

Evaluación de dos fuentes de fertilización, en tres sustratos sólidos bajo la técnica de hidroponía y su incidencia en el rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad marglobe

Evaluation of two sources of fertilization, in three solid substrates under the Hydroponics technique and its impact on tomatoes' yield (*Lycopersicon esculentum* Mill) the Marglobe variety

Miranda Andrés, A.E.

Estudiante Tesista,

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Correo electrónico: esa.miranda84@gmail.com

Pérez Ascencio, M. A.

Departamento de Fitotecnia,

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Correo electrónico: maralfre29@gmail.com

Sánchez de Gracias, C.M.

Estudiante Tesista,

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Correo electrónico: scledymarilyn@yahoo.es

Martínez Sierra. B.

Departamento de Fitotecnia,

Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

Correo electrónico: balmoresierra@yahoo.com

Resumen

La investigación se realizó en la Colonia Bernal, San Salvador, departamento de San Salvador, durante los meses de noviembre de 2014 a marzo de 2015. Se evaluaron dos fuentes de fertilización, en tres sustratos sólidos bajo la técnica de hidroponía y su incidencia en el rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) variedad marglobe.

Para la nutrición del cultivo se empleó una solución nutritiva, la cual está hecha a base de sales minerales que contiene macroelementos y microelementos esenciales para el desarrollo de las plantas, comparado con un testigo fertilizante Blaukorn® (conocido como fertilizante azul granulado) en tres sustratos (escoria volcánica, fibra de coco y piedra pómez), bajo la técnica de hidroponía en un área total de 40 m² bajo condiciones de invernadero. Se utilizó el diseño simple completo al azar con un arreglo factorial de 2x3 con seis tratamientos y cinco repeticiones, se aplicó la prueba de contrastes ortogonales con un grado de significancia de 0.05. Los indicadores evaluados fueron: fenología del cultivo (etapas de su desarrollo), altura de la planta (m), diámetro del tallo (cm), número de flores por racimo, número de frutos por racimo, diámetro del fruto (cm), peso del fruto (g), grados Brix, dureza del fruto (Lb/cm), rendimiento por planta.

Los indicadores que presentaron valores significativos fueron: altura de planta (sales minerales en sustrato de fibra de coco (T3), valores promedios de 2.38 m), número de flores por racimos (sales minerales, produciendo mayor número de f. con una media igual 73.20, y Blaukorn® con media igual a 58.33), número de frutos por racimo (sales minerales y escoria volcánica con media de 5.73 unidades, Blaukorn® y fibra de coco con media igual a 4.07 unidades), diámetro de frutos (la fibra de coco produjo mayor diámetro con una media igual a 5.86, seguido de escoria volcánica con media de 5.50 y piedra pómez con media de 5.07), peso de fruto (la fibra de coco produjo mayor peso con una media igual a 106.29 seguido de escoria volcánica con media de 96.36 y piedra pómez con media de 95.55), grados Brix (las sales minerales produjeron mayor cantidad de grados Brix con media igual a 5.18, seguido del Blaukorn® con media igual a 4.72) y rendimiento por planta rendimiento por planta, los restantes no presentaron valores significativos. Para el análisis económico, se realizó el presupuesto parcial, beneficios netos y una tasa de retorno marginal.

Se concluye que el fertilizante a base de materias primas (sales minerales) resultó ser el mejor en el sustrato escoria volcánica con un rendimiento por planta de 59.80 unidades promedio, lo que representa un peso promedio de 6.33 kg, seguido de fibra de coco con 50.20 unidades y un peso de 5.30 kg, y piedra pómez con 45.70 unidades. Y Blaukorn® lo expresó en escoria volcánica con un 49.00 unidades en relación a los otros sustratos. En cuanto al número de fruto por planta la fuente sales minerales está produjo efectos significativos con 1.67 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn® y asimismo en los grados Brix, la fuente sales minerales

produjo efectos significativos con 0.46 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn®. Se determinó la fenología del cultivo bajo condiciones de invernadero, y se demostró que en un espacio reducido se obtiene mayor producción por unidad de área y mejor calidad en forma escalonada fuera de época de cosecha.

Palabras clave: tomate, soluciones nutritivas, Blaukorn®, fibra de coco, hidroponía.

Abstract

The research was conducted in Bernal Colonia, San Salvador, San Salvador Department, during the months of November 2014 to March 2015. Two sources of fertilization were evaluated in three solid substrates under the hydroponics technique and its impact on the performance of the Marglobe tomato variety. (*Lycopersicon esculentum* Mill)

For crop nutrition, nutrient solutions based on mineral salts were used. These solutions contained macro and micro elements, which are essential for plant development, compared to a witness fertilizer called Blaukorn® (known as blue granular fertilizer) In three substrates (cinder, coir and pumice) under the hydroponics technique in a total area of 40 m² under greenhouse conditions. A simple, complete and random design was used using a 2x3 factorial arrangement with six treatments and five repetitions, an orthogonal contrasts test was applied with a degree of significance of 0.05. The evaluated indicators were: crop phenology (development stages), plant height (meters), stem diameter (cm), number of flowers per bunch, number of fruit per bunch, fruit diameter (cm), fruit weight (g), Brix degree, hardness of the fruit (Lb / cm), and yield by plant.

The indicators which presented significant values were: plant height, (mineral salts coir substrate (T3), average values of 2.38 m) number of flowers per cluster, (mineral salts, producing greater number of f. with an average equal to 73.20, and Blaukorn® with mean equal to 58.33), number of fruits per bunch, (Mineral salts and volcanic slag with average 5.73 units, Blaukorn® and coir with mean equal to 4.07 units) fruit diameter, (Coconut fiber produced larger diameter with an average equal to 5.86, followed by half of cinder and pumice 5.50 with a mean of 5.07), fruit weight, (Coconut fiber produced greater weight with an average equal to 106.29 followed by cinder with mean 96.36 and pumice with average 95.55) Brix degree, (Minerals produced more Brix degrees with mean equal to 5.18, followed by Blaukorn® with mean equal to 4.72) and yield per plant, the remaining had no significant values or output. For the economic analysis, a partial budget, net benefits and a marginal rate of return was made.

It is concluded that a fertilizer based on raw materials (mineral salts) turned out to be the best in the substrate cinder yield per plant with a 59.80 average units, representing an average weight of 6.33 kg, followed by coir with 50.20 units and weighing 5.30 kg, and pumice with 45.70 units respectively. And Blaukorn® expressed it in cinders with 49.00 units in relation to other substrates respectively.

As for the number of fruit per plant the source mineral salts produced significant effects With 1.67 units more with respect to the source Blaukorn® and also in the brinx grade. The mineral salts source produced significant effects with 0.46 more units, with respect to the Blaukorn® source. It was determined that the phenology crop under greenhouse conditions showed that in a reduced space a higher production per unit by area and better quality in a ladder type of technique and out of the harvest season was obtained.

Key words: Tomato, nutrient solutions, Blaukorn®, coconut fiber, hydroponics.

Introducción

En la actualidad más del 60% de la población vive en la zona urbana, lo cual implica una explotación excesiva de los recursos naturales ya que existe un aumento acelerado de la demanda de alimentos. Por lo tanto la agricultura urbana, puede contribuir a la seguridad alimentaria, aumentando la cantidad de alimentos disponibles para las familias y puede aumentar la variedad general y el valor nutritivo de los alimentos disponibles (Gordillo Anda, s.f.). Razón por la cual en El Salvador, la tenencia de la tierra, la asistencia técnica limitada y el bajo nivel tecnológico, entre otras, han sido causas para que en aquellas áreas en que se cultiva tomate, bajo un sistema de producción convencional, se genere bajo rendimiento, motivo que ha llevado a que muchos productores abandonen el rubro; razón por la cual, se busca obtener mayor rendimiento y calidad de los frutos.

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar dos formulaciones fertilizante soluble sales minerales y solido Blaukorn® aplicadas en tres sustratos piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco implementando la técnica de hidroponía bajo condiciones controladas en el área urbana con la finalidad de obtener mayor rendimiento del tomate variedad marglobe bajo la técnica de hidroponía.

Los nutrientes para las plantas cultivadas en HHP son suministrados en forma de soluciones nutritivas que se consiguen en el comercio agrícola. Las soluciones pueden ser preparadas por los mismos cultivadores cuando ya han adquirido experiencia en el manejo de los cultivos o tienen áreas lo suficientemente grandes como para que se justifique hacer una inversión en materias primas para su preparación. Alternativamente, si las mismas estuvieran disponibles en el comercio, es preferible comprar las soluciones concentradas, ya que en este caso sólo es necesario disolverlas en un poco de agua para aplicarlas al cultivo. Las soluciones nutritivas concentradas contienen todos los elementos que las plantas necesitan para su correcto desarrollo y adecuada producción de raíces, bulbos, tallos, hojas, flores, frutos o semillas. (Marulanda, 2003.).

El cultivo hidropónico engloba todo cultivo que completa su ciclo vegetativo sin

la necesidad de emplear suelo, suministrando la nutrición mediante una solución que contiene los nutrientes esenciales para su desarrollo (Maroto Borrego 2000). Además presentan grandes ventajas sobre los cultivos tradicionales, tales como: mejor control de los factores externos (condiciones de clima), plagas, enfermedades, eficiencia en la dosificación de nutrientes, disminuye el estrés de la planta, mejor control de pH, eficiencia en el uso de agua, oxigenación en las raíces; (Jones y Mullins, citado por Joyar Tiznado y Barakat Larios, 1994).

Un sustrato es un medio inerte que cumple dos funciones esenciales: anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles respirar, contener agua y los nutrientes que la planta necesita. Los gránulos de los sustratos deben permitir la circulación de aire y la solución nutritiva. Se consideran buenos aquellos que permitan la presencia entre 15 y 35 por 100 de aire y entre 20 y 60 por 100 de agua. (Mora 1999).

En cuanto al efecto de los fertilizantes en los sustratos, con la implementación de las nuevas formas de producir alimento, bajo condiciones protegidas, permiten utilizar fuentes de fertilización en relación a los métodos convencionales de fertilización. En las fuentes de fertilización hidrosolubles existen las formuladas en base a las etapas fenológicas del cultivo y con la obtención de las sales minerales con las cuales se elaboran las soluciones concentradas, previas al conocimiento de la química aplicada, ya que se calcula el MOL de cada materia prima (sales minerales) para tener una adecuada solución concentrada. Es necesario destacar que no existe una única fórmula para nutrir los cultivos hidropónicos, la mejor fórmula es la que cada uno ensaye y le resulte aceptable.

Materiales y Métodos

Ubicación: Duración, Unidades Experimentales.

El establecimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), se realizó en la Colonia Bernal, San salvador, departamento de San Salvador, durante los meses noviembre de 2014 a marzo de 2015. Siendo sus coordenadas geográficas, las siguientes: Latitud 13°43'13.72" N y Longitud 89° 13'5.07" W, las condiciones climáticas fueron: temperatura promedio 24.75°C, precipitación 1,652 mm, humedad relativa del 70%, y una radiación solar promedio de 5.8 kw/h/m², con 10 horas de sol promedio al día y una altura de 700 msnm (SNET, 2013).

Metodología de campo del invernadero

La investigación se realizó bajo una estructura tipo invernadero con dos caídas de agua. Las dimensiones fueron de 5 metros de ancho por 8 metros de largo con un área total de 40 m², altura lateral de 2.50 metros y central de 3 metros. Los materiales de construcción de forma artesanal fueron: postes de bambú, reglas pachas y costaneras.

Los materiales de recubrimiento en la parte superior se utilizó plástico transparente UV y las partes laterales con malla agril.

Contenedores: Se utilizaron cajas plásticas con dimensiones de 0.46 m de largo, 0.28 m de ancho y 0.15 m de alto. La base interior de las cajas se cubrió con plástico color negro; con el propósito de evitar la pérdida del sustrato de las cajas.

Establecimiento y manejo del cultivo

Sustratos sólidos utilizados

Piedra pómez

Escoria volcánica

Fibra de coco

Preparación de sustratos

Tamizado de sustratos. Se utilizó zaranda calibre 3 mm, 6 mm y 12 mm, con el propósito de obtener granulometrías diferentes de piedra pómez y escoria volcánica. La fibra de coco cuenta con una granulometría adecuada para hidroponía.

Llenado de cajas. Para el caso de la escoria volcánica y piedra pómez, al interior de la caja se colocó tres capas: la primera correspondió a la granulometría de 12 mm de diámetro (espesor de la capa, 3 cm de altura); en la segunda capa, se colocó la granulometría de 6 mm de diámetro (capa de 7 cm de altura); y la tercera granulometría fue de 3 mm de diámetro (capa superior de 3 cm de altura). La fibra de coco se utilizó tal como la produce el proveedor.

Desinfección de sustratos. Se realizó el método físico, el cual consistió en aplicar dos galones de agua hirviendo por cada metro cuadrado.

Semilla utilizada. Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad marglobe, es una variedad de crecimiento indeterminado con una altura de 1,5-1,7 metros. El tallo principal es un eje, con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpodial) e inflorescencias. Los frutos globosos de tamaño grande y superficie lisa, pulpa muy carnosa y jugosa. Baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos hasta 600 gramos.

Prueba de germinación. Se realizó con 20 semillas de tomate variedad marglobe al interior de una caja Petri, obteniendo un 80% de germinación en las semillas, en un periodo de cuatro a cinco días.

Preparación de plantines. Se utilizaron bandejas de polietileno de color negro de 200 celdas sobre las cuales se colocó el sustrato a base de fibra de coco. Se depositó una semilla por celda a una profundidad de 0.05 m. Seguidamente se cubrió con una capa delgada del mismo sustrato y finalmente se realizó el riego respectivo. Las bandejas se colocaron en un propagador.

Trasplante. El trasplante se realizó a los 22 días después de la siembra. Previo a esta labor se realizó un riego en las cajas para mantener la humedad a capacidad de campo. Se colocaron dos plántulas por caja distanciadas a 0.25 m entre plantas y para el distanciamiento entre surco se tomó de base el centro de cada caja, donde estaba cada tallo de las plantas, lo que significó 0.80 m entre surco, en los laterales a 0.90 m. Por otra parte, si expresamos el resultado por m² en la investigación se empleó una densidad de siembra de tres plantas por m².

Nutrición de la planta. Para elaborar la solución concentrada fue indispensable calcular y pesar las cantidades necesarias de sales minerales para un volumen de agua determinado.

Para un ciclo de cultivo de 150 días, la programación de fertirriego en hidroponía se detalla en el cuadro 1. En el tanque A se colocan los macroelementos y en el B los microelementos. De esta solución se elaboró la solución nutritiva, con un volumen de 10 ml. de solución concentrada por cada litro de agua que se aplicó a las plantas. Las sales minerales concentradas y balanceadas son químicamente estas las más exactas, y las que requiere el cultivo ya que es una más completa ya que lleva macro y microelementos en forma de quelatos.

Para la aplicación del Blaukorn® o abono complejo granulado con magnesio, azufre y microelementos de coloración azul 12-8-16(3-25), en el tratamiento testigo T4, T5, T6, (cuadro 2) se agregó de 191 g/caja, fraccionado en 19 aplicaciones: una de 8 g al trasplante; 17 aplicaciones de 10 g por semana y la última de 13 g a la semana 19, se aplicó disuelto en agua. Un día después del trasplante se inició el programa de fertilización, se consideró el pH de la solución nutritiva con un valor de 6.00 y la conductividad eléctrica del agua con valores entre 1.00 a 1.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, los cuales fueron distribuidos según la etapa fenológica del cultivo iniciando con 1.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ es las primeras tres semanas, 1.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ desde la cuarta a la octava semana y 1.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ desde la octava hasta la última semana.

Riego. El sistema de riego por goteo bajo la técnica de fertirriego, se controló por un sistema eléctrico de bombeo a través de dos timer unido a un tanque de agua de 24 litros, que se encargó de distribuir la solución nutritiva hacia cada uno de 60 goteros auto compensados con una capacidad de descarga de cuatro litros por hora de acuerdo a las diferentes etapas fenológicas del cultivo. La programación fue de cuatro ciclos al día para las primeras tres semanas, cada ciclo se activó por un tiempo máximo de dos minutos. Después del trasplante y de la octava semana en adelante fue una programación de ocho ciclos, se activó por un tiempo máximo de tres minutos. De la cuarta a la octava semana en adelante fue una programación de cuatro ciclos, se activó por un tiempo máximo de cuatro minutos. El segundo timer controló los nebulizadores con una descarga de 0.51 litro/minuto. Se activaron cada cinco minutos con una duración de cinco segundos con una descarga de agua de 42.5 ml.

Tutoreo. Se realizó utilizando postes de bambú con una altura de 3 m, enterrándolos a una profundidad de 0.5 m. con un distanciamiento entre tutores de 2 m. Se colocó la primera hilada de alambre galvanizado calibre 18, a una altura de 0.20 m del nivel del sustrato. Se realizó 20 días después del trasplante. Las siguientes hilada fueron colocadas a 0.30 m respectivamente.

Podas.

Poda sanitaria: consistió en la eliminación de aquellas hojas basales que estaban en contacto directo con el sustrato, hojas con madures fisiológica; evitando así focos de infección y mejorando la ventilación e iluminación de las plantas.

Poda de producción: Es una práctica imprescindible para las variedades de crecimiento indeterminado. Se realiza días después del trasplante con la aparición de los primeros tallos laterales, que serán eliminados, al igual que las hojas más viejas, mejorando así la aireación.

Monitoreo de plagas y enfermedades: Se llevó a cabo un monitoreo semanalmente en relación a la fitosanidad de las plantas.

Cosecha: Se realizó a partir de los 70-75 días después del trasplante, haciéndose manualmente dos veces por semana, cosechando todos aquellos frutos que presentaron una tonalidad rojiza (sazones) y rojo (maduros).

Metodología Estadística

Diseño estadístico: Se utilizó el diseño simple completo al azar con un arreglo factorial de 2x3 con seis tratamientos y cinco repeticiones. Con un nivel de confianza del 5%

Factores en estudio: sustratos piedra pómez, escoria volcánica, fibra de coco y dos fuentes de fertilización sales minerales y Blaukorn®.

Distribución espacial de los tratamientos en campo: Se realizó el sorteo al azar y los tratamientos se distribuyeron en la infraestructura.

Prueba estadística. Se aplicó la prueba de contrastes ortogonales con un grado de significancia de 0.05. C1: T1; T4 C2: T2; T 5. C3: T3; T6.

Variables evaluadas:

Y1= altura de la planta (m): Se midió desde la parte basal del tallo a nivel del sustrato hasta el ápice de la planta, utilizando una cinta métrica plástica.

Y2= diámetro del tallo (cm): Este se midió a una distancia de 15 cm desde el nivel del sustrato, utilizando el calibrador vernier (pie de rey).

Y3= número de flores por racimo: Se contaron todas las flores que tenía cada racimo y se llevó un registro, el conteo se hizo cada semana.

Y4= número de frutos por racimo: Los frutos se contaron por racimo cada quince días, a partir del primer conteo de flores que se realizó.

Cuadro1. Solución hidropónica estándar concentrada para tomate (solución madre), en 1000 litros de agua por tanque.

	Fórmula y nombre del fertilizante	Cantidad de fertilizante por 1000 lt de agua
Tanque A	Nitrato de calcio	72.5 Kg
	Fe – EDTA Quelato de Hierro	1.54 Kg
	KNO ₃ Nitrato de Potasio	31.73 Kg
Tanque B	KNO ₃ Nitrato de Potasio	53.92 Kg
	KH ₂ PO ₄ Monofosfato de Potasio	11.8 Kg
	NH ₄ H ₂ PO ₄ Fosfato Monoamónico	13.1 Kg
	MgSO ₄ 7H ₂ O sulfato de Magnesio heptahidratado	26.5 Kg
	MnSO ₄ H ₂ O sulfato de Manganeso monohidratado	217 g
	ZnSO ₄ 7H ₂ O sulfato de Zinc heptahidratado	89 g
	CuSO ₄ 5H ₂ O sulfato de Cobre pentahidratado	20 g
	H ₃ BO ₃ ácido Bórico	144 g
	Na ₂ MoO ₄ molibdato de sodio	13 g
Tanque C	Ácido nítrico	33 l

Cuadro 2. Tratamientos en estudio.

Tratamientos	Descripción
T ₁	Piedra pómez con sales minerales
T ₂	Escoria volcánica con sales minerales
T ₃	Fibra de coco con sales minerales
T ₄	Piedra pómez con Blaukorn®
T ₅	Escoria volcánica Blaukorn®
T ₆	Fibra de coco con Blaukorn®

Y5= diámetro del fruto (cm): Se realizó después de cada corta, utilizando el calibrador tipo vernier, se midieron los lados laterales del fruto obteniendo de esta manera su diámetro exterior.

Y6= peso del fruto (g): Cada fruto se pesó en una balanza digital.

Y7= grados Brix: Se colocó una gota del jugo del fruto en un refractómetro previamente calibrado.

Y8= dureza del fruto (Lb/cm): Utilizamos un penetrometro, el cual se coloca en el fruto y se realiza una fuerza moderada para poder penetrar el fruto.

Y9= rendimiento por planta. Se hizo la sumatoria total de los frutos, de cada uno de los tratamientos (Lb)

Metodología económica:

Para el análisis económico de la investigación, se aplicó el método propuesto por el Centro de Investigación del Maíz y Trigo (CIMMYT), el cual consiste en un presupuesto parcial, análisis de dominancia y tasa de retorno marginal, que se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los ingresos, costos y los beneficios de los diferentes tratamientos alternativos (tecnologías).

Resultados y Discusión

Altura de la planta de tomate variedad marglobe. Los datos promedio de altura de planta (m), para cada una de las repeticiones obtenidas se detallan en la figura 1.

En relación a los términos estadísticos la altura de la planta expresa variabilidad en el comportamiento de los tratamientos. La combinación sales minerales con fibra de coco (T3), produjo las mayores alturas de plantas con una media igual 2.38 m, seguidos de los tratamientos T2, T1, T5, T4 y T6 con medias iguales a 2.10, 2.07, 1.74, 1.74, y 1.60 m.

Joyar Tiznado, y Barakat (1994). En la etapa vegetativa la densidad de 6 plantas por metro cuadrado, obtiene una altura promedio de 2.5 m inferiores a densidades mayores de 3.10 m, la nutrición fue uniforme para cada planta, por lo que la diferencia probablemente se deba al tipo de variedad.

.En esta investigación al utilizar las diferentes combinaciones entre las fuentes de fertilización y los sustratos, se obtuvo que las mejores alturas de las plantas, se producen al ser fertilizadas con sales minerales en sustrato de fibra de coco (T3), obteniendo valores promedios de 2.38 debido a que la solución contiene mejores componentes nutricionales que el Blaukorn®.

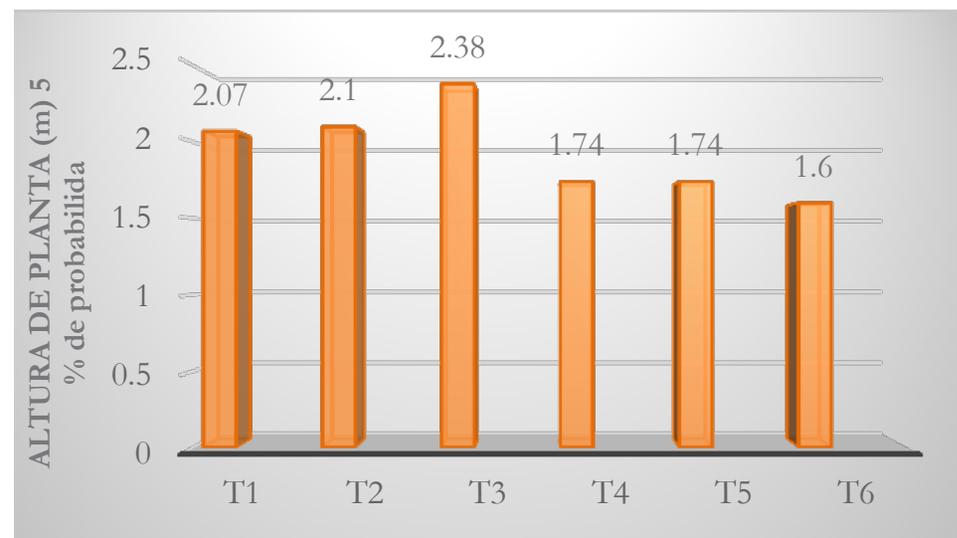


Figura 1. Interacción de la fuente de fertilización y sustratos en relación a la altura de la planta de tomate, bajo la técnica de hidroponía. T1= Piedra pómez con sales minerales; T2= Escoria volcánica con sales minerales; T3=Fibra de coco con sales minerales; T4= Piedra pómez con Blaukorn®; T5= Escoria volcánica con Blaukorn®; T6= Fibra de coco con Blaukorn®.

Diámetro de los frutos de tomate variedad marglobe

El sustrato fibra de coco produjo efectos significativos, con respecto a los sustratos escoria volcánica y piedra pómez en el diámetro de frutos, tal como se observa en la figura 2.

Desde el punto de vista Estadístico hay variabilidad en el comportamiento de los sustratos es decir en su efecto sobre el diámetro de frutos. El sustrato fibra de coco está produciendo mayor diámetro de frutos de tomate variedad marglobe con una media igual a 5.86. Seguido de los sustratos escoria volcánica con una media de 5.50 y piedra pómez con media de 5.07. tal como se muestra en el figura 2.

Joyar Tiznado, y Barakat Larios. 1994. En su investigación el promedio obtenido de los frutos se encuentra dentro del tipo medio (diámetro transversal entre 4.0 y 7.9 cm), al compararlos con los de DIVAGRO- FUSADES (1988), eran menor a los que evaluaron en la localidad de Zapotitán, 13 variedades de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) las cuales presentaron mejores resultados (Caramelo, Umayá, fresh pak y luxor), con diámetros de fruto de 7.6, 8.0, 9.5y 10 cm.

Sin embargo esta investigación los promedios de diámetros obtenidos se encuentran en los rangos anteriormente mencionados; se puede afirmar que las sales aplicadas a fibra de coco producen mayor diámetro promedio en los frutos que en piedra pómez y escoria volcánica.

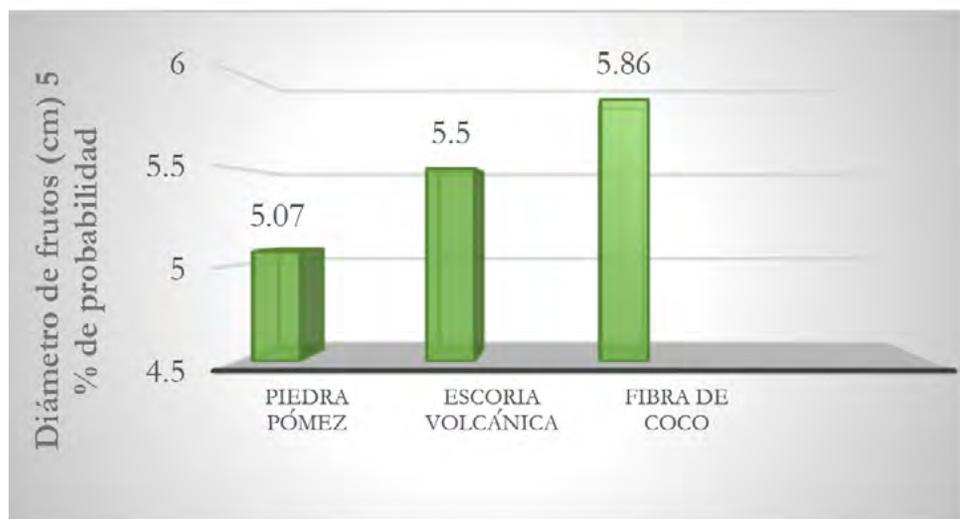


Figura 2. Diámetro promedio de frutos de tomate en cultivo hidropónico (sustratos).

Número de flores por racimo en plantas de tomate variedad marglobe

Datos promedio de número de flores por planta según las fuentes de fertilización, obtenidos se detallan en la Figura 3.

En relación a la estadística hay variabilidad en el comportamiento de las fuentes, es decir en su efecto sobre el número de flores por planta con una probabilidad de 0.05. La fuente sales minerales, está produciendo mayor número de flores con una media igual 73.20, seguido del Blaukorn® con una media igual a 58.33.

Esto puede relacionarse con el factor sales minerales ya que son más complejas y le aportan a la planta más elementos que son esenciales para su buen desarrollo, no así el Blaukorn® que no contiene todos esos elementos en su composición.

En relación a la estadística hay variabilidad en el comportamiento de las fuentes, es decir en su efecto sobre el número de flores por planta con una probabilidad de 0.05. La fuente sales minerales, está produciendo mayor número de flores con una media igual 73.20, seguido del Blaukorn® con una media igual a 58.33.

Esto puede relacionarse con el factor sales minerales ya que son más complejas y le aportan a la planta más elementos que son esenciales para su buen desarrollo, no así el Blaukorn® que no contiene todos esos elementos en su composición.

Número de frutos por racimo en plantas de tomate variedad marglobe

La fuente sales minerales produjeron efectos significativos con una probabilidad de 0.05, con 1.67 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn® en el número de frutos por racimo (Fig. 4)

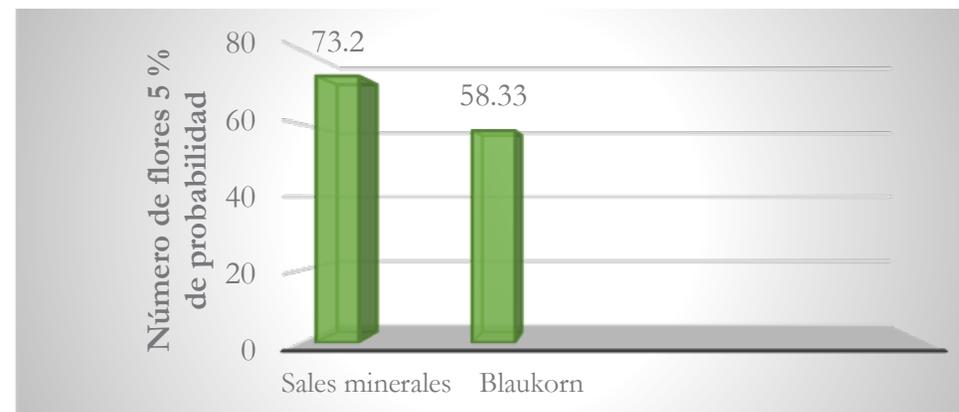


Figura 3. Número de flores por planta de tomate en cultivo hidropónico.

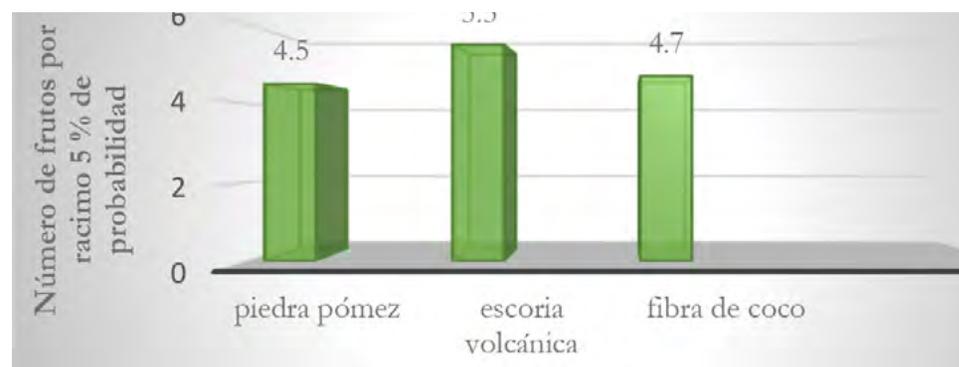


Figura 4: Número de frutos por racimo de tomate en cultivo hidropónico (sustratos).

Estadísticamente hay variabilidad en el comportamiento de los sustratos es decir en su efecto sobre el número de frutos por racimo. El sustrato escoria volcánica está produciendo mayor número de frutos por racimo con una media igual a 5.50. Seguido de los sustratos fibra de coco y piedra pómez con medias iguales a 4.70 y 4.50 con una probabilidad de 0.05, tal como se muestra en la figura 4.

Zarate Nicolás (2007) en su investigación producción de tomate hidropónico con sustratos bajo invernadero; menciona que utilizando fibra de coco + SUN 7705(variedad), y obtuvo un promedio de 8.5 frutos por racimos, en la fase inicial de producción de la planta

Sin embargo en esta investigación, el número de frutos por racimo fueron inferiores a los datos antes mencionados. En la combinación fuentes de fertilización y sustratos las sales minerales y escoria volcánica se obtuvo una media de 5.73 unidades por racimo, seguido de la combinación Blaukorn® y fibra de coco con una media igual a 4.07 unidades por racimo.

Peso de frutos en plantas de tomate variedad marglobe

En términos estadísticos los factores fuentes de fertilización (sales minerales y Blaukorn®) y los sustratos (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco) produjeron efectos significativo con una probabilidad del 0.05.

Hay variabilidad desde el punto de vista estadístico en el comportamiento del factor sustratos es decir en su efecto sobre el peso promedio de frutos. El sustrato fibra de coco está produciendo mayor peso de frutos de tomate con una media igual a 106.29. Seguido de los sustratos escoria volcánica con una media de 96.36 y piedra pómez con media de 95.55. (Fig. 5)

Wittwer *et al.* (1979), citado por Joyar Tiznado y Barakat (1994), reporta rangos en peso de fruto de 130gr a 150 gr, sin embargo Vilanova (1992), obtuvo rangos de 110 gr a 130 g, para la variedad floradade bajo hidroponía; Citado también por Joyar Tiznado y Barakat (1994); donde menciona que los resultados son similares a los de la investigación, lo que comprueba que el peso promedio por fruto está relacionado por la variedad y factores ambientales.

Sin embargo, en esta investigación los promedios de pesos obtenidos por fruto se encuentran en los rangos anteriormente mencionados; se puede afirmar que los pesos cambian según la variedad que se utilice; comprobando de esta manera que la variedad Marglobe se obtuvo peso de hasta 310 gr, utilizando sales minerales aplicadas a fibra de coco ya que este produjo mayor peso promedio en los frutos que piedra pómez y escoria volcánica.



Figura 5. Peso promedio de frutos de tomate en cultivo hidropónico (sustratos).

Grados Brix en plantas de tomate variedad marglobe

El factor fuentes (sales minerales) produjo efectos significativos con una probabilidad de 0.05, con 0.46 unidades más, con respecto a la fuente Blaukorn®, en los grados Brix.

Estadísticamente hay variabilidad en el comportamiento de las fuentes, es decir en su efecto sobre los grados Brix de frutos. Las sales minerales, están produciendo mayor cantidad de grados Brix con una media igual 5.18, seguido del Blaukorn® con una media igual a 4.72 (Fig. 6)

Santiago, J. *et al.* (1998). En su investigación menciona que de acuerdo a los grados Brix, el genotipo híbrido bingo presento un valor de 5.0° Brix. En general los frutos de todos los genotipos arrojaron un valor arriba de 4.0° Brix, a excepción de la de la variedad flodade que presento un valor de 3.9° lo que pudiera ser menor atractivo este genotipo, a pesar de que ocupa el segundo lugar en rendimiento por planta.

En la investigación las plantas que obtuvieron mayor porcentaje de grados Brix fueron a las que se les aplico sales minerales con valor de 5.18°, mientras que con Blaukorn® se obtuvo datos de 4.76°. Esto puede estar relacionado con la cantidad del elementos y la concentración de las sales minerales, en relación con el Blaukorn® ya que las sales permiten la mejor formación de azúcares en los frutos.

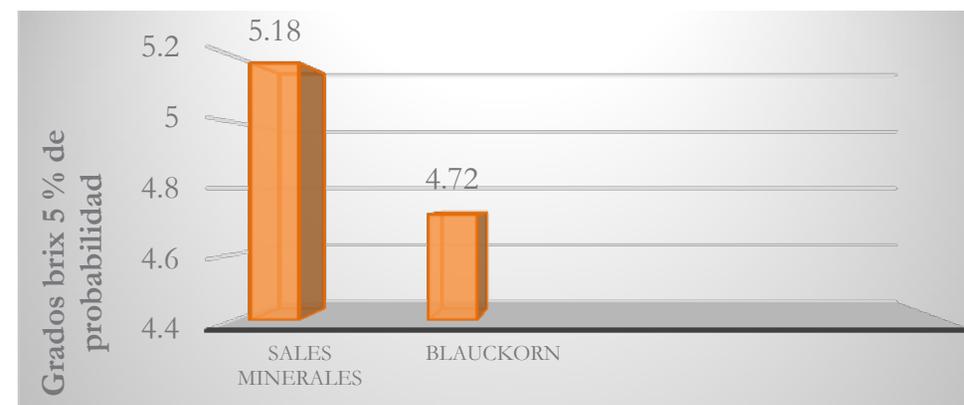


Figura 6. Grados Brix de frutos de tomate en cultivo hidropónico.

Rendimiento por planta en plantas de tomate variedad marglobe

En relación a los términos estadísticos hay variabilidad en el comportamiento del factor (sustrato), es decir en su efecto sobre el rendimiento de frutos por planta. El sustrato escoria volcánica está produciendo mayor rendimiento de frutos por planta de tomate con una media igual a 59.80. Seguido de los sustratos fibra de coco con una media de 50.20 y piedra pómez con media de 45.70, (Fig. 7)

Baldomero H. Zarate Nicolás (2007) en su investigación producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Hidropónico con sustratos bajo invernadero; señala que la competencia que se establece entre los frutos de un mismo racimo tiende a disminuir el tamaño del fruto por inflorescencia (lo cual está estrechamente relacionado con el peso medio del fruto), siendo pequeños los del extremo y más aún en los últimos racimos de la planta.

En la investigación se reportaron 44 frutos promedio por planta en sustrato fibra de coco.

Sin embargo en esta investigación los promedios de rendimiento se encuentran arriba de los rangos mencionados anteriormente; siendo el mejor escoria volcánica con un 59.80 unidades promedio, seguido de fibra de coco con un 50.20 y piedra pómez con 45.70.

Por otra parte si expresamos el resultado por m² en la investigación se empleó una densidad de siembra de tres plantas por m² obtenemos un rendimiento total de 180 frutos lo que representa un peso promedio de 20.50 kg/m².

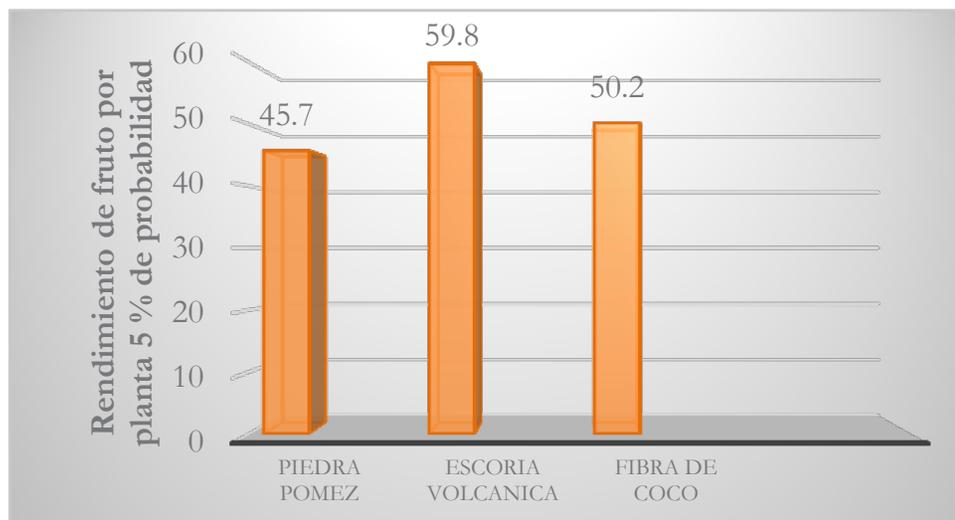


Figura 7. Rendimiento de frutos por planta de tomate en cultivo hidropónico (sustrato).

Fenología del cultivo

La fenología del cultivo inicia cuando emerge y pasa a plántula en el semillero por un espacio de tres a cuatro semanas (20 a 25 días) y cuando tiene una altura adecuada o el primer par de hojas se trasplanta, pasando su etapa vegetativa por unos 30 a 35 días; a los 50 a 60 días inicia la floración. La etapa reproductiva se extiende por unos 32 a 40 días, llegando a la cosecha, que se inicia 65 a 75 días después del trasplante, (Fig. 8)

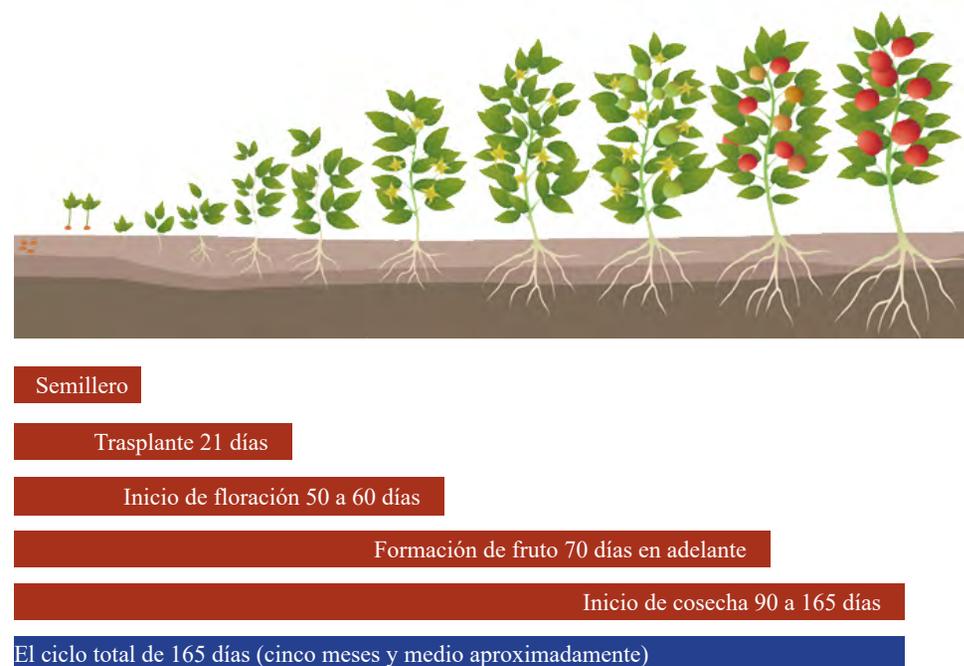


Figura 8. Fenología del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad marglobe, en invernadero utilizando la técnica de hidroponía en el año 2014-2015

Análisis económico

Presupuesto parcial

El presupuesto parcial muestra en forma organizada los datos experimentales de los costos que varían y los beneficios netos de los tratamientos alternativos de las diferentes combinaciones de fuentes (sales minerales, Blaukorn®) y sustratos (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco), en el cultivo hidropónico de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) variedad Marglobe, (Cuadro 3).

Cuadro 3. Presupuesto parcial del rendimiento del cultivo de tomate variedad Marglobe, bajo la técnica de hidroponía.

Especificaciones	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Rendimiento total (unidades)	275	353	307	182	245	189
Precio de venta de tomates (\$)	0.40	0.40	0.40	0.30	0.30	0.30
Beneficio bruto total (\$)	110	141.2	122.8	54.6	73.5	79.2
Costos que varían (\$)						
Piedra pómez (saco)	3.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00
Escoria volcánica (cubeta)	0.00	10.50	0.00	0.00	10.50	0.00
Fibra de coco (saco)	0.00	0.00	9.00	0.00	0.00	9.00
Sales minerales (g)	1.11	1.11	1.11	0.00	0.00	0.00
Blaukorn® (g)	0.00	0.00	0.00	2.10	2.10	2.10
Fertilizante foliar	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fungicida	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
Mano de obra para la aplicación de riego y aplicación de sales minerales.	4.16	4.16	4.16	4.16	4.16	4.16
Mano de obra para la aplicación de Blaukorn® y fertilizante foliar.	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16
Mano de obra por aplicación de fungicida	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Total de costos que varían(\$)	17.18	24.68	23.18	18.17	25.67	24.17
Beneficios netos (\$)	86.82	116.52	99.62	36.43	47.83	55.03

En el presupuesto parcial el beneficio bruto es el resultado del producto del rendimiento medio obtenido en unidades de tomate cosechados por tratamiento multiplicados por el precio unitario al que lo adquiere la población en los diferentes mercados y supermercados.

Análisis de dominancia

En el cuadro 4 se presentan los costos que varían, de menor a mayor con su respectivo beneficio neto para cada uno de los tratamientos, y así determinar los tratamientos que presentan efecto de dominancia.

También se puede observar las diferentes combinaciones de las fuentes (sales minerales, Blaukorn®) y los sustratos (piedra pómez, escoria volcánica y fibra de coco), bajo la técnica de hidroponía en el cultivo de tomate. Resultaron dominados los tratamientos T4 y T6 debido a que presentaron beneficios netos muy bajos y a la vez negativos (Ulloa, JA 2010)

El análisis de dominancia a excluido a tres tratamientos alternativos indicando que la curva de beneficio neto (Fig. 9) muestra los puntos de los tratamientos T1, T3 y T2, los cuales no son dominados dentro del análisis de dominancia lo que significa al aplicar las diferentes combinaciones de fuente y sustratos bajo la técnica de hidroponía se puede tener un mayor margen de rentabilidad.

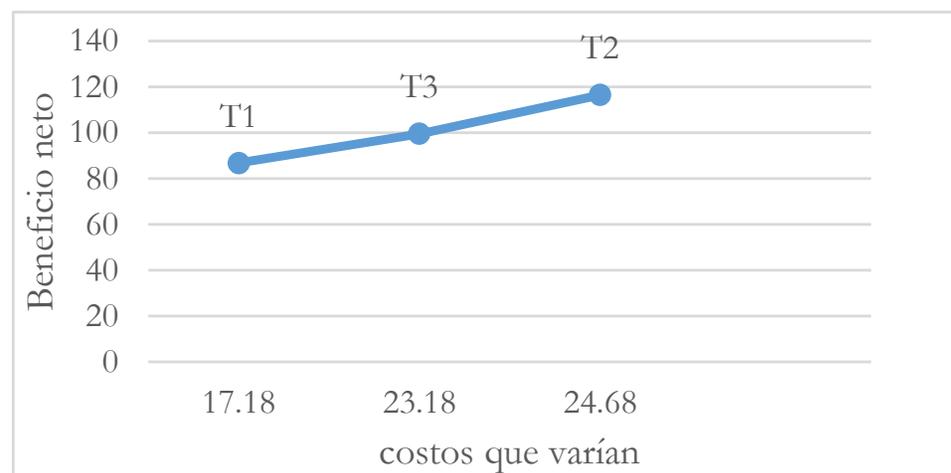


Figura 9. Curva de beneficio neto

Cuadro 4. Análisis de dominancia para los tratamientos en estudio.

Tratamientos	Costos que varían (\$)	Beneficio neto (\$)	Dominancia
T1: Piedra pómez con sales minerales	17.18	86.82	-
T4: Piedra pómez con Blaukorn®	18.17	36.43	D
T3: Fibra de coco con sales minerales	23.18	99.62	-
T6: Fibra de coco con Blaukorn®	24.17	55.03	D
T2: Cascajo volcánico con sales minerales	24.68	116.52	-
T5: Cascajo volcánico Blaukorn®	25.67	47.83	D

Tasa de retorno marginal

Se presentan los tratamientos alternativos que determinan la tecnología a la que puede optar las personas basándose en la tasa de retorno marginal para cultivar tomate bajo la técnica de hidroponía empleando las diferentes combinaciones de fuentes y sustratos (Cuadro 5). En el tratamiento (T3), por cada dólar invertido al cambiar de tecnología el agricultor espera ganar el dólar invertido más \$ 2.13 adicional. Al cambiar del tratamiento T3 (fibra de coco con sales minerales) al tratamiento T2 (escoria volcánica con sales minerales), una alternativa que vale la pena para el productor ya que puede esperar obtener por cada dólar invertido \$ 11.26 adicional.

Para la determinación de los costos por m² o de cuanto se podría emplear por área, se tiene que tener claro los costos del capital invertido, en este caso se la inversión es de \$727.91, esto dividido entre 60 m² que es el área total del invernadero, nos da un total de \$12.13 por cada m² y tenemos un rendimiento de 20.50 kg/m² multiplicado por el precio promedio de mercado de \$ 3.51 kg, nos da un rendimiento total de \$ 72 m² lo que significa que el productor obtendrá \$ 59.87 más por cada m², de acuerdo a al siguiente fórmula:

Fórmula para calcular la tasa de retorno marginal. (TRMg).

$$\text{TRMg} = \frac{\Delta \text{BN}}{\Delta \text{CV}} \times 100 = \frac{\text{BN2} - \text{BN1}}{\text{CV2} - \text{CV1}} = \%$$

$$\text{TRMg} = \frac{99.62 - 86.82}{23.18 - 17.18} \times 100 = \frac{12.80}{6} = 213.33\%$$

$$\text{TRMg} = \frac{116.52 - 99.62}{24.68 - 23.18} \times 100 = \frac{16.9}{1.5} = 1126.66\%$$

Cuadro 5. Tasa de retorno marginal.

Tratamientos	Costos que varían (\$)	Costo marginal (\$)	Beneficio neto (\$)	Beneficio neto marginal (\$)	*TRM (%)
T1: Piedra pómez con sales minerales	17.18		86.82		
		6.00		12.8	213.33%
T3: Fibra de coco con sales minerales	23.18		99.62		
		1.5		16.9	1126.66%
T2: Cascajo volcánico con sales minerales	24.68		116.52		

Conclusiones

La mejor fuente de fertilización en combinación con los sustratos; las sales minerales presentaron los mejores resultados en todas las variables a diferencia del Blaukorn®.

La fibra de coco presentó los mejores resultados en altura de planta, número de flores por planta, peso de frutos y dureza de fruto, en relación a las fuentes de fertilización.

Los mejores rendimientos por planta se obtuvieron en el T2 con un valor de 70 frutos, así como también presentó el mayor beneficio neto obtenido un total de \$116.52, superando al resto de los tratamientos en estudio.

Para el área urbana la técnica de hidroponía, bajo condiciones de invernadero es una alternativa para la producción de tomate.

Se obtiene un mejor aprovechamiento de los insumos agrícolas bajo condiciones de invernadero.

Recomendaciones

Utilizar sales minerales como fuente de fertilización, ya que produce incrementos significativos en cuanto la producción de frutos.

Se recomienda el uso del sustrato fibra de coco ya que este presentó los mejores resultados en cuanto a los otros sustratos en estudio, para la producción en contenedores bajo sistemas hidropónicos.

Implementar la técnica de hidroponía bajo condiciones de invernaderos, ya que se tiene un mejor control de las condiciones climáticas que afectan los cultivos del sistema tradicional.

Bibliografía

- CENTA-KOIKA (Agencia de Cooperación internacional de Korea). 2010. Desarrollo de tecnología hidropónica de hortalizas bajo invernadero. San Salvador, SV. 31 p
- CIMMYT 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT.
- Gordillo Anda, G de. s.f. La agricultura urbana y peri urbana: Alternativas productivas para la seguridad alimentaria (en línea). FAO. Consultado el 12 de octubre de 2012. Disponible en: www.inforural.com.mx/IMG/pdf/Agricultura_urbana.pdf
- Joyar Tiznado, FM de; Barakat Larios, MB. 1994. Evaluación de densidades y variedades de tomate de crecimiento determinado en cultivo hidropónico, utilizando escoria volcánica como sustrato. Tesis Ing. Agroindustrial. San Salvador, SV, universidad Doctor José Matías Delgado. p 130
- Maroto Borrego, JV, 2000. Elementos de horticultura general. Especialmente aplicadas al cultivo de plantas de consistencia herbácea. Madrid, ES. 424 p
- Marulanda, C.2003. La huerta hidropónica popular: curso audiovisual. Santiago, CL, FAO. 132 p.
- Mora, L.1999. Sustratos para cultivos sin suelo o hidroponía. INAGRO, San José, CR. 100p.
- Santiago, j; Mendoza, M; Borrego, F. 1998. Evaluación de tomate *Lycopersicon esculentum*, MILL en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. Saltillo Coahuila. Mx. 65 p
- SNET (Servicio Nacional De Estudios Territoriales). 2013. Información Climática General. (en línea). San Salvador SV. Consultado el 13 de junio del 2013. Disponible en <http://www.snet.gob.sv/meteorologia/climaelsal.htm>
- Ulloa Erroa, JA. 2010. Evaluación Económica de una Investigación Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de El Salvador. San. Salvador, SV.8 p
- Zarate Nicolás, BH.2007.Produccion de tomate (*lycopersicon esculentum* Mill.).Hidropónico con sustratos, bajo invernadero.(en línea).Oaxaca, MX.consultado el 23 de octubre de 2015.disponible en : [/tesis_maestria_baldomero.pdf](#). 176 p