe y que cumplen con la mayoría de estos requisitos se clasifican como siguen:

Sustratos de origen orgánico: estos sustratos regularmente son productos de desecho de alguna actividad agropecuaria o industrial, así como de productos importados de otros países. Dentro de los cuales se tienen:

- Cascarilla de arroz.
- Aserrín o viruta desmenuzada de maderas amarillas.
- Cascara de coco.
- Cascarilla de café.
- Peatmoss.

Sustratos de origen inorgánico: en este grupo se incluyen los sustratos que tengan partículas mayores a 2 mm de diámetro. Dentro de los cuales se tienen:

- Piedra pómez
- Grava fina.
- Roca volcánica.
- Arena de río.
- Perlita.
- Vermiculita.

- Arcilla expandida.
- Lana de roca.

Sustratos sintéticos: dentro de este grupo se han producido, probado y promovido un determinado número de polímeros que la mayoría ha sido aceptada por muchos productores. Dentro de este grupo se tienen:

- Espuma de polietileno.
- Espuma de poliestireno.
- Espuma de poliuretano.
- Espuma fenólica.

2.4 LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

La solución nutritiva es el conjunto de los elementos nutritivos requeridos por las plantas que se encuentran disueltos en agua. Bajo un sistema hidropónico, con excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno, todos los elementos esenciales son suministrados por medio de la solución nutritiva y en forma asimilable por las raíces de las plantas, por lo tanto se considera que debe ser un requisito fundamental la solubilidad de los iones esenciales en el agua. El nitrógeno, el potasio, el fósforo, el calcio, el azufre y el magnesio denominados macronutrientes, se añaden al agua a partir casi siempre de fertilizantes comerciales. Los microelementos van a menudo incluidos como impurezas en el agua y en los fertilizantes que proporcionan los macroelementos, y a excepción del hierro (que debe añadirse regularmente en la solución) solo se añaden cuando existe necesidad (PNUD, 1997, citado por Barrios, 2004).

Según Santander (2007), existen varias fórmulas para preparar nutrientes que han sido usadas en distintos países. Una forma de preparar una solución concentrada probada con éxito en varios países de América Latina y el Caribe en más de 30 especies de hortalizas, plantas ornamentales y plantas medicinales, comprende la preparación de

dos soluciones madres concentradas (Solución concentrada A y Solución concentrada B).

La Solución concentrada A aporta a las plantas los elementos nutritivos que ellas consumen en mayores proporciones. La Solución concentrada B aporta, en cambio, los elementos que son requeridos en menores proporciones, pero esenciales para que la planta pueda desarrollar normalmente los procesos fisiológicos que harán que llegue a crecer bien y a producir abundantes cosechas (Santander, 2007).

Según Santander (2007) la preparación de la solución concentrada A es la siguiente:

a) Equipo requerido en un sistema artesanal sencillo

- Un recipiente plástico con capacidad para 20 litros.
- Tres baldes plásticos con capacidad para 10 litros cada uno.
- Dos recipientes plásticos de 10 litros como mínimo.
- Un recipiente plástico aforado de 2 litros.
- Una balanza con rango de 0.01 hasta 2000 g.
- Un agitador de PVC (pedazo de tubo $\frac{3}{4}$ de pulgada).
- Dos cucharas plásticas de mango largo (una grande y una pequeña).
- Papel para el pesaje de cada elemento.
- Recipientes plásticos pequeños (vasitos desechables) para ir depositando el material que se va pesando.

b) Elementos necesarios

En una buena balanza pesamos los siguientes productos:

- Fosfato mono amónico (12-60-0) 340 g.
- Nitrato de Calcio (15.5-00-00 de NPK + 19% de Ca) 2080 g.
- Nitrato de Potasio (13-00-44 de NPK) 1100 g.

c) Procedimiento

En un recipiente plástico se vierten 6 litros de agua y allí se mezclan uno por uno los anteriores elementos, ya pesados, siguiendo el orden anotado, y se agita permanente. Sólo se vierte el segundo nutriente cuando ya se haya disuelto totalmente el primero y el tercero cuando se hayan disuelto los dos anteriores. Cuando quedan muy pocos restos de los fertilizantes aplicados se completa el volumen de agua hasta alcanzar 10 litros y se agita durante 10 minutos más, hasta que no queden residuos sólidos. Así se tiene la Solución Concentrada A, que se deberá envasar en los envases plásticos, etiquetados y se conserva en un lugar oscuro y fresco (Santander, 2007).

Según Santander (2007) la preparación de la solución concentrada B es la siguiente:

c.1 Elementos necesarios para preparar 4 litros

- Sulfato de Magnesio 492 g.
- Sulfato de Cobre 0.48 g.
- Sulfato de Manganeso 2.48 g.
- Sulfato de Zinc 1.20 g.
- Ácido Bórico 6.20 g.
- Molibdato de Amonio 0.02 g.
- Quelato de Hierro 50 g.

c.2 Procedimiento

En un recipiente plástico se vierten 2 litros de agua y allí se mezclan uno por uno los anteriores elementos, ya pesados, siguiendo el orden en que se pesó cada uno de los elementos del primer grupo; es preferible no echar ninguno antes de que el anterior se haya disuelto completamente. Por último se agrega el quelato de hierro, que viene en una presentación comercial granulada conocida como Sequestrene Hierro 138 (R),

aunque también hay otras presentaciones comerciales líquidas; debe aplicarse el que viene en forma de quelato de hierro. Se disuelve por lo menos 10 minutos más, hasta que no queden residuos sólidos de ninguno de los componentes; luego se completa el volumen con agua hasta obtener 4 litros y se agita durante 5 minutos más. Esta es la Solución Concentrada B, que contiene nueve elementos nutritivos (intermedios y menores) (Santander, 2007).

Según sea el caso, de cada una de estas concentraciones preparadas se aplican entre 2,0 a 3,5 litros de solución nutritiva por cada metro cuadrado de cultivo (Santander, 2007).

Según Santander (2007), hay dos recomendaciones que deben quedar muy claras desde el comienzo de la producción del cultivo:

- Nunca deben mezclarse la solución concentrada A con la solución concentrada B sin la presencia de agua, pues esto inactivaría gran parte de los elementos nutritivos que cada una de ellas contiene, por lo que el efecto de esa mezcla sería más perjudicial que benéfico para los cultivos. Su mezcla sólo debe hacerse en agua, aplicando una primero y la otra después.
- La proporción original que se debe usar en la preparación de la solución nutritiva es cinco (5) partes de la solución concentrada A por dos (2) partes de la solución concentrada B por cada litro de solución nutritiva que se quiera preparar.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la región nororiental de Guatemala, especialmente en el departamento de Zacapa, existen áreas rurales donde la disponibilidad de agua para riego es escasa, los suelos son pobres en nutrientes, prevalece el minifundismo y la producción agrícola es la de granos básicos bajo condiciones de ladera. Lo que se concluye que no se cuenta con la oportunidad de producir hortalizas, como es el caso de la lechuga, que necesita para su desarrollo suficiente humedad y una adecuada nutrición.

Para completar la dieta alimentaria de las familias rurales, es necesario implementar sistemas de producción hidropónicos, para desarrollar cultivos que prescindan de la tierra y que utilicen sustratos inertes como grava, arena de río, cascarilla de arroz, entre otros como sostén y donde la planta es alimentada mediante una solución nutritiva disuelta en pequeñas cantidades de agua. Es una tecnología que puede ser accesible para las familias rurales de bajo ingresos económicos, a través del programa de capacitación, asistencia técnica y crédito del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, con sede en el municipio de Zacapa, además se utilizarán insumos locales, por ejemplo, para sustratos como arena blanca y arena de río y, para contenedores: cajones de madera; llantas viejas; bañeras infantiles; fuentes plásticas en desuso; o toneles plásticos rotos, recortados por la mitad. Recipientes pequeños como los envases plásticos de gaseosas, vasos plásticos desechables y los botes de aceite, son suficientes para cultivar acelgas, cebollas, cilantro, lechugas, perejil y otras hortalizas. La producción se realizará en traspatios y los conocimientos se adquirirán por las capacitaciones del programa. Se pueden producir una variedad de hortalizas, vegetales, plantas medicinales, aromáticas, flores y ornamentales, tanto para el autoconsumo como para la venta local.

Este sistema de producción agrícola es ideal para zonas secas zacapanecas, utiliza áreas pequeñas, es una técnica de bajo costo y fácil de aprender por los agricultores para producciones de corto tiempo. Para su implementación se pueden utilizar

materiales desechados para ser utilizados como contenedor. En muchos casos se han utilizado materiales de desecho con lo que se favorece el ambiente al evitar la contaminación, se tiene entre estos: llantas viejas desechadas, envases plásticos (botellas, galones, cajas plásticas, etc.), cajas, reglas y tablones de madera, bambú, tubos de PVC de 4", etc., con los cuales se pueden construir camas, maceteros, canales, etc. Se utilizará como medio sólido sustrato (arena, grava, cascarilla de arroz, etc.) para soporte de las raíces permitiendo de esta manera el establecimiento del cultivo. La obtención de agua para usarse en los cultivos hidropónicos, puede obtenerse con la técnica de recolección de agua de lluvia de techos (Guzmán, 2004).

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de tres sustratos sólidos y tres dosis de solución nutritiva en la adaptación y rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), bajo condiciones hidropónicas, en la Escuela de Agricultura de Nororienté, Zacapa.

4.2 Objetivos específicos

Evaluar el efecto de los sustratos sólidos sobre la adaptación y rendimiento de la lechuga bajo condiciones hidropónicas, en la Escuela de Agricultura de Nororienté, Zacapa.

Determinar qué solución nutritiva a evaluar obtiene el mayor rendimiento del cultivo de la lechuga bajo condiciones hidropónicas, en la Escuela de Agricultura de Nororienté, Zacapa.

Establecer el tratamiento que posea la mayor tasa marginal de retorno.

V. HIPOTESIS

5.1 Hipótesis de trabajo

El uso de un sustrato natural combinada con una dosis de solución nutritiva es adecuada en la producción de lechuga bajo condiciones hidropónicas, provocando un incremento en los rendimientos del cultivo.

5.2 Hipótesis alternativas

Al menos uno de los sustratos sólidos evaluados bajo condiciones hidropónicas, incide en el aumento del rendimiento del cultivo de la lechuga.

Al menos una de las dosis nutritivas evaluadas bajo condiciones hidropónicas, incide en el aumento del rendimiento del cultivo de la lechuga.

Al menos uno de los tratamientos evaluados bajo condiciones hidropónicas, incide en el aumento del rendimiento del cultivo de la lechuga.

Al menos un tratamiento que posee una mayor tasa marginal de retorno.

VI. METODOS Y MATERIALES

6.1 UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El área experimental del estudio se encuentra en los terrenos agrícolas de la Escuela de Agricultura de Nororiente, ubicada en el distrito de riego La Fragua, del municipio Estanzuela, del departamento de Zacapa, a 154 kilómetros de la capital y localizada en las coordenadas 14° 50' 51" y 89° 25' 5".

Según Holdridge (1982), la zona de vida del área es Monte Espinoso Sub-Tropical, que se caracteriza por días soleados durante el verano, la precipitación oscila en el rango de entre 500 mm a 1,000 mm y con un promedio anual de 855 mm. La biotemperatura media anual para la zona oscila entre los 19° C y 24° C.

Simmons, Tárano y Pinto (1959), señala que los suelos están clasificados como serie Chicaj, que se caracteriza por ser suelos de textura muy pesada, casi impermeables al agua y al aire. El material madre es ceniza volcánica, con terrenos de relieve planos, drenaje interno malo.

6.2 FACTORES ESTUDIADOS

Los factores estudiados en el presente estudio fueron: tres sustratos sólidos y tres dosis de solución nutritiva propuesta por Steiner.

6.3 MATERIAL EXPERIMENTAL

Los materiales utilizados en el presente estudios fueron:

El material vegetal, utilizado fueron plantas de lechuga Iceberg de la variedad salinas, donde se aprovecha la cabeza.

Los sustratos utilizados fueron:

Arena de río: de la gran variedad de arenas existentes, la de río ofrece las mejores características para ser empleados en cultivos sin suelos el tamaño de las partículas está comprendido entre 0.5 y 2 mm. La procedencia de estas arenas debe ser de ríos preferentemente no contaminados ni mezcladas con materiales arcillosos. Un aspecto a tener en cuenta es que la arena de río no debe tener niveles altos de carbonato de calcio, pues alteraría la solución nutritiva. Para solucionar este problema se puede incorporar sulfato de hierro (Baixauli y Aguilar, 2002).

Este material heterogéneo cuenta con una capacidad de retención de agua del 56% y para que sea utilizado en hidroponía se recomienda adquirir arena de 0.5 a 2 mm. Para evitar la compactación de la arena, dos veces por semana se realizará una escarda, lo que además de provocar la soltura del sustrato, facilitará el lavado de las sales asentadas sobre este y facilitara la aireación de las raíces de las plantas (Baixauli y Aguilar, 2002).

Arena blanca: formada por la descomposición de rocas calizas, bajo la acción del viento y del agua (erosión). Se compone de un grupo de minerales aluminosilicatos formados por la meteorización de rocas feldespáticas, como el granito. Se utiliza para hidroponía y es recomendable para lugares de clima cálido debido a que tiene una capacidad de retención de humedad del 68% (Baixauli y Aguilar, 2002).

Piedra pómez: también llamada pumita o liparita, es una roca ígnea volcánica vítrea, con baja densidad (flota en el agua, por lo que se le considera como piedra-esponja que absorbe agua y la retiene) y muy porosa, de color blanco o gris. En su formación, la lava proyectada al aire sufre una gran descompresión, como consecuencia de la misma se produce una desgasificación quedando espacios vacíos separados por delgadas paredes de vidrio volcánico. Es una roca efusiva joven, que contiene feldespato potásico, cuarzo y plagioclasas; pasta de grano fino a vítreo en las que cristales de biotita forman fenocristales. Posee una retención de agua de un 38%, posee una buena

estabilidad física y durabilidad, desde el punto de vista biológico es completamente libre de microorganismos (Baixauli y Aguilar, 2002).

Para desinfectar los sustratos se utilizó el método químico de ácido sulfúrico rebajado al 10% con agua destilada (concentración de 100 cc/l combinados con 900 cc/l de agua destilada). Se empleará una dosis de 1.0 litro de solución por m². La desinfección se realizará 48 horas antes del trasplante y previo a la siembra de plántulas de lechuga el sustrato se aplicará agua de riego por 20 minutos.

Las dosis de la solución nutritiva utilizada para la producción de lechuga bajo condiciones hidropónicas fue la solución de Steiner (Gilsanz, 2007) y la composición de esta, se presenta en el cuadro 2.

Cuadro 2. Preparación de la solución de Steiner.

| ELEMENTO | CANTIDAD (Concentración en ppm) |
|-----------------|--|
| Nitrógeno (N) | 140.90 |
| Fósforo (P) | 25.20 |
| Potasio (K) | 96.40 |
| Magnesio (Mg) | 25.30 |
| Calcio (Ca) | 151.00 |
| Azufre | 44.90 |
| Hierro (Fe) | 2.50 |
| Manganeso (Mn) | 1.00 |
| Boro (B) | 0.45 |
| Cobre (Cu) | 0.05 |
| Zinc (Zn) | 0.05 |
| Molibdeno | 0.05 |

(Gilsanz, 2007).

En el cuadro 3 se presentan los productos y la cantidad de estos, que se necesitan para producir 100 litros de solución de Steiner.

6.4 TRATAMIENTOS

Los tratamientos a evaluados se basaron en los tipos de sustrato por la dosis de solución nutritiva de Steiner en el cultivo de la lechuga, los cuales se describen en el Cuadro 4.

Cuadro 3. Producto y cantidad de estos para producir 100 litros de solución y cantidad de elementos por dosis a evaluar (g) de Steiner.

| Elementos | Cantidad (g) | Cantidad de elementos por dosis (g) | | |
|---|--------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------|
| | | Dosis 1 *5 cc | Dosis 2 **4 cc | Dosis 3 ***3 cc |
| Nitrato de Calcio | 81.621 | 0.00408105 | 0.00326484 | 0.00244863 |
| Sulfato de Magnesio | 25.555 | 0.00127775 | 0.00102220 | 0.00076665 |
| Nitrato de Potasio | 9.762 | 0.00048810 | 0.00039048 | 0.00029286 |
| Dihidrógeno Fosfato de Potasio (KH ₂ PO ₄) | 11.062 | 0.00055310 | 0.00044248 | 0.00033186 |
| Sulfato de Potasio | 5.999 | 0.00029995 | 0.00023996 | 0.00017997 |
| Quelato de hierro (EDTA) | 2.500 | 0.00012500 | 0.00010000 | 0.00007500 |
| Sulfato de Manganeso | 0.307 | 0.00001535 | 0.00001228 | 0.00000921 |
| Ácido Bórico en polvo | 0.257 | 0.00001285 | 0.00001028 | 0.00000771 |
| Sulfato de zinc | 0.016 | 0.00000080 | 0.00000064 | 0.00000048 |
| Sulfato de cobre | 0.019 | 0.00000095 | 0.00000076 | 0.00000057 |
| Molibdato de Sodio | 0.012 | 0.00000060 | 0.00000048 | 0.00000036 |

* Las masas deben pesarse con precisión a la milésima de gramo para las sustancias por debajo de 1 g y con precisión a la décima de gramo para las sustancias sobre 1 g.

Cuadro 4. Tratamientos evaluados en el estudio.

| No. | SUSTRATO SOLIDO PARCELA GRANDE | DOSIS SOLUCIÓN NUTRITIVA PARCELA PEQUEÑA |
|-----|-----------------------------------|---|
| 1 | | *5 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta |
| 2 | Arena de río | **4 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta |
| 3 | | ***3 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta |
| 4 | | *5 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta |
| 5 | Piedra pómez | **4 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta |
| 6 | | ***3 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta |
| 7 | | *5 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta |
| 8 | Arena blanca | **4 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta |
| 9 | | ***3 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta |

* Para la formación de 5 cc de solución nutritiva de Steiner la cantidad y producto aplicado se presenta en el cuadro 3.

** Para la formación de 4 cc de solución nutritiva de Steiner la cantidad y producto aplicado se presenta en el cuadro 3.

*** Para la formación de 3 cc de solución nutritiva de Steiner la cantidad y producto aplicado se presenta en el cuadro 3.

6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para efectuar la presente investigación se utilizó el diseño de bloques al azar bifactorial, con arreglo en parcelas divididas, utilizando tres niveles para el factor A (tipo de sustrato) y tres niveles para el factor B (dosis de solución nutritiva), con un total de nueve tratamientos y tres repeticiones.

6.6 MODELO ESTADÍSTICO

El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \rho_k + \gamma_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- y_{ijk} : Variable de respuesta del i-ésimo bloque, j-ésimo sustrato hidropónico y k-ésima dosis de solución nutritiva.
- μ : Efecto de la media general de la variable a evaluar.
- α_i : Efecto del i-ésimo nivel del factor sustrato hidropónico.
- ρ_k : Efecto de k-ésimo bloque.
- γ_{ik} : Error aleatorio de la parcela completa.
- β_j : Efecto del j-ésimo nivel del factor dosis de solución nutritiva.
- $(\alpha\beta)_{ij}$: Efecto de interacción (tratamientos) entre ambos factores (sustrato hidropónico * dosis de la solución nutritiva).
- ε_{ijk} : Error experimental asociado a la parcela pequeña.

6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental estuvo constituida por una cama 1.0 m de ancho por 1.0 m de largo que equivale a un 1.0 m², en la cual se sembraron 25 lechugas a una distancia de 0.2 entre plantas y 0.2 m entre surcos (Figura 5).

La parcela bruta estuvo constituida por 5 surcos con 5 lechugas cada una para un total de 25 lechugas por cama. La parcela neta se conformó por los tres surcos centrales, quitando una lechuga en la cabecera de cada surco, lo cual hace un total de 9 lechugas distribuidas en un área de 0.36 m² (0.6 m x 0.6 m) (Figura 5).

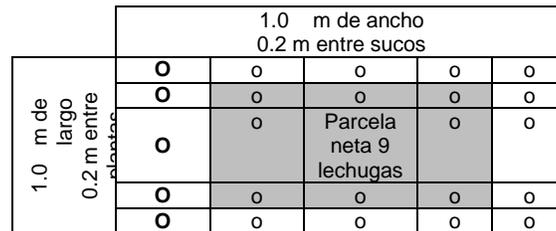


Figura 5. Parcela experimental de producción de lechuga bajo condiciones hidropónicas.

6.8 CROQUIS DE CAMPO

En la figura 6, se presentan las unidades experimentales de cada tratamiento según la distribución bifactorial de bloques al azar en parcelas divididas.

Repetición I.

| Arena de río Parcela grande | | | Piedra pómez Parcela grande | | | Arena blanca Parcela grande | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 4 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 5 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 3 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 5 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 4 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 5 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 3 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 4 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña |

Repetición II.

| Piedra pómez Parcela grande | | | Arena blanca Parcela grande | | | Arena de río Parcela grande | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 5 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 3 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 5 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 3 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 4 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 4 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 5 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 3 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña |

Repetición III.

| Arena blanca Parcela grande | | | Arena de río Parcela grande | | | Piedra pómez Parcela grande | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 4 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 5 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 3 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 4 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 5 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 5 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 4 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña | 3 cc de S.N. por litro de agua P. pequeña |

Figura 6. Croquis de campo de la producción de lechuga bajo condiciones hidropónicas.

6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO

- **Construcción de camas:** consistió en la construcción de 27 camas de 1.0 m² y se distribuyeron de la siguiente manera: nueve camas preparadas con sustrato de arena de río, nueve camas con piedra pómez y nueve camas con arena blanca.
- **Preparación del semillero:** la preparación del semillero se realizó de igual forma que la preparación de las 27 camas que sirvieron para el cultivo de lechuga en sustrato sólido. Primero se humedeció el sustrato antes de colocarlo en el germinador (bandejas de germinación); luego de humedecer los sustratos se llenaron las bandejas, teniendo el cuidado de no dejar cavidades de aire, para lo cual se le dieron ligeros golpes para bajar el sustrato.
- Para la siembra de la semilla en el germinador se hizo una cavidad del tamaño del doble de la semilla; se introdujeron dos semillas en cada perforación para asegurar que cuando menos una semilla de lechuga germinará y se desarrollaran bien; después de la siembra se mantuvo húmedo el sustrato; por último, se realizaron riegos dos veces por día.

Las semillas sembradas en el semillero germinaron a los 6 días después de la siembra. A partir del día 6 hasta el día 22 se regó diariamente con solución nutritiva por tratamiento.

A los 7, 14 y 21 días después de la siembra se aplicó agua al semillero para lavar los excesos de sales.

A los 3, 6, 10, 13, 17 y 20 días después del trasplante se realizó escardas entre los orificios de las bandejas por medio de un palillo de madera a fin de permitir la aireación de las raíces de las plantas de lechuga. Diariamente se procedió a revisar las plantas en el semillero a fin de monitorear la presencia de plagas y/o enfermedades.

Se aplicó Propineb 70 WP de forma preventiva dos días antes del trasplante y un día antes se aplicó Carbofurán 48 SC.

- **Trasplante de plántulas de lechuga**

Esta actividad se realizó entre los 21 a 25 días después de la siembra, de acuerdo a la calidad y el vigor de la planta, para lo cual fue necesario tener en cuenta las consideraciones siguientes: las plántulas se trasplantaron cuando tenía de 6 a 8 hojas y una altura aproximada de 0.08 m desde el cuello del tallo hasta la punta de las hojas; se realizó el trasplante en horas de la tarde (con menos sol) para evitar deshidratación en las plántulas; se regó el semillero, dos horas antes del trasplante, para facilitar el arranque de las plántulas sin dañar las raíces y para que llegaran con suficiente humedad al sitio definitivo; se trasplantaron plántulas uniformes, sanas, con hojas bien desarrolladas, de color verde y erectas; las plántulas trasplantadas tenían un sistema radicular bien desarrollado que permitió un mejor anclaje en el sustrato.

Para las 27 camas se sembraron un total de 675 plántulas de lechuga, esta actividad se realizó en horas de la tarde para evitar el estrés y deshidratación de las plantas y se pudiera recuperar en horas de la noche.

En cada cama se trazaron los puntos de siembra. Para lo cual se abrió un agujero en cada punto marcado y se colocó una plántula de lechuga por agujero, luego se tapó el agujero con sustrato de la plántula.

- **Aplicación de la solución nutritiva**

La aplicación de la solución nutritiva de Steiner, en el cultivo de la lechuga se realizó entre las 7 a 8 horas de la mañana a través del método de riego por goteo. Para determinar la demanda de riego se consideró las principales propiedades físicas y químicas de los sustratos a evaluados (Cuadro 5 y 6).

Como se puede observar en el cuadro 5, la retención de humedad de la piedra pómez fue de 59.1% en peso y de 20.4% en volumen, lo que significa que por cada 100 g de piedra pómez se retuvo 59.1 g de agua y 100 ml de piedra pómez retuvo 20.40 ml de agua. Para el caso de la arena, la retención de humedad fue de 12.0% en peso y 16.0% en volumen, lo que significa que por cada 100 g de este sustrato se retuvo 12 g de agua y por cada 100 ml de arenas se retuvo 16.0 ml de agua.

Cuadro 5. Retención de humedad de los sustratos a evaluarse.

| SUSTRATO | CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA A CAPACIDAD DE CAMPO | |
|----------|--|--------------|
| | % en peso | % en volumen |
| Pómez | 59.1 | 20.4 |
| Arena | 12.0 | 16.0 |

(Calderón y Ceballos, 2001).

En el cuadro 6, se puede observar que el valor óptimo para el volumen de agua disponible para los sustratos evaluados, que oscilan entre el 10 a 40% del volumen global de los sustratos. Los valores de agua de reserva (que es la cantidad de agua en porcentaje en volumen que el sustrato libera al pasar de 50 a 100 cm) de los sustratos evaluados, se encuentra en el rango de 1 a 8%. Con relación al agua total disponible (es la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva) de los sustratos evaluados se encontraban entre 24 a 40% del volumen del sustrato.

Cuadro 6. Principales propiedades físicas de los sustratos evaluados.

| Sustrato | Tamaño de grano mm. | Densidad aparente kg/m ³ | Porosidad total; %. | Capacidad de aire | Agua fácilmente disponible % de vol. | Agua de reserva % de vol. | Agua difícilmente disponible % de vol. | Capilaridad |
|--------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------|--------------------------------------|---------------------------|--|-------------|
| Arena de rio | 0.5 - 2.0 | 1.4 - 1.60 | 38-42 | 5-20 | 15-35 | 1-2 | 0.1-0.5 | Buena |
| Arena blanca | 0.2 - 0.5 | 1.5 - 2.0 | 25-35 | 1-15 | 10-20 | 2-5 | 0.1-0.5 | Buena |
| P. pómez | 5 - 10 | 0.6 - 0.8 | 75 | 40-55 | 20-40 | 5-8 | 2-5 | Buena |

(Calderón y Ceballos, 2001).

En el cuadro 7, se puede observar el cálculo de la dotación de riego por goteo para el cultivo de lechuga con base a la arena blanca, que muestra el menor porcentaje de volumen (10 a 20 ml de 100 ml de sustrato de arena blanca) de agua fácilmente disponible. Para regar cada cama se empleó diariamente 25 litros de agua y se

requirieron 18 minutos de riego, con goteros de 1 l/hora de descarga. La fase del trasplante duró 28 días.

Para determinar el manejo del riego se dividió el día en tres períodos:

Primer período, correspondió de 6 a 8 horas antes meridiano, en el cual la evapotranspiración de la planta es baja. Los primeros riegos (primero a tercer riego) sirvieron para recuperar los niveles de humedad del sustrato y oxigenación del sistema radicular de la lechuga.

Cuadro 7. Cálculo de la dotación de riego para cultivo de lechuga en arena blanca para los supuestos del 5% de agotamiento y 25% de drenaje.

Característica del sustrato y geometría del contenedor

Capacidad del contenedor (100 cm de largo * 100 cm de ancho * 10 cm alto)/1000 = 100 litros

Propuesta de manejo

Agotamiento (5% de capacidad de contenedor) 5 litros

Dotación volumétrica [agotamiento/(1-25% de drenaje)] 6.25 litros

Características de la instalación de riego

Caudal instantáneo del gotero 1 l/hora

Nº de goteros por unidad de cultivo 25 goteros

Caudal instantáneo por unidad de cultivo (caudal instantáneo * número de goteros) 25 l/hora

Dotación temporal de riego

Tiempo de riego (dotación volumétrica/caudal instantáneo)*60 minutos 15 minutos

Ajuste de tiempo de riego de 20% 18 minutos

Segundo período, que coincidió con las horas del mediodía. Donde la temperatura se incrementa y disminuye la humedad relativa, teniéndose máxima evapotranspiración. En este periodo la lechuga consume más agua que nutrientes, por lo que se mantuvo el nivel de drenaje alto incrementando la frecuencia de riego.

Tercer período, correspondió a las últimas horas del día o atardecer (4 a 6 de la tarde), en donde la luminosidad disminuye, baja la temperatura y el nivel de humedad relativa

aumenta. Se redujo el riego, incrementando el tiempo que transcurre entre los mismos y se redujo el nivel de drenaje.

- **Monitoreo de plagas y enfermedades**

Diariamente se procedió a revisar las lechugas a fin de monitorear la presencia de plagas y/o enfermedades. Cuando se tuvo presencia de plagas y enfermedades se aplicó una solución de detergente (10 g de detergente/litro de agua) para impermeabilizar la superficie foliar y se aplicó sobre las cabezas de lechuga por medio de un atomizador. Esto se repitió cada siete días. Las plagas controladas fueron: *Aphis gossypii*, *Myzus persicae* y *Liriomyza* spp. Dentro de las enfermedades se tuvo *Bremia lactucae*.

- **Aireación del suelo**

Dos veces por semana se realizó una escarda entre medio de las lechugas, a fin de facilitar el lavado de las sales de las soluciones nutritivas asentadas sobre los sustratos y para la aireación de las raíces de las plantas de lechuga. Cada una de las mesas contaba con una manguera para drenar los excedentes de agua y de la solución nutritiva.

- **Cosecha**

Esta actividad se realizó a los 50 días después de sembradas las plantas (28 días después del trasplante), para lo cual se procedió a cosechar lechuga por lechuga para tomar los datos pertinentes.

6.10 VARIABLES RESPUESTA

- **Porcentaje de pegue**

A los ocho días después del trasplante (30 días después de la siembra) se revisaron cada unidad experimental de cada uno de los tratamientos evaluados y se contaron el

número de lechugas que se encuentren bien desarrolladas y sanas (follaje verde, sano y en crecimiento) en relación a las 25 lechugas por unidad experimental.

- **Altura de la planta al momento de la cosecha**

Desde la base inferior de la planta (cuello) hasta la parte superior de la cabeza de la lechuga se midió con una regla en centímetros la altura de cada lechuga de la parcela neta (9 lechugas) de cada uno de los tratamientos a evaluar, se registraron datos promedio de altura por cada tratamiento y repetición.

- **Diámetro de cabeza al momento de la cosecha**

Para medir el diámetro de la cabeza de lechuga se empleó un calibrador de base fija (vernier) y extremo abatible graduado en centímetros. El calibrador se colocó en la parte media de cada una de las 9 lechugas y se registró el diámetro por cada tratamiento y repetición.

- **Rendimiento en fresco por parcela neta**

Las 9 lechugas que conformaron la parcela neta se pesaron en una balanza de precisión, para lo cual se cortó la raíz de cada lechuga y se pesó únicamente la cabeza (parte comestible). Se sumaron el peso de las 9 lechugas en cada unidad experimental y de esta manera se obtuvo el peso en fresco (kg/parcela neta). Obtenido este valor se transformará a kg/ha para cada tratamiento.

6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.11.1 Análisis estadístico

Las variables de respuesta, porcentaje de pegue, altura y diámetro de cabeza de lechuga, así como rendimiento de lechuga por unidad experimental fueron sometidas al análisis de varianza para un diseño en bloques al azar con arreglo en parcelas

divididas. Para las variables respuesta que resultaron significativo al 95 % de confianza, se realizó la prueba múltiple de medias de Tukey a fin de establecer el mejor o los mejores tratamientos.

6.11.2 Análisis financiero

Para el desarrollo del análisis económico de la producción de lechuga bajo condiciones hidropónicas, se usó la metodología de presupuestos parciales. Debido a que no se contabilizan todos los costos de producción sino solo aquellos que varían en función de los tratamientos o alternativas evaluadas. El procedimiento de análisis implicó:

1. Determinación de costos que varían y beneficios netos.
2. Análisis de dominancia.
3. Determinar la tasa de retorno marginal.
4. Decidir la alternativa a seleccionar.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA

En la figura 7 se pueden observar los valores diarios de temperatura mínima y máxima, así como de humedad relativa en el ciclo de la producción de cabezas de lechuga, bajo condiciones hidropónicas. De acuerdo a Alvarado, Chávez y Wilhelmina (2001), que durante la fase de crecimiento del cultivo bajo condiciones hidropónicas se requieren temperaturas entre el rango de los 13 a 25 °C y que la lechuga puede soportar temperaturas de hasta los 30 °C. Durante el ciclo de desarrollo del estudio la temperatura máxima promedio fue de 34 °C y la mínima promedio fue de 20.8 °C, por lo que las temperaturas elevadas favorecieron la inducción floral pero perturbaron el acogollamiento de las cabezas de lechuga.

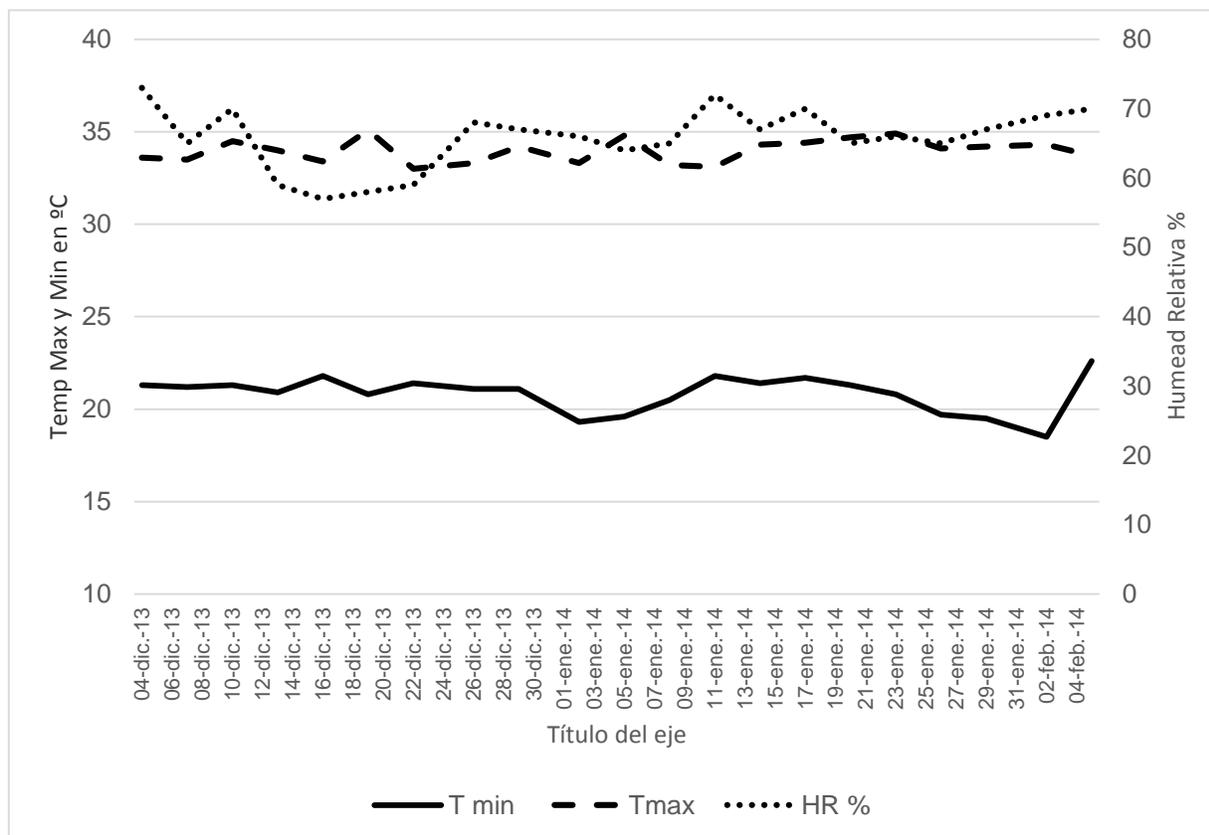


Figura 7. Líneas de temperatura (en °C) y humedad relativa (en %) en la producción de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía (Autor, 2015).

En lo referente a la humedad relativa durante el ciclo de crecimiento del cultivo de lechuga, este factor se encontró entre el rango de 57.0 a 73.0% y un promedio de 65.8%. De acuerdo a Alvarado *et al* (2012), la humedad relativa óptima para la lechuga es del 60 a 80%, valores que concuerda con los presentados en la figura 7.

7.2 PORCENTAJE DE PEGUE

En la figura 8 se aprecian las líneas de correlación del porcentaje de pegue del cultivo de lechuga bajo condiciones de hidroponía. La correlación señala efectos interactivos (dosis de solución nutritiva vs tipo de sustrato), es decir, que las dosis de solución nutritiva se comportan de manera distinta en los sustratos. El porcentaje de pegue de las plantas de lechuga aumenta al incrementar la dosis de solución nutritiva en el sustrato de arena de río, por el contrario en los sustratos de piedra pómez y arena blanca se reduce el porcentaje de pegue al incrementarse la dosis de solución nutritiva. Por tanto, los factores no son independientes y la dosis de solución nutritiva depende del tipo de sustrato. En este caso los efectos son interactivos.

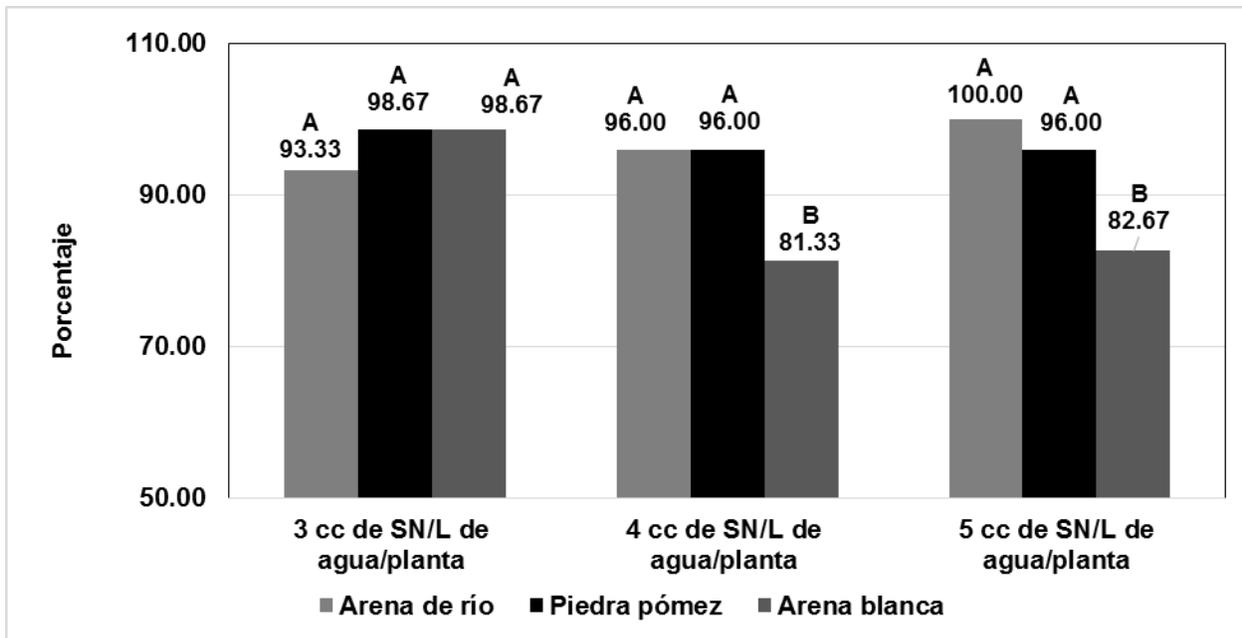


Figura 8. Líneas de tendencia del porcentaje de pegue de las plantas de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía (Autor, 2015).

El análisis de varianza para la variable porcentaje de pegue de las plantas de lechuga bajo condiciones de hidroponía, el mismo muestra la existencia de diferencias significativas al 5% de probabilidad para el tipo de sustrato, dosis de solución nutritiva y los tratamientos (dosis de solución nutritiva vs tipo de sustrato) evaluados. Es decir; al menos un tratamiento es diferente a los demás. Los datos son confiables, pues el valor del coeficiente de variabilidad fue de 3.49% (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis de varianza del porcentaje de pegue del cultivo de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

| FV | G.L. | S.C. | C.M. | F calc | P>f | Significancia al 5% |
|------------------|------|------------|----------|---------|-------|---------------------|
| Repeticiones | 2 | 122.0741 | | | | |
| Sustratos | 2 | 498.9630 | 249.4815 | 16.8400 | 0.013 | Significativo |
| Error A | 4 | 59.2593 | 14.8148 | | | |
| Parcelas grandes | 8 | 680.2963 | | | | |
| Dosis | 2 | 157.6296 | 78.8148 | 7.3889 | 0.008 | Significativo |
| Tratamientos | 4 | 482.3704 | 120.5926 | 11.3056 | 0.001 | Significativo |
| Error B | 12 | 128.0000 | 10.6667 | | | |
| Total | 26 | 1,448.2963 | | | | |
| C.V. (%) | 3.49 | | | | | |

(Autor, 2015).

De acuerdo al análisis de medias de Tukey ($P < 0.05$) para el porcentaje de pegue de lechuga bajo condiciones de hidroponía, se encontró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Cuadro 9). Los resultados mostraron que los mejores porcentajes de pegue del cultivo de lechuga se presentaron en el mayor número de tratamientos a excepción de los tratamientos siguientes: arena blanca con dosis 4 y 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta, con valores de 81.33 y 82.67% respectivamente.

7.3 RENDIMIENTO DE CABEZAS DE LECHUGA

Las curvas de correlación de los resultados de rendimiento de cabezas de lechuga (kg/ha), muestran que al utilizar arena de río el rendimiento aumenta al incrementarse la dosis de solución nutritiva. El mejor tratamiento se presentó cuando se empleó arena de río y la dosis de 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta. Lo anterior indica

que el sustrato de arena de río tuvo adecuada dosificación de solución nutritiva. El tratamiento con el menor rendimiento fue cuando se utilizó arena blanca en dosis de 4 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta, lo que significa que el tipo de sustrato se comporta de forma diferente a la dosis de la solución nutritiva (Figura 9).

Cuadro 9. Análisis de medias de Tukey para el porcentaje de pegue del cultivo de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

| Tratamientos | Pegue de lechuga % | Significancia |
|--|--------------------|---------------|
| Arena de río con 5 cc de SN/L de agua/planta | 100.00 | A |
| Arena blanca con 3 cc de SN/L de agua/planta | 98.67 | A |
| Piedra pómez con 3 cc de SN/L de agua/planta | 98.67 | A |
| Arena de río con 4 cc de SN/L de agua/planta | 96.00 | A |
| Piedra pómez con 5 cc de SN/L de agua/planta | 96.00 | A |
| Piedra pómez con 4 cc de SN/L de agua/planta | 96.00 | A |
| Arena de río con 3 cc de SN/L de agua/planta | 93.33 | A |
| Arena blanca con 5 cc de SN/L de agua/planta | 82.67 | B |
| Arena blanca con 4 cc de SN/L de agua/planta | 81.33 | B |

(Autor, 2015).

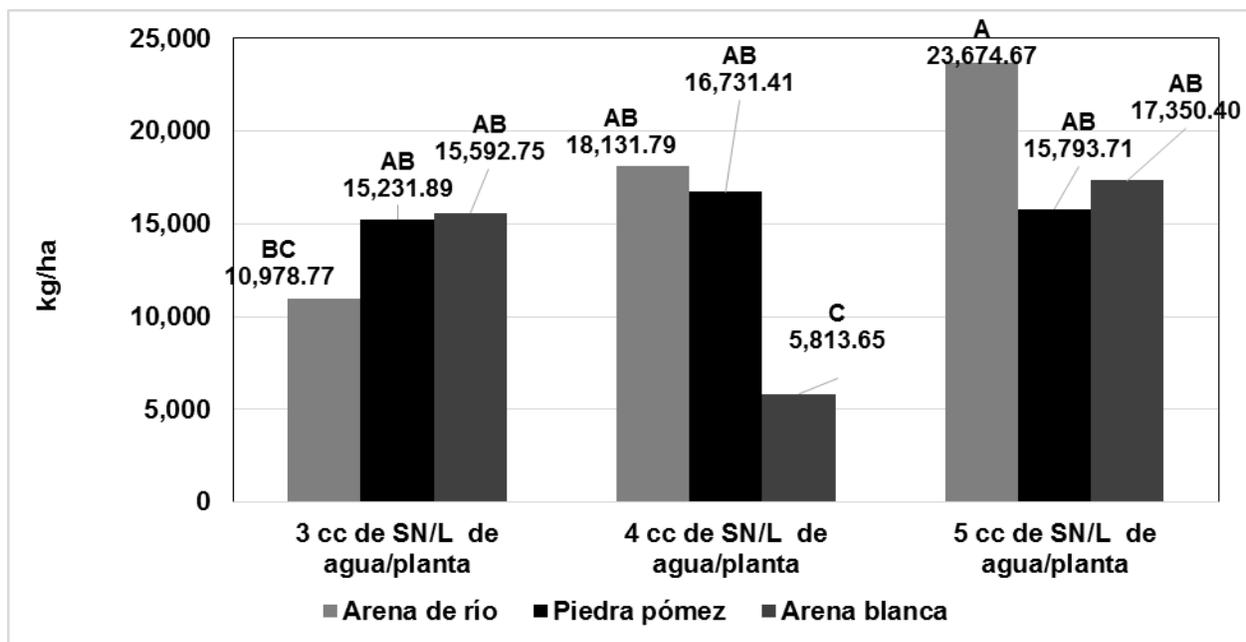


Figura 9. Correlación del rendimiento de cabezas de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía (Autor, 2015).

De acuerdo a Gutiérrez (2011), los rendimientos de lechuga bajo condiciones hidropónicas es de 70,000 a 73,000 kg/ha, con un peso promedio de cabeza de lechuga de 350 a 365 g/cabeza. Según los resultados del presente estudio las diferencias en el peso fresco de las plantas de lechuga al finalizar el ciclo del cultivo los tratamientos no alcanzaron el peso comercial y el peso por unidad de área por la falta de nutrientes, debido a que las dosis de la solución nutritiva aplicadas no alcanzaron para cubrir la demanda del cultivo. La carencia de nutrientes en el agua de riego para las plantas de lechuga y las altas temperaturas provocaron: plantas poco vigorosas, cabezas pequeñas y maduración no uniforme.

En el cuadro 10 se presenta el análisis de varianza para el rendimiento de cabezas de lechuga bajo condiciones de hidroponía y los resultados muestran que existe diferencia significativa para los factores dosis de solución nutritiva y tratamientos. Por lo tanto, al menos uno de los tratamientos es mejor que los demás. Los datos son confiables, pues el valor del coeficiente de variación fue de 12.44% debido a que las condiciones fueron a campo abierto.

Cuadro 10. Análisis de varianza del rendimiento de cabezas de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

| FV | G.L. | S.C. | C.M. | F calc | P>f | Significancia al 5% |
|------------------|-------|----------------|---------------|--------|-------|---------------------|
| Repeticiones | 2 | 28,041,216.00 | | | | |
| Sustratos | 2 | 101,027,840.00 | 50,513,920.00 | 3.9280 | 0.114 | No significativo |
| Error A | 4 | 51,439,616.00 | 12,859,904.00 | | | |
| Parcelas grandes | 8 | 180,508,672.00 | | | | |
| Dosis | 2 | 162,433,024.00 | 81,216,512.00 | 8.0901 | 0.006 | Significativo |
| Tratamientos | 4 | 315,901,952.00 | 78,975,488.00 | 7.8669 | 0.003 | Significativo |
| Error B | 12 | 120,467,456.00 | 10,038,954.67 | | | |
| Total | 26 | 779,311,104.00 | | | | |
| C.V. (%) | 12.44 | | | | | |

(Autor, 2015).

De acuerdo al análisis de medias de Tukey ($P < 0.05$) para el rendimiento de cabezas de lechuga bajo condiciones de hidroponía, se encontró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Cuadro 11). El mayor rendimiento de cabezas de lechuga

se alcanzó cuando se utilizó arena de río con 5 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta, con un valor de 23,675 kg/ha. El menor tratamiento se presentó cuando se utilizó arena blanca con 4 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta, con un valor de 5,874 kg/ha.

Cuadro 11. Análisis de medias de Tukey para el rendimiento de cabezas de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

| Tratamientos | Rendimiento de cabezas de lechuga Kg/ha | Significancia |
|--|---|---------------|
| Arena de río con 5 cc de SN/L de agua/planta | 23,675 | A |
| Arena de río con 4 cc de SN/L de agua/planta | 18,132 | AB |
| Arena blanca con 5 cc de SN/L de agua/planta | 17,350 | AB |
| Piedra pómez con 4 cc de SN/L de agua/planta | 16,731 | AB |
| Arena blanca con 3 cc de SN/L de agua/planta | 15,794 | AB |
| Piedra pómez con 4 cc de SN/L de agua/planta | 15,593 | AB |
| Piedra pómez con 3 cc de SN/L de agua/planta | 15,232 | AB |
| Arena de río con 3 cc de SN/L de agua/planta | 10,979 | BC |
| Arena blanca con 4 cc de SN/L de agua/planta | 5,814 | C |

(Autor, 2015).

7.4 DIÁMETRO ECUATORIAL DE LA CABEZA DE LECHUGA

De acuerdo a SAKATA (2014), el diámetro ecuatorial de la cabeza de lechuga de la variedad Salinas, es de 20 cm. En la figura 10 se pueden observar las curvas de correlación del diámetro ecuatorial de la cabeza de lechuga bajo condiciones de hidroponía. Las curvas muestran efectos interactivos (dosis de solución nutritiva vs tipo de sustrato), es decir, que las dosis de solución nutritiva se comportan de manera distinta en los sustratos. En la curva de arena de río el diámetro de la cabeza de lechuga aumenta al incrementar la dosis de solución nutritiva, en los sustratos de arena blanca y piedra pómez, por el contrario los diámetros de las cabezas de lechuga disminuyen al incrementarse la dosis de solución nutritiva. Por tanto, los factores no son independientes y la dosis de solución nutritiva depende del tipo de sustrato. En este caso los efectos son interactivos.

En el cuadro 12 se presenta el análisis de varianza para el diámetro ecuatorial de la cabeza de lechuga bajo condiciones de hidroponía y los resultados muestran que existe

diferencia significativa para los factores densidad de siembra, programas de fertilización y tratamientos. Por lo tanto, al menos uno de los tratamientos es mejor que los demás. Los datos son confiables, pues el valor del coeficiente de variación fue de 10.10%.

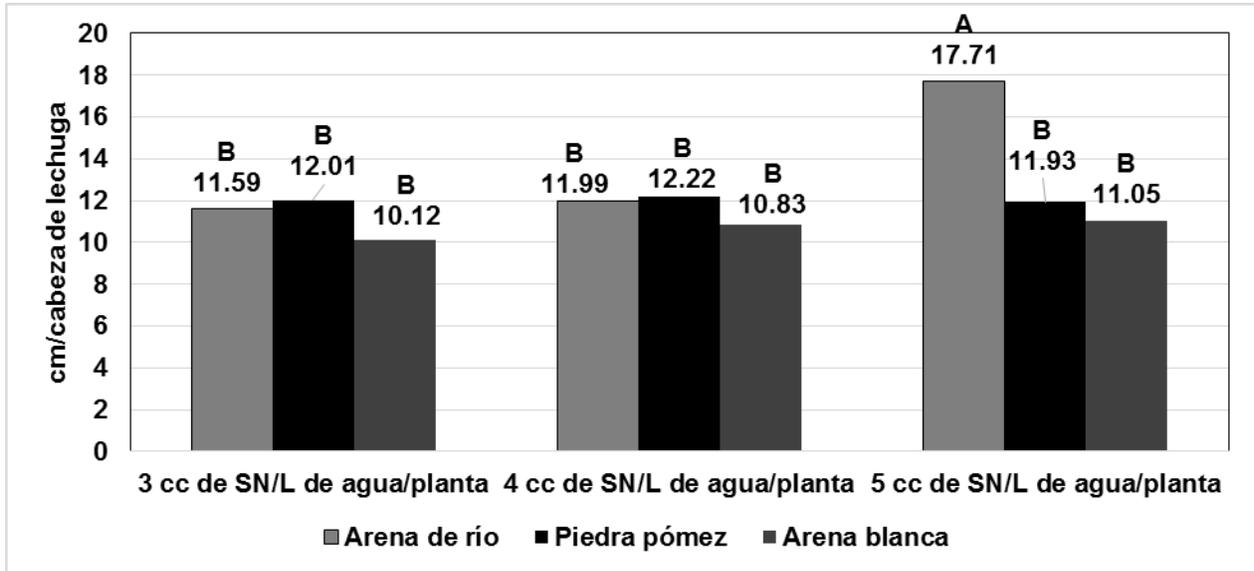


Figura 10. Correlación del tamaño ecuatorial de la cabeza de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía (Autor, 2015).

Cuadro 12. Análisis de varianza del diámetro ecuatorial de cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

| FV | G.L. | S.C. | C.M. | F calc | P>f | Significancia al 5% |
|------------------|------|----------|---------|---------|-------|---------------------|
| Repeticiones | 2 | 1.0333 | | | | |
| Sustratos | 2 | 43.2491 | 21.6246 | 37.2314 | 0.004 | Significativo |
| Error A | 4 | 2.3233 | 0.5808 | | | |
| Parcelas grandes | 8 | 46.6056 | | | | |
| Dosis | 2 | 27.4337 | 13.7168 | 9.1022 | 0.004 | Significativo |
| Tratamientos | 4 | 44.4132 | 11.1033 | 7.3679 | 0.003 | Significativo |
| Error B | 12 | 18.0838 | 1.5070 | | | |
| Total | 26 | 136.5363 | | | | |
| C.V. (%) | | 10.10 | | | | |

(Autor, 2015).

De acuerdo al análisis de medias de Tukey ($P < 0.05$) para el diámetro ecuatorial de la cabeza de lechuga bajo condiciones de hidroponía, se encontró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (Cuadro 13). El mayor diámetro promedio

de cabeza de lechuga se alcanzó cuando se utilizó arena de río con 5 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta, con un valor de 17.71 cm/cabeza. El menor tratamiento se presentó cuando se utilizó arena blanca con 5 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta, con un valor de 11.24 cm/cabeza.

Las cabezas de lechuga presentaron menos de acogollado, baja uniformidad y poco peso debido a las altas temperaturas y humedad y un exceso de insolación que provocó un aumento en el crecimiento del tallo floral y la calidad de la lechuga se ve afectada debido a la acumulación de látex (Hydro environment, 2014).

Cuadro 13. Análisis de medias de Tukey para el diámetro ecuatorial de la cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

| Tratamientos | Diámetro de la cabeza de lechuga cm/cabeza | Significancia |
|--|--|---------------|
| Arena de río con 5 cc de SN/L de agua/planta | 17.71 | A |
| Piedra pómez con 4 cc de SN/L de agua/planta | 12.22 | B |
| Piedra pómez con 3 cc de SN/L de agua/planta | 12.01 | B |
| Arena de río con 4 cc de SN/L de agua/planta | 11.99 | B |
| Piedra pómez con 5 cc de SN/L de agua/planta | 11.93 | B |
| Arena de río con 3 cc de SN/L de agua/planta | 11.59 | B |
| Arena blanca con 5 cc de SN/L de agua/planta | 11.05 | B |
| Arena blanca con 4 cc de SN/L de agua/planta | 11.68 | B |
| Arena blanca con 5 cc de SN/L de agua/planta | 11.24 | B |

(Autor, 2015).

7.5 LONGITUD DEL TALLO DE LA CABEZA DE LECHUGA

En la figura 11 se muestran los resultados obtenidos con respecto a la longitud del tallo de la cabeza de lechuga, en donde se observa que el tratamiento donde se empleó arena de río con 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta presentó la menor longitud con un valor de 3.03 cm/cabeza, una longitud menor a todos los tratamientos evaluados.

Las curvas de correlación muestran efectos interactivos, es decir, que las dosis de solución nutritiva se comportan de manera distinta en los sustratos. En las curvas de arena de río y piedra pómez la longitud del tallo de la cabeza de lechuga disminuye al incrementar la dosis de solución nutritiva. Por tanto, los factores no son independientes y la dosis de solución nutritiva depende del tipo de sustrato.

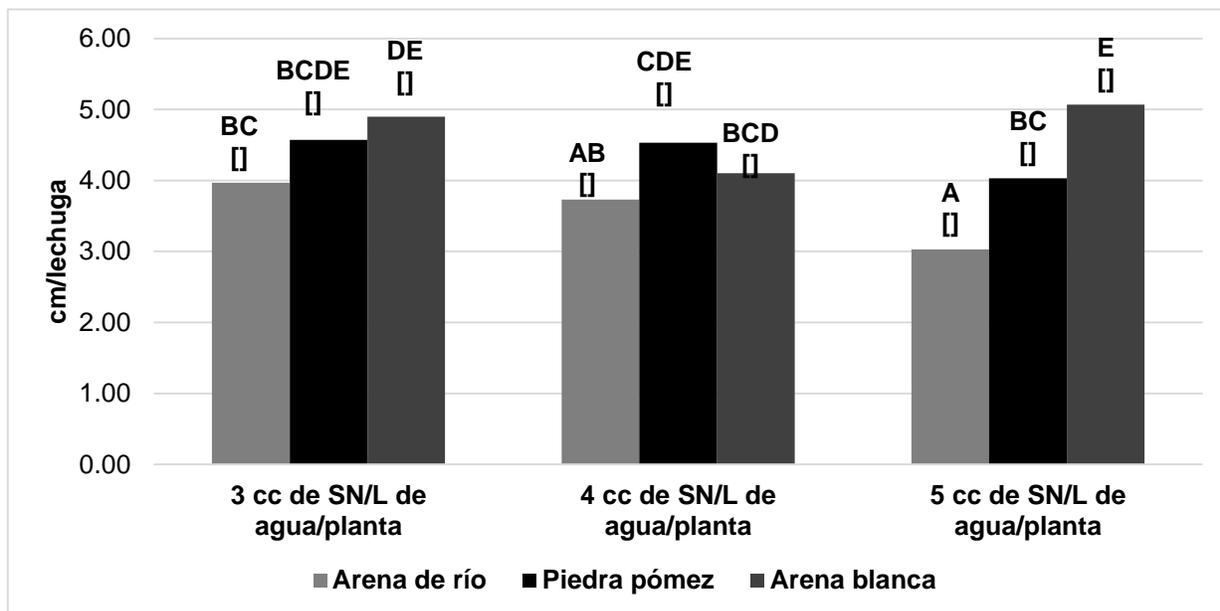


Figura 11. Correlación de la longitud del tallo de la cabeza de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía (Autor, 2015).

Para la variable longitud del tallo de la cabeza de lechuga, el análisis de varianza muestra que los factores dosis de solución nutritiva, tipos de sustratos y tratamientos mostraron significancia. Es decir, existe al menos un tratamiento mejor que los demás. Los datos recolectados son confiables, pues el valor del coeficiente de variación fue de 6.33% (Cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de varianza de la longitud de cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

| FV | G.L. | S.C. | C.M. | F calc | P>f | Significancia al 5% |
|------------------|------|---------|--------|---------|-------|---------------------|
| Repeticiones | 2 | 0.0185 | | | | |
| Sustratos | 2 | 5.9141 | 2.9570 | 46.4186 | 0.003 | Significativo |
| Error A | 4 | 0.2548 | 0.0637 | | | |
| Parcelas grandes | 8 | 6.1874 | | | | |
| Dosis | 2 | 0.9607 | 0.4804 | 6.7552 | 0.011 | Significativo |
| Tratamientos | 4 | 2.5926 | 0.6481 | 9.1146 | 0.002 | Significativo |
| Error B | 12 | 0.8533 | 0.0711 | | | |
| Total | 26 | 10.5941 | | | | |
| C.V. (%) | 6.33 | | | | | |

(Autor, 2015).

Según el análisis de medias de Tukey ($P < 0.05$), la menor longitud del tallo de la cabeza de lechuga se presentó en el tratamiento donde se utilizó arena de río con 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta. La mayor longitud del tallo se encontró en el tratamiento donde se utilizó arena blanca con 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta. Los resultados mostraron independencia entre los sustratos y las dosis de solución nutritiva.

Cuadro 15. Análisis de medias de Tukey para la longitud de la cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

| Tratamientos | Longitud del tallo de la cabeza de lechuga cm/tallo | Significancia |
|--|---|---------------|
| Arena de río con 5 cc de SN/L de agua/planta | 3.03 | A |
| Arena de río con 4 cc de SN/L de agua/planta | 3.73 | AB |
| Arena de río con 3 cc de SN/L de agua/planta | 3.97 | BC |
| Piedra pómez con 5 cc de SN/L de agua/planta | 4.03 | BC |
| Arena blanca con 4 cc de SN/L de agua/planta | 4.10 | BCD |
| Piedra pómez con 4 cc de SN/L de agua/planta | 4.53 | BCDE |
| Piedra pómez con 3 cc de SN/L de agua/planta | 4.57 | CDE |
| Arena blanca con 3 cc de SN/L de agua/planta | 4.90 | DE |
| Arena blanca con 5 cc de SN/L de agua/planta | 5.07 | E |

(Autor, 2015).

7.6 ALTURA DE LA CABEZA DE LECHUGA

La altura de la cabeza de lechuga es importante, no solamente por ser un componente de la producción, sino también porque determina la aceptación del consumidor. El tratamiento con mayor altura de la cabeza de lechuga se encontró en el tratamiento donde se empleó arena de río con dosis de 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta, con un valor de 18.87 cm/cabeza. Las curvas de correlación muestran que las dosis de solución nutritiva se comportan de manera distinta en los sustratos. En la curva de arena de río la altura de la cabeza de lechuga aumenta al incrementar la dosis de solución nutritiva. El desarrollo del tamaño de la cabeza de lechuga está en relación a las características del material vegetal utilizado y no en la dosis de solución nutritiva (Figura 12).

La diferencia en altura de los tratamientos evaluados se debió a que el tratamiento donde se utilizó arena de río con 5 cc de solución nutritiva por litro de agua tuvo una mejor retención de nutrientes por las raíces al momento de aplicarse constantemente agua para evitar la deshidratación de las plantas debido a las altas temperaturas que presenta la región. La aplicación de agua de reposición debido a la evapotranspiración de la misma provocó un lavado o arrastre de nutrientes que repercutió en la nutrición de las plantas de lechuga.

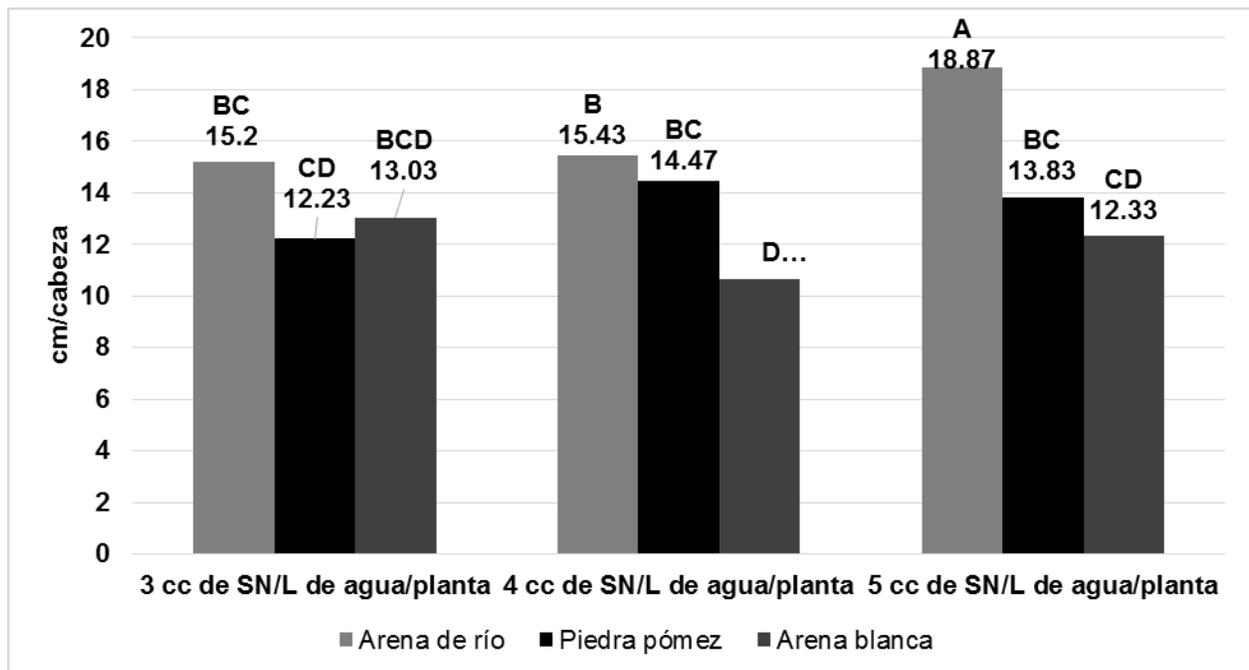


Figura 12. Correlación de la altura de la cabeza de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía (Autor, 2015).

En el cuadro 16 se presentan el análisis de varianza para la altura de cabeza de lechuga, en el mismo se observa que existen diferencias significativas para los factores dosis de solución nutritiva, tipo de sustrato tratamientos evaluados. Lo anterior indica que al menos existe un tratamiento que es mejor que los demás. Los datos recolectados son confiables, pues el valor del coeficiente de variación fue de 7.17%.

De acuerdo al análisis de medias de Tukey (Cuadro 17), el mejor tratamiento con relación al tamaño de la cabeza de lechuga, fue cuando se utilizó arena de río con dosis de 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta, con un valor de 18.37 cm/cabeza. El tratamiento con menor altura de la cabeza de lechuga fue cuando se utilizó arena blanca con dosis de 4 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta. Como se puede observar la altura de la cabeza de lechuga no depende de las dosis de solución nutritiva por lo tanto es una interacción genotipo por ambiente.

Cuadro 16. Análisis de varianza de la altura de cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

| FV | G.L. | S.C. | C.M. | F calc | P>f | Significancia al 5% |
|------------------|------|----------|---------|---------|-------|---------------------|
| Repeticiones | 2 | 5.5696 | | | | |
| Sustratos | 2 | 94.0007 | 47.0004 | 68.4102 | 0.002 | Significativo |
| Error A | 4 | 2.7481 | 0.6870 | | | |
| Parcelas grandes | 8 | 102.3185 | | | | |
| Dosis | 2 | 13.6052 | 6.8026 | 6.7489 | 0.011 | Significativo |
| Tratamientos | 4 | 28.4993 | 7.1248 | 7.0685 | 0.004 | Significativo |
| Error B | 12 | 12.0956 | 1.0080 | | | |
| Total | 26 | 156.5185 | | | | |
| C.V. (%) | 7.17 | | | | | |

(Autor, 2015).

Cuadro 17. Análisis de medias de Tukey para el tamaño de la cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

| Tratamientos | Altura de la cabeza de lechuga cm/cabeza | Significancia |
|--|--|---------------|
| Arena de río con 5 cc de SN/L de agua/planta | 18.87 | A |
| Arena de río con 4 cc de SN/L de agua/planta | 15.43 | B |
| Arena de río con 3 cc de SN/L de agua/planta | 15.20 | BC |
| Piedra pómez con 4 cc de SN/L de agua/planta | 14.47 | BC |
| Piedra pómez con 5 cc de SN/L de agua/planta | 13.83 | BC |
| Arena blanca con 3 cc de SN/L de agua/planta | 13.03 | BCD |
| Arena blanca con 5 cc de SN/L de agua/planta | 12.33 | CD |
| Piedra pómez con 3 cc de SN/L de agua/planta | 12.23 | CD |
| Arena blanca con 4 cc de SN/L de agua/planta | 10.67 | D |

(Autor, 2015).

7.7 PESO DE LA CABEZA DE LECHUGA

De acuerdo a SAKATA (2014), el peso promedio de la cabeza de lechuga de la variedad Salinas tiene un promedio de entre 350 a 375 g/cabeza. En la figura 13 se puede observar las líneas de correlación del peso de la cabeza de lechuga bajo condiciones de hidroponía. Las correlaciones señala efectos interactivos (dosis de solución nutritiva vs tipo de sustrato), es decir, que las dosis de solución nutritiva se comportan de manera distinta en los sustratos. El peso de la cabeza de lechuga aumenta al incrementar la dosis de solución nutritiva cuando se utilizó el sustrato de arena de río, por el contrario en los sustratos de piedra pómez y arena blanca se reduce o aumenta el peso de la cabeza de lechuga al incrementarse o reducirse la dosis de solución nutritiva. Por tanto, los factores no son independientes y la dosis de solución nutritiva depende del tipo de sustrato. En este caso los efectos son interactivos.

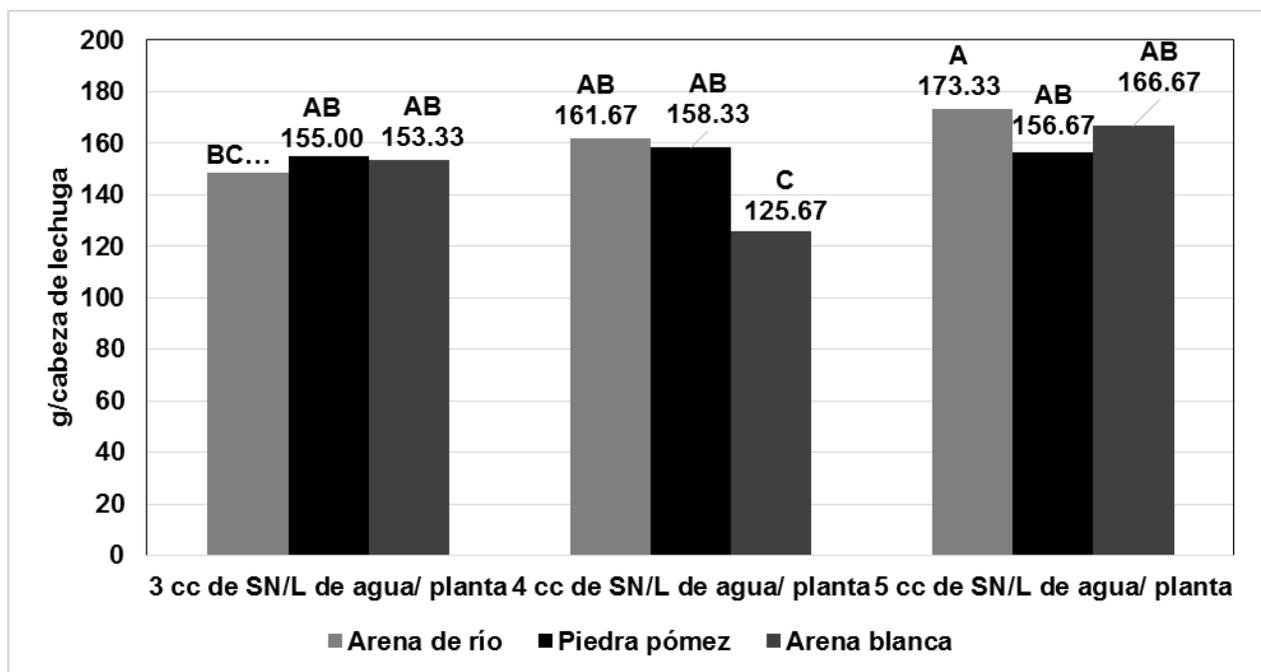


Figura 13. Correlaciones del peso de la cabeza de lechuga, en el estudio de tres tipos de sustrato y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía (Autor, 2015).

En el cuadro 18 se observan los resultados del análisis de varianza para la variable peso promedio de la cabeza de lechuga. Los resultados muestran diferencias

significativas en la dosis de solución nutritiva y los tratamientos evaluados. Lo anterior indica que por lo menos existe un tratamiento que es mejor que los demás. Los datos se consideran confiables debido a que el coeficiente de variación fue de 5.13%.

Cuadro 18. Análisis de varianza del peso de la cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

| FV | G.L. | S.C. | C.M. | F calc | P>f | Significancia al 5% |
|------------------|------|------------|----------|---------|-------|---------------------|
| Repeticiones | 2 | 44.2500 | | | | |
| Sustratos | 2 | 729.5556 | 364.7778 | 2.7519 | 0.177 | No significativo |
| Error A | 4 | 530.2222 | 132.5556 | | | |
| Parcelas grandes | 8 | 1,304.0278 | | | | |
| Dosis | 2 | 1,440.6667 | 720.3333 | 11.3306 | 0.002 | Significativo |
| Tratamientos | 4 | 2,139.1111 | 534.7778 | 8.4119 | 0.002 | Significativo |
| Error B | 12 | 762.8889 | 63.5741 | | | |
| Total | 26 | 5,608.6667 | | | | |
| C.V. (%) | 5.13 | | | | | |

(Autor, 2015).

Según el análisis de medias de Tukey para la variable peso de la cabeza de lechuga (Cuadro 19), esta resultó mayor en el tratamiento donde se empleó arena de río con 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta, con un valor de 173.33 g/cabeza y el menor tamaño se encontró donde se empleó arena blanca con 4 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta, con un valor de 125.67 g/cabeza.

Cuadro 19. Análisis de medias de Tukey para el peso de la cabeza de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía.

| Tratamientos | Peso de la cabeza de lechuga g/cabeza | Significancia |
|--|---------------------------------------|---------------|
| Arena de río con 5 cc de SN/L de agua/planta | 173.33 | A |
| Arena blanca con 5 cc de SN/L de agua/planta | 166.67 | AB |
| Arena de río con 4 cc de SN/L de agua/planta | 161.67 | AB |
| Piedra Pómez con 4 cc de SN/L de agua/planta | 158.33 | AB |
| Piedra Pómez con 5 cc de SN/L de agua/planta | 156.67 | AB |
| Piedra Pómez con 3 cc de SN/L de agua/planta | 155.00 | AB |
| Arena blanca con 3 cc de SN/L de agua/planta | 153.33 | AB |
| Arena de río con 3 cc de SN/L de agua/planta | 148.33 | BC |
| Arena blanca con 4 cc de SN/L de agua/planta | 125.67 | C |

(Autor, 2015).

7.8 ANÁLISIS ECONÓMICO (TRM)

Los costos relevantes identificados fueron: los tipos de sustratos (arena de río, piedra pómez y arena blanca) y las dosis de la solución nutritiva Steiner (3.0, 4.0 y 5.0 cc/planta). Los sustratos tuvieron un costo de Q. 50.00 a Q. 75.00 el m³ y la solución tuvo un costo de Q. 0.72/L.

Los rendimientos experimentales se ajustaron en un 30% para semejarlos a los obtenidos por los productores de lechuga. El tratamiento con el menor costo bruto fue cuando utilizó arena blanca con dosis de 4 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta, con Q. 14,325.70 y el mayor ingreso neto se obtuvo al emplear arena de río con dosis de 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta, con Q. 58,335.20. El tratamiento con mayor ingreso neto fue cuando se utilizó arena de río con dosis de 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta, con Q. 45,681.87 (Cuadro 20).

Cuadro 20. Ingreso bruto y neto en la producción de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía en campo abierto.

| Tratamientos | Rendimiento experimental Kg/ha | Rendimiento ajustado al 30% Kg/ha | Ingreso bruto Q./ha | Costo que varían Q./ha | Ingreso neto Q./ha |
|--|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|
| Arena de río con 3 cc de SN/L de agua/planta | 10,979 | 7,685 | 27,052.26 | 10,925.33 | 16,126.93 |
| Arena de río con 4 cc de SN/L de agua/planta | 18,132 | 12,692 | 44,677.25 | 11,789.33 | 32,887.92 |
| Arena de río con 5 cc de SN/L de agua/planta | 23,675 | 16,573 | 58,335.20 | 12,653.33 | 45,681.87 |
| Piedra pómez con 3 cc de SN/L de agua/planta | 15,232 | 10,662 | 37,531.65 | 14,592.00 | 22,939.65 |
| Piedra pómez con 4 cc de SN/L de agua/planta | 16,731 | 11,712 | 41,225.18 | 15,456.00 | 25,769.18 |
| Piedra pómez con 5 cc de SN/L de agua/planta | 15,593 | 10,915 | 38,421.15 | 16,320.00 | 22,101.15 |
| Arena blanca con 3 cc de SN/L de agua/planta | 15,794 | 11,056 | 38,916.42 | 12,592.00 | 26,324.42 |
| Arena blanca con 4 cc de SN/L de agua/planta | 5,814 | 4,070 | 14,325.70 | 13,456.00 | 869.70 |
| Arena blanca con 5 cc de SN/L de agua/planta | 17,350 | 12,145 | 42,750.40 | 14,320.00 | 28,430.40 |

(Autor, 2015).

Para la realización del análisis de dominancia, se organizaron los datos de costos que varían con su respectivo ingreso neto en la producción de lechuga, de acuerdo con un orden creciente (de menor a mayor) de los costos que varían. Como se puede observar en el cuadro 21, tres de los tratamientos evaluados fueron no dominados.

Cuadro 21. Análisis de dominancia en la producción de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía en campo abierto.

| Tratamientos | Costo que varían Q./ha | Ingreso neto Q./ha | Significancia |
|--|---------------------------|-----------------------|---------------|
| Arena de río con 3 cc de SN/L de agua/planta | 10,925.33 | 16,126.93 | No dominado |
| Arena de río con 4 cc de SN/L de agua/planta | 11,789.33 | 32,887.92 | No dominado |
| Arena blanca con 3 cc de SN/L de agua/planta | 12,592.00 | 26,324.42 | Dominado |
| Arena de río con 5 cc de SN/L de agua/planta | 12,653.33 | 45,681.87 | No dominado |
| Arena blanca con 4 cc de SN/L de agua/planta | 13,456.00 | 869.70 | Dominado |
| Arena blanca con 5 cc de SN/L de agua/planta | 14,320.00 | 28,430.40 | Dominado |
| Piedra pómez con 3 cc de SN/L de agua/planta | 14,592.00 | 22,939.65 | Dominado |
| Piedra pómez con 4 cc de SN/L de agua/planta | 15,456.00 | 25,769.18 | Dominado |
| Piedra pómez con 5 cc de SN/L de agua/planta | 16,320.00 | 22,101.15 | Dominado |

(Autor, 2015).

Con los tratamientos no dominados se calcularon los incrementos en los costos que varían y beneficios netos derivados del cambio de un tratamiento de costo variable menor a uno de costo mayor, para luego calcular la TRM. En el cuadro 22, se observa que el tratamiento más rentable del estudio fue donde se utilizó el sustrato de arena de río con dosis de 5.0 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta, con una tasa de retorno marginal de 6.75%.

Cuadro 22. Análisis de la tasa de retorno marginal en la producción de lechuga en la evaluación de tres sustratos y tres dosis de solución nutritiva bajo condiciones de hidroponía en campo abierto.

| Tratamientos | Costo que Varían Q./ha | Beneficio Neto Q./ha | Diferencia | | TRM % |
|--|---------------------------|-------------------------|------------------|----------------|-------|
| | | | Costo que Varían | Beneficio Neto | |
| Arena de río con 3 cc de SN/L de agua/planta | 10,925.33 | 16,126.93 | | | |
| Arena de río con 4 cc de SN/L de agua/planta | 11,789.33 | 32,887.92 | 864.00 | 16,760.99 | 5.15 |
| Arena de río con 5 cc de SN/L de agua/planta | 12,653.33 | 45,681.87 | 864.00 | 12,793.95 | 6.75 |

(Autor, 2015).

VIII. CONCLUSIONES

El promedio de temperatura media en el presente estudio fue de 27.8 °C y 65.8% de humedad relativa, las cuales se consideran elevadas para la producción de cabeza de lechuga bajo condiciones hidropónicas. Lo que provocó que las cabezas de lechuga no presentaran las características típicas de la variedad evaluada (cogollo esférico, con hojas abullonadas, de base pesada y uniformidad), por el contrario; la cabeza presentó menos acogollamiento, alargamiento de hojas, baja uniformidad y un aumento en el crecimiento del tallo floral, lo que redundó en la baja calidad de la lechuga.

Para el porcentaje de pegue de lechuga bajo condiciones de hidroponía, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados a excepción de los siguientes: arena blanca con dosis 4 y 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta.

En relación a los resultados obtenidos, el tratamiento con mayor rendimiento de cabezas de lechuga fue cuando se utilizó arena de río como sustrato y 5 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta, con 23,675 kg/ha.

En lo que respecta al diámetro y longitud de cabeza promedio de lechuga, el mejor tratamiento fue cuando se utilizó arena de río con 5 cc de solución nutritiva por cada litro de agua por planta.

Para el peso de cabeza de lechuga el mejor tratamiento fue cuando se empleó arena de río con 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta, con un valor de 173.33 g/cabeza. De acuerdo a las características de la variedad el peso obtenido se considera bajo debido a que la cabeza no alcanzó su forma esférica típica de las variedades iceberg.

De acuerdo al análisis financiero económico, utilizando presupuestos parciales, se determinó que el tratamiento donde se empleó arena de río con 5 cc de solución nutritiva por litro de agua por planta, fue la que presentó la mayor tasa de retorno marginal, con 6.75%.

IX. RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados técnico y económico financiero para la producción de cabezas de lechuga bajo condiciones hidropónicas en el área de Zacapa, se recomienda utilizar arena de río como sustrato y dosis 5 cc/L de agua de solución nutritiva de Steiner por aplicación.

Continuar las investigaciones sobre la producción de cultivos hidropónicos en el área de Zacapa, empleando otros tipos de sustratos orgánicos e inorgánicos, así como otros tipos de soluciones nutritivas.

Realizar investigaciones de lechuga de la variedad escarola y/o romana bajo las condiciones del presente estudio, donde la biomasa producida es más importante que la formación de cabezas compactas.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvarado, D.; Chávez, F. y Wilhelmina, K. (2001). Lechugas hidropónicas. Seminario de negocios. Universidad del Pacífico, Facultad de Administración y Contabilidad. Lima, Perú. 96 p.
- Barrios A., N. E. (2004). Evaluación del cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa L.*) bajo condiciones hidropónicas en Pachalí, San Juan Sacatepéquez, Guatemala. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 64 p.
- Baixauli S., C. y Aguilar O., J. M. (2002). Cultivo sin suelo de hortalizas. Serie Divulgación Técnica. Generalitat Valenciana. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia, España. 110 p.
- Calderón, F. y Cevallos, F. (2001). Los sustratos. Consultado 17 de abril de 2013. Disponible en <http://www.drcalderonlabs.com>
- Canovas, F.; Magna, J.J.; y Boukhalifa, A. (1993). Cultivos sin suelo. Hidroponía. En Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos del Sureste español. Ed. Instituto de la Caja Rural de Almería. Almería. 69 p.
- Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, Innovación Tecnológica. (2000). Guía de producción de lechuga: sistema de raíz flotante (en línea). Honduras, Secretaría de Agricultura y Ganadería. Consultado 17 de abril de 2013. Disponible en http://www.sag.gob.hn/dicta/Paginas/lechuga_hidroponica.html
- Estrada A., R. E. (2003). Caracterización de sustratos orgánicos e inorgánicos a nivel de región en Guatemala y su efecto en el rendimiento de hortalizas en cultivo hidropónico. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC.82 p.

- Gutiérrez, J. (2011). Producción hidropónica de lechuga con o sin recirculación de la solución nutritiva. Tesis de Grado. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Instituto de Horticultura. Chapingo, México. 77 p.
- Guzmán, G. (2004). Hidroponía en casa. Una actividad familiar. Sistema Unificado de Información Institucional. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 25 p.
- Granval de M., N. y Gaviota, J. C. (2010). Lechuga. Manual de semillas de hortalizas. INTA. Argentina. 18 p.
- Holdridge, L. R. (1975). Zonificación ecológica de Guatemala. Extrato de José Ramírez Bermudês. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Guatemala. 35 p.
- INFOAGRO, ES. (2002). El cultivo de la lechuga (en línea). España. Consultado 17 abril. 2013. Disponible en <http://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm>
- Malca, O. (2001). Lechugas hidropónicas. Seminario de agronegocios. Facultad de Administración y Contabilidad. Universidad del Pacífico. 96 p.
- Martínez, E; y García, M. (2005). Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo. Ed Horticultura. Madrid. 256 p.
- Marulanda, C. y Izquierdo, J. (2003). La huerta hidropónica popular. Curso audiovisual. Manual Técnico. Tercera edición ampliada. Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe. Santiago de Chile. 132 p.
- SAKATA (2014). Ficha técnica de la lechuga variedad Salinas. SAKATA Guatemala. 2 p.

Santander, J. (2007). Un paso más en la hidroponía. Ed. Diana. México, D.F. 156 p.

Simmons, Ch, Tarano, M. Pinto J. (1959). Clasificación de reconocimiento de suelos de la República de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala. Ed. José Pineda Ibarra. Guatemala 1000 p.

Tapia F., M. (2009). Sistema de cultivos sin suelo. Hidropónicos.

Terres, V.; Artetxe, A.; Beunza, A. (1997). Caracterización física de los sustratos de cultivo. Revista Horticultura N° 125. Edición de Diciembre 1997. 22 p.

USAID-RED (2008). Producción de lechuga. Manual de producción. Proyecto de diversificación económica rural. La Lima, Cortez, Honduras. 35 p.

ANEXOS

Anexo 1

Datos climatológicos (temperatura y humedad relativa) en el área de estudio y periodo de producción dl cultivo de lechuga.

Cuadro 1.1 Datos climatológicos del área de estudio.

| DÍA DE PRODUCCIÓN | TEMPERATURA EN °C | | | HUMEDAD RELATIVA |
|-------------------|-------------------|-------------|-------------|------------------|
| | Media | Mínima | Máxima | % |
| 04-dic-2013 | 27.6 | 21.3 | 33.6 | 73.0 |
| 07-dic-2013 | 28.0 | 21.2 | 33.5 | 65.0 |
| 10-dic-2013 | 28.2 | 21.3 | 34.5 | 70.0 |
| 13-dic-2013 | 28.0 | 20.9 | 34.0 | 59.0 |
| 16-dic-2013 | 29.3 | 21.8 | 33.4 | 57.0 |
| 19-dic-2013 | 28.6 | 20.8 | 35.1 | 58.0 |
| 22-dic-2013 | 27.9 | 21.4 | 33.0 | 59.0 |
| 26-dic-2013 | 28.5 | 21.1 | 33.3 | 68.0 |
| 29-dic-2013 | 28.8 | 21.1 | 34.2 | 67.0 |
| 02-ene-2014 | 27.5 | 19.3 | 33.3 | 66.0 |
| 05-ene-2014 | 27.2 | 19.6 | 34.8 | 64.0 |
| 08-ene-2014 | 27.8 | 20.5 | 33.2 | 65.0 |
| 11-ene-2014 | 27.6 | 21.8 | 33.1 | 72.0 |
| 14-ene-2014 | 28.5 | 21.4 | 34.3 | 67.0 |
| 17-ene-2014 | 29.5 | 21.7 | 34.4 | 70.0 |
| 20-ene-2014 | 28.1 | 21.3 | 34.7 | 65.0 |
| 23-ene2014 | 27.7 | 20.8 | 34.9 | 66.0 |
| 26-ene-2014 | 26.0 | 19.7 | 34.1 | 65.0 |
| 29-ene-2014 | 25.6 | 19.5 | 34.2 | 67.0 |
| 02-feb-2014 | 25.8 | 18.5 | 34.3 | 69.0 |
| 05-feb-2014 | 27.8 | 22.6 | 33.7 | 70.0 |
| PROMEDIO | 27.8 | 20.8 | 34.0 | 65.8 |

Anexo 2

Porcentaje de pegue de plántulas de lechuga

Cuadro 2.1. Porcentaje de pegue de plántulas de lechuga por tratamiento y repetición.

| TRATAMIENTOS | | | | I | II | III | TOTAL | PROMEDIO |
|--------------------------------------|-------------|------|----|-------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Sustratos combinados con dosis de SN | | | | | | | | |
| Arena de río | 3 cc de | SN/L | de | 100 | 92 | 88 | 280 | 93.33 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L | de | 100 | 96 | 92 | 288 | 96.00 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L | de | 100 | 100 | 100 | 300 | 100.00 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | | | | SUMA | 300 | 288 | 280 | |
| Piedra pómez | 3 cc de | SN/L | de | 100 | 100 | 96 | 296 | 98.67 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L | de | 100 | 96 | 92 | 288 | 96.00 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L | de | 100 | 96 | 92 | 288 | 96.00 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | | | | SUMA | 300 | 292 | 280 | |
| Arena blanca | 3 cc de | SN/L | de | 100 | 96 | 100 | 296 | 98.67 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L | de | 80 | 88 | 76 | 244 | 81.33 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L | de | 80 | 88 | 80 | 248 | 82.67 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | | | | SUMA | 260.00 | 272.00 | 256.00 | |
| | | | | SUMA TOTAL | 860.00 | 852.00 | 816.00 | 93.63 |

Cuadro 2.2. Cuadro auxiliar del porcentaje de pegue de plántulas de lechuga por tratamiento.

| Factores evaluados | 3 cc de SN/L de agua/planta | 4 cc de SN/L de agua/planta | 5 cc de SN/L de agua/planta | Promedio |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|
| Arena de río | 93.33 | 96.00 | 100.00 | 96.44 |
| Piedra pómez | 98.67 | 96.00 | 96.00 | 96.89 |
| Arena blanca | 98.67 | 81.33 | 82.67 | 87.56 |
| Promedio | 96.89 | 91.11 | 92.89 | |

Cuadro 2.3. Análisis de medias de Tukey para el porcentaje de pegue de plántulas de lechuga por sustrato evaluado.

| Tratamientos | Porcentaje de pegue de plántulas de lechuga % | Significancia |
|---------------------|--|----------------------|
| Piedra pómez | 96.89 | A |
| Arena de río | 96.44 | A |
| Arena blanca | 87.56 | B |

Cuadro 2.4. Análisis de medias de Tukey para el porcentaje de pegue de plántulas de lechuga por dosis de solución nutritiva.

| Tratamientos | Porcentaje de pegue de plántulas de lechuga % | Significancia |
|-----------------------------|--|----------------------|
| 3 cc de SN/L de agua/planta | 96.89 | A |
| 5 cc de SN/L de agua/planta | 92.89 | AB |
| 4 cc de SN/L de agua/planta | 91.11 | B |

Anexo 3 Rendimiento de lechuga (kg/ha)

Cuadro 3.1. Rendimiento de lechuga por tratamiento y repetición.

| Tratamientos | | | | I | II | III | Total | Promedio |
|--------------------------------------|-------------|---------|----|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Sustratos combinados con dosis de SN | | | | | | | | |
| Arena de río | 3 cc de | SN/L de | de | 9,952 | 12,606 | 10,378 | 32,936 | 10,979 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L de | de | 20,492 | 17,525 | 16,378 | 54,395 | 18,132 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L de | de | 22,368 | 22,368 | 26,288 | 71,024 | 23,675 |
| | | | | SUMA | 52,812 | 52,499 | 53,044 | |
| Piedra pómez | 3 cc de | SN/L de | de | 14,192 | 15,672 | 15,832 | 45,696 | 15,232 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L de | de | 26,288 | 13,184 | 10,722 | 50,194 | 16,731 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L de | de | 18,672 | 15,525 | 13,184 | 47,381 | 15,794 |
| | | | | SUMA | 59,152 | 44,381 | 39,738 | |
| Arena blanca | 3 cc de | SN/L de | de | 15,200 | 16,378 | 15,200 | 46,778 | 15,593 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L de | de | 6,670 | 8,171 | 2,600 | 17,441 | 5,814 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L de | de | 16,378 | 18,484 | 17,189 | 52,051 | 17,350 |
| | | | | SUMA | 38,248 | 43,033 | 34,989 | |
| | | | | SUMA TOTAL | 150,212 | 139,913 | 127,772 | 417,897 |
| | | | | | | | | 15,478 |

Cuadro 3.2. Tabla auxiliar del rendimiento de lechuga por tratamiento.

| Factores evaluados | 3 cc de SN/L de agua/planta | 4 cc de SN/L de agua/planta | 5 cc de SN/L de agua/planta | Promedio |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------|
| Arena de río | 10,978.77 | 18,131.79 | 23,674.67 | 17,595.08 |
| Piedra pómez | 15,231.89 | 16,731.41 | 15,793.71 | 15,919.00 |
| Arena blanca | 15,592.75 | 5,813.65 | 17,350.40 | 12,918.93 |
| Promedio | 13,934.47 | 13,558.95 | 18,939.59 | |

Cuadro 3.3. Análisis de medias de Tukey para el rendimiento de lechuga por dosis de solución nutritiva evaluada.

| Tratamientos | Rendimiento de cabezas de lechuga Kg/ha | Significancia |
|-----------------------------|---|---------------|
| 5 cc de SN/L de agua/planta | 18,939.59 | A |
| 3 cc de SN/L de agua/planta | 13,934.47 | AB |
| 4 cc de SN/L de agua/planta | 13,558.95 | B |

Anexo 4
Diámetro ecuatorial de la cabeza de lechuga (cm/cabeza)

Cuadro 4.1. Diámetro ecuatorial de la cabeza de lechuga por tratamiento y repetición.

| Tratamientos | | | | I | II | III | Total | Promedio |
|--------------------------------------|-------------|------|----|-------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Sustratos combinados con dosis de SN | | | | | | | | |
| Arena de río | 3 cc de | SN/L | de | 10.63 | 11.93 | 12.20 | 34.76 | 11.59 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L | de | 11.30 | 13.77 | 10.90 | 35.97 | 11.99 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L | de | 18.03 | 17.56 | 17.53 | 53.12 | 17.71 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | | | | SUMA | 39.96 | 43.26 | 40.63 | |
| Piedra pómez | 3 cc de | SN/L | de | 12.23 | 12.13 | 11.66 | 36.02 | 12.01 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L | de | 12.66 | 12.46 | 11.53 | 36.65 | 12.22 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L | de | 12.43 | 10.90 | 12.46 | 35.79 | 11.93 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | | | | SUMA | 37.32 | 35.49 | 35.65 | |
| Arena blanca | 3 cc de | SN/L | de | 9.66 | 9.80 | 10.90 | 30.36 | 10.12 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L | de | 9.03 | 11.90 | 11.56 | 32.49 | 10.83 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L | de | 12.66 | 11.43 | 9.06 | 33.15 | 11.05 |
| | agua/planta | | | | | | | |
| | | | | SUMA | 31.35 | 33.13 | 31.52 | |
| | | | | SUMA TOTAL | 108.63 | 111.88 | 107.80 | 12.16 |

Cuadro 4.2. Tabla auxiliar del diámetro ecuatorial de la cabeza de lechuga por tratamiento.

| Factores evaluados | 3 cc de SN/L de agua/planta | 4 cc de SN/L de agua/planta | 5 cc de SN/L de agua/planta | Promedio |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|
| Arena de río | 11.59 | 11.99 | 17.71 | 13.76 |
| Piedra pómez | 12.01 | 12.22 | 11.93 | 12.05 |
| Arena blanca | 10.12 | 10.83 | 11.05 | 10.67 |
| Promedio | 11.24 | 11.68 | 13.56 | |

Cuadro 4.3. Análisis de medias de Tukey para el diámetro ecuatorial de la cabeza de lechuga por sustrato evaluado

| Tratamientos | Diámetro ecuatorial de cabezas de lechuga cm | Significancia |
|---------------------|---|----------------------|
| Arena de río | 13.76 | A |
| Piedra pómez | 12.05 | B |
| Arena blanca | 10.67 | B |

Cuadro 4.4. Análisis de medias de Tukey para el diámetro ecuatorial de la cabeza de lechuga por dosis de solución nutritiva evaluada.

| Tratamientos | Diámetro ecuatorial de cabezas de lechuga cm | Significancia |
|-----------------------------|---|----------------------|
| 5 cc de SN/L de agua/planta | 13.56 | A |
| 4 cc de SN/L de agua/planta | 11.68 | B |
| 3 cc de SN/L de agua/planta | 11.24 | B |

Anexo 5

Longitud del tallo de la cabeza de lechuga (cm/tallo)

Cuadro 5.1. Longitud del tallo de la cabeza de lechuga por tratamiento y repetición.

| Tratamientos | | I | II | III | Total | Promedio |
|---|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|
| Sustratos combinados con dosis de SN | | | | | | |
| Arena de río | 3 cc de SN/L de agua/planta | 3.9 | 3.9 | 4.1 | 11.9 | 3.97 |
| | 4 cc de SN/L de agua/planta | 3.2 | 4.0 | 4.0 | 11.2 | 3.73 |
| | 5 cc de SN/L de agua/planta | 3.3 | 3.0 | 2.8 | 9.1 | 3.03 |
| | SUMA | 10.4 | 10.9 | 10.9 | | |
| Piedra pómez | 3 cc de SN/L de agua/planta | 4.7 | 4.4 | 4.6 | 13.7 | 4.57 |
| | 4 cc de SN/L de agua/planta | 4.7 | 4.6 | 4.3 | 13.6 | 4.53 |
| | 5 cc de SN/L de agua/planta | 4.1 | 4.2 | 3.8 | 12.1 | 4.03 |
| | SUMA | 13.5 | 13.2 | 12.7 | | |
| Arena blanca | 3 cc de SN/L de agua/planta | 4.8 | 5.0 | 4.9 | 14.7 | 4.90 |
| | 4 cc de SN/L de agua/planta | 4.0 | 4.2 | 4.1 | 12.3 | 4.10 |
| | 5 cc de SN/L de agua/planta | 4.9 | 4.8 | 5.5 | 15.2 | 5.07 |
| | SUMA | 13.70 | 14.00 | 14.50 | | |
| SUMA TOTAL | | 37.60 | 38.10 | 38.10 | 113.80 | 4.21 |

Cuadro 5.2. Tabla auxiliar de la longitud del tallo de la cabeza de lechuga por tratamiento.

| Factores evaluados | 3 cc de SN/L de agua/planta | 4 cc de SN/L de agua/planta | 5 cc de SN/L de agua/planta | Promedio |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|
| Arena de río | 3.97 | 3.73 | 3.03 | 3.58 |
| Piedra pómez | 4.57 | 4.53 | 4.03 | 4.38 |
| Arena blanca | 4.90 | 4.10 | 5.07 | 4.69 |
| Promedio | 4.48 | 4.12 | 4.04 | |

Cuadro 5.3. Análisis de medias de Tukey para la longitud del tallo de la cabeza de lechuga por sustrato evaluado.

| Tratamientos | Longitud del tallo de la cabeza de lechuga cm | Significancia |
|---------------------|--|----------------------|
| Arena blanca | 4.69 | A |
| Piedra pómez | 4.38 | A |
| Arena de río | 3.58 | B |

Cuadro 5.4. Análisis de medias de Tukey para la longitud del tallo de la cabeza de lechuga por dosis de solución nutritiva evaluada.

| Tratamientos | Longitud del tallo de la cabeza de lechuga cm | Significancia |
|-----------------------------|--|----------------------|
| 3 cc de SN/L de agua/planta | 4.48 | A |
| 4 cc de SN/L de agua/planta | 4.12 | B |
| 5 cc de SN/L de agua/planta | 4.04 | B |

Anexo 6

Altura de la cabeza de lechuga (cm/altura)

Cuadro 6.1. Altura de la cabeza de lechuga por tratamiento y repetición.

| Tratamientos | | | I | II | III | Total | Promedio |
|--------------------------------------|-------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Sustratos combinados con dosis de SN | | | | | | | |
| Arena de río | 3 cc de | SN/L de | 15.00 | 16.30 | 14.30 | 45.6 | 15.20 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L de | 15.30 | 15.00 | 16.00 | 46.3 | 15.43 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L de | 19.30 | 18.80 | 18.50 | 56.6 | 18.87 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | | SUMA | 49.60 | 50.10 | 48.80 | | |
| Piedra pómez | 3 cc de | SN/L de | 13.00 | 12.00 | 11.70 | 36.7 | 12.23 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L de | 14.90 | 15.00 | 13.50 | 43.4 | 14.47 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L de | 13.40 | 15.70 | 12.40 | 41.50 | 13.83 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | | SUMA | 41.30 | 42.70 | 37.60 | | |
| Arena blanca | 3 cc de | SN/L de | 12.90 | 13.30 | 12.90 | 39.1 | 13.03 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L de | 11.00 | 11.50 | 9.50 | 32 | 10.67 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L de | 14.50 | 11.00 | 11.50 | 37 | 12.33 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | | SUMA | 38.40 | 35.80 | 33.90 | | |
| | | SUMA TOTAL | 129.30 | 128.60 | 120.30 | 378.20 | 14.01 |

Cuadro 6.2. Tabla auxiliar de la altura de la cabeza de lechuga por tratamiento.

| Factores evaluados | 3 cc de SN/L de agua/planta | 4 cc de SN/L de agua/planta | 5 cc de SN/L de agua/planta | Promedio |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|
| Arena de río | 15.20 | 15.43 | 18.87 | 16.50 |
| Piedra pómez | 12.23 | 14.47 | 13.83 | 13.51 |
| Arena blanca | 13.03 | 10.67 | 12.33 | 12.01 |
| Promedio | 13.49 | 13.52 | 15.01 | |

Cuadro 6.3. Análisis de medias de Tukey para la altura de la cabeza de lechuga por sustrato evaluado.

| Tratamientos | Altura de la cabeza de lechuga cm | Significancia |
|---------------------|--|----------------------|
| Arena de río | 16.50 | A |
| Piedra pómez | 13.51 | B |
| Arena blanca | 12.01 | C |

Cuadro 6.4. Análisis de medias de Tukey para la altura de la cabeza de lechuga por dosis de solución nutritiva evaluada.

| Tratamientos | Altura de la cabeza de lechuga cm | Significancia |
|-----------------------------|--|----------------------|
| 5 cc de SN/L de agua/planta | 15.01 | A |
| 4 cc de SN/L de agua/planta | 13.52 | B |
| 3 cc de SN/L de agua/planta | 13.49 | B |

Anexo 7
Peso de la cabeza de lechuga (g/cabeza)

Cuadro 7.1. Peso de la cabeza de lechuga por tratamiento y repetición.

| Tratamientos | | | I | II | III | Total | Promedio |
|--------------------------------------|-------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| Sustratos combinados con dosis de SN | | | | | | | |
| Arena de río | 3 cc de | SN/L de | 140.00 | 145.00 | 160.00 | 445 | 148.33 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L de | 165.00 | 160.00 | 160.00 | 485 | 161.67 |
| | agua/planta | | | | | | |
| Piedra pómez | 5 cc de | SN/L de | 170.00 | 170.00 | 180.00 | 520 | 173.33 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | | SUMA | 475.00 | 475.00 | 500.00 | | |
| | 3 cc de | SN/L de | 150.00 | 160.00 | 155.00 | 465 | 155.00 |
| Arena blanca | agua/planta | | | | | | |
| | 4 cc de | SN/L de | 180.00 | 150.00 | 145.00 | 475 | 158.33 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L de | 160.00 | 160.00 | 150.00 | 470.00 | 156.67 |
| Arena blanca | agua/planta | | | | | | |
| | | SUMA | 490.00 | 470.00 | 450.00 | | |
| | 3 cc de | SN/L de | 150.00 | 160.00 | 150.00 | 460 | 153.33 |
| | agua/planta | | | | | | |
| Arena blanca | 4 cc de | SN/L de | 122.00 | 130.00 | 125.00 | 377 | 125.67 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | 5 cc de | SN/L de | 160.00 | 170.00 | 170.00 | 500 | 166.67 |
| | agua/planta | | | | | | |
| | SUMA | 432.00 | 460.00 | 445.00 | | | |
| SUMA TOTAL | | | 1397.00 | 1405.00 | 1395.00 | 4197.00 | 155.44 |

Cuadro 7.2. Tabla auxiliar del peso de la cabeza de lechuga por tratamiento.

| Factores evaluados | 3 cc de SN/L de agua/planta | 4 cc de SN/L de agua/planta | 5 cc de SN/L de agua/planta | Promedio |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|
| Arena de río | 148.33 | 161.67 | 173.33 | 161.11 |
| Piedra pómez | 155.00 | 158.33 | 156.67 | 156.67 |
| Arena blanca | 153.33 | 125.67 | 166.67 | 148.56 |
| Promedio | 152.22 | 148.56 | 165.56 | |

Cuadro 7.3. Análisis de medias de Tukey para el peso de la cabeza de lechuga por dosis de solución nutritiva evaluada.

| Tratamientos | Peso de la cabeza de lechuga g/cabeza | Significancia |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------|
| 5 cc de SN/L de agua/planta | 165.56 | A |
| 3 cc de SN/L de agua/planta | 152.22 | B |
| 4 cc de SN/L de agua/planta | 148.56 | B |

Anexo 8

Análisis económico (Tasa de Retorno Marginal)

Cuadro 8.1 Costos de las dosis de la solución nutritiva.

| Características | Valores |
|--|---------------------------|
| Ciclo de cultivo después del trasplante: | 35 días |
| Días de riego con solución nutritiva: | 30 días |
| Riego con solución nutritiva/m ² /día | 4 L/m ² /riego |
| Dosis 1 de solución nutritiva aplicada por m ² /día | 0.012 L para la dosis 1 |
| Dosis 2 de solución nutritiva aplicada por m ² /día | 0.016 L para la dosis 2 |
| Dosis 3 de solución nutritiva aplicada por m ² /día | 0.020 L para la dosis 3 |
| Total de dosis 1 solución nutritiva/ha | 3,600 L/ha |
| Total de dosis 2 solución nutritiva/ha | 4,800 L/ha |
| Total de dosis 3 solución nutritiva/ha | 6,000 L/ha |
| Costo de 100 L de SN de Steiner | Q. 72.00 |
| Costo total de la dosis 1 de SN/ha | Q. 2,592.00 |
| Costo total de la dosis 2 de SN/ha | Q. 3,456.00 |
| Costo total de la dosis 3 de SN/ha | Q. 4,320.00 |

Cuadro 8.2 Costos de los sustratos evaluados.

| Tipos de sustratos | Costo de sustratos |
|--------------------------------|-------------------------|
| Arena de río | Q. 50.00/m ³ |
| Piedra pómez | Q. 75.00/m ³ |
| Arena blanca | Q. 60.00/m ³ |
| Costo de arena de río/ha/ciclo | Q. 8,333.33 |
| Costo de piedra pómez/ha/ciclo | Q. 12,000.00 |
| Costo de arena blanca/ha/ciclo | Q. 10,000.00 |

Cuadro 8.3 Total de costos que varían.

| Tratamiento | Costo de solución nutritiva Q./ha | Costo del sustrato Q/ha | Total de Costos que varían Q./ha |
|--|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Arena de río con 3 cc de SN/L de agua/planta | 2,592.00 | 8,333.33 | 10,925.33 |
| Arena de río con 4 cc de SN/L de agua/planta | 3,456.00 | 8,333.33 | 11,789.33 |
| Arena de río con 5 cc de SN/L de agua/planta | 4,320.00 | 8,333.33 | 12,653.33 |
| Piedra pómez con 3 cc de SN/L de agua/planta | 2,592.00 | 12,000.00 | 14,592.00 |
| Piedra pómez con 4 cc de SN/L de agua/planta | 3,456.00 | 12,000.00 | 15,456.00 |
| Piedra pómez con 5 cc de SN/L de agua/planta | 4,320.00 | 12,000.00 | 16,320.00 |
| Arena blanca con 3 cc de SN/L de agua/planta | 2,592.00 | 10,000.00 | 12,592.00 |
| Arena blanca con 4 cc de SN/L de agua/planta | 3,456.00 | 10,000.00 | 13,456.00 |
| Arena blanca con 5 cc de SN/L de agua/planta | 4,320.00 | 10,000.00 | 14,320.00 |

Cuadro 8.4 Ingreso bruto por hectárea.

| Tratamiento | Rendimiento experimental Kg/ha | Rendimiento ajustado al 30% Kg/ha | Precio del kg de lechuga Q./kg | Ingreso bruto Q/ha |
|--|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Arena de río con 3 cc de SN/L de agua/planta | 10,979 | 7,685.30 | 3.52 | 27,052.26 |
| Arena de río con 4 cc de SN/L de agua/planta | 18,132 | 12,692.40 | 3.52 | 44,677.25 |
| Arena de río con 5 cc de SN/L de agua/planta | 23,675 | 16,572.50 | 3.52 | 58,335.20 |
| Piedra pómez con 3 cc de SN/L de agua/planta | 15,232 | 10,662.40 | 3.52 | 37,531.65 |
| Piedra pómez con 4 cc de SN/L de agua/planta | 16,731 | 11,711.70 | 3.52 | 41,225.18 |
| Piedra pómez con 5 cc de SN/L de agua/planta | 15,593 | 10,915.10 | 3.52 | 38,421.15 |
| Arena blanca con 3 cc de SN/L de agua/planta | 15,794 | 11,055.80 | 3.52 | 38,916.42 |
| Arena blanca con 4 cc de SN/L de agua/planta | 5,814 | 4,069.80 | 3.52 | 14,325.70 |
| Arena blanca con 5 cc de SN/L de agua/planta | 17,350 | 12,145.00 | 3.52 | 42,750.40 |

Cuadro 8.5 Ingreso neto por hectárea.

| Tratamiento | Ingreso bruto Q/ha | Total de Costos que varían Q./ha | Ingreso neto Q./ha |
|--|--------------------|----------------------------------|--------------------|
| Arena de río con 3 cc de SN/L de agua/planta | 27,052.26 | 10,925.33 | 16,126.93 |
| Arena de río con 4 cc de SN/L de agua/planta | 44,677.25 | 11,789.33 | 32,887.92 |
| Arena de río con 5 cc de SN/L de agua/planta | 58,335.20 | 12,653.33 | 45,681.87 |
| Piedra pómez con 3 cc de SN/L de agua/planta | 37,531.65 | 14,592.00 | 22,939.65 |
| Piedra pómez con 4 cc de SN/L de agua/planta | 41,225.18 | 15,456.00 | 25,769.18 |
| Piedra pómez con 5 cc de SN/L de agua/planta | 38,421.15 | 16,320.00 | 22,101.15 |
| Arena blanca con 3 cc de SN/L de agua/planta | 38,916.42 | 12,592.00 | 26,324.42 |
| Arena blanca con 4 cc de SN/L de agua/planta | 14,325.70 | 13,456.00 | 869.70 |
| Arena blanca con 5 cc de SN/L de agua/planta | 42,750.40 | 14,320.00 | 28,430.40 |