



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Trabajo de Tesis

**Comparación de dos técnicas hidropónicas en
la producción de hierbabuena (*Mentha spicata*
L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) UNA,
2020-2021**

Autor

Br. Héctor Isaac Ramos Munguía

Asesores

MSc. Hellen Ruth Ramírez Velázquez

MSc. Henry Alberto Duarte Canales

Dr. Martha Orozco Izaguirre

Presentado a la consideración del honorable comité
evaluador como requisito final para optar al grado de
Ingeniero Agrónomo

Managua, Nicaragua
Octubre, 2022

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Comité Evaluador designado por la Dirección de Ciencias Agrícolas como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Miembros del Comité Evaluador

<grado académico y nombre>
Presidente

<grado académico y nombre>
Secretario

<grado académico y nombre>
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 12/Octubre/2022

DEDICATORIA

A:

Mis padres Mercedes Munguía Pacheco y Héctor Marcelino Ramos por el apoyo que he recibido de parte de ellos y consejos que sirvieron para culminar este importante período de mi vida.

A mis amigos en especial a Elton Osmar Guevara Matute, Ana Belén Rocha Matus, Walter Joel Rojas, Winston García, Ruberth Somarriba, Cinnia Massiel Vílchez.

Br. Héctor Isaac Ramos Munguía

AGRADECIMIENTO

A:

Mis padres por darme la oportunidad de estudiar y brindarme su apoyo económico y emocional.

A mi estimada asesora Ing. MSc. Hellen Ruth Ramírez Velázquez por haber aceptado trabajar juntos y brindar su apoyo, resaltando la enorme paciencia que tuvo guiando y llevando a cabo este proyecto para realización de este trabajo, a Mario Gabriel por ser parte esencial en la elaboración del ensayo y sobre todo a las señoras del comedor de la Universidad Nacional Agraria.

A mi alma mater Universidad Nacional Agraria y a todos los maestros que guiaron mi camino hasta este momento.

Br. Héctor Isaac Ramos Munguía

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1 Generalidades de la producción hidropónica	4
3.2 Importancia de la Hidroponía	5
3.3 Cultivo de tomate	5
3.3.1 Aspectos morfológicos del tomate	6
3.3.2 Aportes nutricionales	7
3.4 Cultivo de hierbabuena	8
3.4.1 Aspectos morfológicos de hierbabuena	9
3.5 Sistemas hidropónicos	9
3.5.1 Sistema raíz flotante	9
3.5.2 Sistema de sustrato	11
3.5.3 Fertilización	13
3.5.4 Preparación de una solución nutritiva	13
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	15
4.1 Ubicación del área de estudio	15
4.2 Diseño metodológico	15
4.3 Manejo de la fertilización en la producción hidropónica	16
4.4 Preparación de una solución nutritiva	18
4.5 Descripción de los tratamientos	23
4.6 Variables para evaluar	23
4.7 Análisis de datos	25
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
5.1 Cultivo de Hierbabuena	26
5.2 Cultivo de tomate	28
5.3 Rendimiento de hierbabuena y tomate kg m ²	30

VI. CONCLUSIONES	32
VII. RECOMENDACIONES	33
VIII. LITERATURA CITADA	34
IX. ANEXOS	37

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Características nutricionales del fruto de tomate	8
2.	Características nutricionales del cultivo de hierbabuena	8
3.	Rango de pH para los cultivos en sistemas hidropónicos	12
4.	Concentración de la solución nutritiva en diferentes volúmenes de agua	20
5.	Descripción de los tratamientos evaluados	23
6.	Comparación de medias en las variables de crecimiento del cultivo de hierbabuena UNA, Managua 2020	27
7.	Comparación de medias en las variables de crecimiento del cultivo de tomate UNA, Managua 2020	29
8.	Comparación de medias en las variables de rendimiento kg m ² para los cultivos de hierbabuena y tomate UNA, Managua 2020.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1.	Ubicación de área de estudio, UNA, 2021	15
2.	Condiciones climáticas en el área de estudio. Estación meteorológica Aeropuerto Internacional Augusto César Sandino (INETER, 2021).	16
3.	Diseño de camas en medio líquido o Raíz flotante	22

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Instalación de sistemas hidropónico sustrato y raíz flotante	37
2.	Establecimiento de cultivo de tomate y hierbabuena	37
3.	Desarrollo de cultivo de tomate y hierbabuena	37

RESUMEN

Los sistemas hidropónicos se caracterizan por obtener cultivos saludables en cualquier época del año, en menor tiempo, aprovechando todo el espacio posible, y permite diseñar estructuras simples o complejas favoreciendo las condiciones ambientales idóneas, ya sea sin sustratos o raíz flotante. Esta investigación se llevó a cabo con el propósito de evaluar el efecto de diferentes técnicas hidropónicas en los cultivos hierbabuena (*Mentha spicata* L.), y tomate (*Solanum lycopersicum* L.), los tratamientos consistieron en mezcla de sustratos piedrín +cascarilla de arroz, piedrín + fibra de palma y sistema de raíz flotante. El experimento fue establecido en un diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA), con un arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones, a todas las variables se le realizó un ANDEVA y separación de medias según Tukey ($\alpha= 0.05$). Las variables de crecimiento se vieron afectadas estadísticamente en los tratamientos de piedrín + cascarilla de arroz y piedrín + fibra de palma de igual manera presentaron los mayores rendimientos de tomate y hierbabuena con medias de 4.28 kg m² y 3.96 kg m², el menor rendimiento se obtuvo con el sistema raíz flotante con 3.47 kg m² de hierbabuena.

Palabras clave: técnicas hidropónicas, sustratos, crecimiento, rendimiento

ABSTRACT

Hydroponic systems are characterized by obtaining healthy crops at any time of the year, in less time, taking advantage of all the space possible, and allow the design of simple or complex structures favoring the ideal environmental conditions, either without substrates or floating root. This research was conducted with the purpose of evaluating the effect of different hydroponic techniques on peppermint (*Mentha spicata* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.) crops, the treatments consisted of a mixture of substrates pebble + rice husk, stone + palm fiber and floating root system. The experiment was established in a Completely Randomized Block (BCA) design, with an arrangement in divided plots and three repetitions, all variables underwent an ANOVA and separation of means according to Tukey ($\alpha= 0.05$). The growth variables were statistically affected in the gravel + rice husk and gravel + palm husk treatments, in the same way they presented the highest yields of tomato and mint, averages of 4.28 kg m² and 3.96 kg m² were obtained, the lowest yield was obtained with the floating root system with 3.47 kg m² of mint.

Key words: Hydroponic techniques, substrates, growth, yield

I. INTRODUCCIÓN

Zárate Aquino (2014), define que:

La hidroponía tuvo su origen en el siglo XIX, derivada de los estudios sobre las vías de absorción de los nutrientes por las plantas que realizaron fisiólogos como Woodward y De Saussure. El término hidroponía se deriva del griego *hydro* = agua y *ponos* = trabajo o actividad, es decir, ‘trabajo del agua’ o ‘actividad del agua’. También se conoce como cultivo sin suelo, nutricultura, quimicultura, cultivo artificial o agricultura sin suelo.

La tendencia a la mega-urbanización de las ciudades de América Latina y el Caribe, asociada a los problemas de pobreza y marginalización socioeconómica de sus suburbios, está vinculada a las graves limitantes que afectan el desarrollo rural de los países de la región. El poblador rural o el suburbano con escasos recursos, bajos ingresos, incertidumbre laboral y un cada vez más limitado acceso a las fuentes de alimentos. En este sentido, la hidroponía está comenzando a consolidarse en la región como una opción imaginativa en la lucha contra la pobreza. Representa, sin lugar a duda, una opción en la mejora del ingreso y la calidad de vida, que maximiza los componentes de la información, a la vez que reduce a un mínimo el de inversión, ofreciendo una alternativa sostenible de desarrollo (FAO, 2003, pág. 6).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2003), asegura que:

Los suelos son fundamentales para la vida en la tierra, pero las presiones humanas sobre el recurso suelo está llegando a límites críticos. Una mayor pérdida de suelos productivos incrementará la volatilidad de precios de los alimentos y potencialmente causará que millones de personas vivan en la pobreza. Esta pérdida es evitable. La gestión cuidadosa del suelo puede incrementar el abastecimiento de alimentos, y provee una herramienta valiosa para la regulación del clima y un camino para salvaguardar los servicios de los ecosistemas.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2003), sostiene que:

Alcanzar una gestión sostenible del recurso suelo generará grandes beneficios para todas las comunidades y naciones. En algunas partes del mundo será clave para la prosperidad económica y en otros incluso será importante para su seguridad nacional a corto y medio plazo. Sea cual sea el contexto, una política efectiva basada en evidencias sólidas es esencial para un buen resultado.

La agricultura es un sector muy conservador con mucha inercia y barreras marco de al cambio, donde los métodos “tradicionales” persisten, no obstante, los impulsores de la transformación están siendo cada vez más convincentes. El movimiento hacia una agricultura más segura está surgiendo ya en todo el mundo, y el cultivo sin suelo está liderando este crecimiento (InfoAgro, 2018, párr. 12).

El tomate es la hortaliza de mayor importancia en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio. El incremento anual de la producción en los últimos años se debe principalmente al aumento en el rendimiento y en menor proporción al aumento de la superficie cultivada (InfoAgro, 2019, párr. 12).

En un invernadero hidropónico de baja tecnología se pueden obtener producciones de 30 kg/m² por año, en uno de mayor tecnología se pueden llegar a obtener más de 65 kg/m² por año, del mismo cultivo (Systems, 2021).

La hierbabuena, es un cultivo, que no se produce de manera intensiva, sólo se realiza en pequeños huertos. Se encuentra, en zonas frescas. Se trata de una planta herbácea, vivaz y con raíces y estolones muy superficiales. Los tallos, de forma cuadrangular, son erectos, de colores verdes con tonalidades violáceas, ligeramente vellosos, ramificados y de unos 25 cm de altura. Es una planta que se usa como condimento por sus peculiaridades culinarias.

La producción bajo sistemas hidropónicos juega un papel importante tanto a nivel de la seguridad alimentaria como económicamente a las familias, con el presente estudio se tiene la finalidad de poner a disposición esta alternativa de producción de dos técnicas hidropónicas de raíz flotante y sustrato, en cultivo de tomate y hierba buena, de fácil manejo para las familias.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes técnicas hidropónicas en cultivos de hierbabuena (*Mentha spicata* L.), y tomate (*Solanum lycopersicum* L.), Universidad Nacional Agraria, Managua, 2020.

2.2. Objetivos específicos

Determinar el efecto de diferentes mezclas de sustratos sobre el crecimiento en los cultivos de tomate y hierbabuena.

Evaluar el efecto de las dos diferentes técnicas hidropónicas sobre el rendimiento de los cultivos en estudio.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Generalidades de la producción hidropónica

Según Cajo (2016), menciona que:

Los cultivos hidropónicos o hidroponía son plantaciones basadas en un método que prescinde de la tierra para sustituirla por sustratos varios o, por ninguno de ellos, en este caso utilizando agua enriquecida con soluciones minerales nutritivas. Se trata, por lo tanto, de una técnica de cultivo revolucionaria por su mínimo o nulo uso de los recursos, como una solución de sostenible sin posible paralelo con la agricultura tradicional.

El alimento cultivado en hidroponía tiene mayor periodo de vida que los cultivados en tierra, además la hidroponía no contamina el planeta, al no usar químicos, no erosiona o daña el suelo, también en hidroponía no se tiene que preparar el suelo para el cultivo, evitando así tener maleza, plagas y el uso de pesticidas, así mismo los cultivos hidropónicos son más limpios.

Cajo (2016), explica que

En comparación con los cultivos tradicionales en hidroponía la cantidad de producción es mayor, se puede cultivar más por 1m² de lo que se podría cultivar en tierra, esto lleva a que los gastos reducen de manera significativa, especialmente en el uso de fertilizantes, herbicidas, preparación de suelo y mano de obra y las raíces de las plantas cultivadas con hidroponía permanecen de un tamaño pequeño, así las plantas concentran su energía en producir más rama, flor o fruto que en agrandar su raíz. Con hidroponía las plantas mantienen niveles óptimos de humedad y nutrientes, los cuales ofrecen muchos beneficios tales como: plantas más sanas, crecimiento más rápido y plantas que serán más resistentes a cualquier enfermedad, al no estar estresadas por factores como la sequía.

3.2. Importancia de la Hidroponía

La hidroponía es una subdisciplina de la hidrocultura, y es un método para cultivar plantas mediante el uso de soluciones de nutrientes minerales en agua, sin suelo. Investigadores, en el siglo XVIII, descubrieron que las plantas absorbían nutrientes minerales esenciales en la forma de iones inorgánicos desde el agua. En condiciones naturales, el suelo funciona como un reservorio de nutrientes, pero el suelo en sí mismo no es esencial para el crecimiento de las plantas, prácticamente cualquier planta terrestre puede ser cultivada por hidroponía (InfoAgro, 2018).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2003) detalla que:

La hidroponía popular ha demostrado ser una opción casi única en su enfoque, a través del cual se puede hacer productivo el tiempo disponible de las amas de casa y de los niños de los sectores populares, que muchas veces permanecen la mayor parte del tiempo en su vivienda.

3.3. Cultivo de tomate

Instituto Nacional de Tecnologías Agropecuaria (2004), detallan que:

El jitomate o "tomate rojo" es originario de América del Sur, aunque se considera a México como centro de su domesticación. Con la llegada de los españoles se expandió al viejo continente y de ahí a todo el mundo; con su comercialización y difusión lograda, actualmente forma parte de la dieta alimenticia de varias culturas en el globo terráqueo.

Instituto Nacional de Tecnologías Agropecuaria (2004), detallan que:

La producción de tomate en Nicaragua se encuentra actualmente de acorde la demanda nacional, el comercio ha venido a aportar mejores precios a los productores y diferentes variedades para los consumidores. Muchos pequeños productores han incursionado de lleno a la venta a través de los supermercados, principalmente gracias a la alianza con Hortifruti, quien a su vez sule los Supermercados de la Unión y Pali. Con ello se han asegurado además de la estabilidad de precios el contrato de suministro. Los productores

se encuentran interesados en aprender mejores técnicas de producción que les garanticen mejor rendimiento, calidad y precio y han encontrado apoyo en Instituciones como Tecnoserve, IICA y USAID a través de diversos Programas.

3.3.1. Aspectos morfológicos del tomate

Tallo

Es grueso, pubescente, anguloso y de color verde. Mide entre 2 y 4 cm de ancho y es más delgado en la parte superior. En el tallo principal se forman tallos secundarios, nuevas hojas y racimos florales, y en la porción distal se ubica el meristemo apical, de donde surgen nuevos primordios florales y foliares (Monardes, 2009).

Inicialmente el tallo tiene una apariencia herbácea; está compuesto de epidermis con pelos glandulares, corteza, cilindro vascular y tejido medular (Escobar y Lee, 2009).

Hoja

Es pinnada y compuesta. Presenta de siete a nueve foliolos peciolados que miden 4-60 mm x 3-40 mm, lobulados y con borde dentado, alternos, opuestos y, por lo general, de color verde, glanduloso-pubescente por el haz y ceniciento por el envés. Se encuentra recubierta de pelos glandulares y dispuestos en posición alternada sobre el tallo (Monardes, 2009).

La posición de las hojas en el tallo puede ser semierecta, horizontal o inclinada. Puede ser de tipo enana, hoja de papa, estándar, peruvianum, pimpinellifolium o hirsutum (IPGRI, 1996).

Flor

Es perfecta y regular. Los sépalos, los pétalos y los estambres se insertan en la base del ovario. El cáliz y la corola constan de cinco o más sépalos y de cinco pétalos de color amarillo, que se encuentran dispuestos de forma helicoidal. Poseen cinco o seis estambres que se alternan con los pétalos, formando los órganos reproductivos. El ovario tiene dos o más segmentos (Infoagro, 2016).

Instituto Nacional de Tecnologías Agropecuaria (2004), detallan que:

Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimo, en grupos de tres a diez en variedades comerciales de tomate medianas y grandes. Las inflorescencias se ubican en las axilas, cada dos o tres hojas.

Fruto

Es una baya bilocular o plurilocular, sub esférica globosa o alargada, que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 g. El fruto está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. En estado inmaduro es verde y, cuando madura, es rojo (EDIFORM 2006). Existen cultivares de tomate con frutos de color amarillo, rosado, morado, naranja y verde, entre otros.

El fruto contiene las semillas, que tienen un tamaño promedio de 5 x 4 x 2 mm. Son ovoides, comprimidas, lisas o muy velludas, parduzcas y están embebidas en una abundante masa mucilaginoso. Cada semilla está compuesta por el embrión, el endospermo y la cubierta seminal (Díaz y Hernández 2003).

Sistema radicular

Instituto Nacional de Tecnologías Agropecuaria (2014), detallan que:

Ayuda a la planta a anclarse al suelo o al sustrato, absorbe y transporta nutrientes y agua a la parte superior de la planta. Está constituido por la raíz principal y las raíces secundarias y adventicias; estas últimas son numerosas y potentes y no superan los 30 cm de profundidad.

El interior de la raíz presenta tres partes: epidermis, córtex y cilindro vascular. La epidermis contiene pelos que absorben el agua y los nutrientes, mientras que el córtex y el cilindro vascular cumplen la función de transportar los nutrientes (Infoagro, 2016).

3.3.2. Aportes nutricionales

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2013), detallan que:

El tomate está compuesto principalmente por agua y su macronutriente mayoritario son los hidratos de carbono. Entre las vitaminas cabe destacar el contenido en vitamina A. Los tomates y sus derivados son especialmente ricos en licopenos, responsables del color rojo del fruto. El licopeno es un carotenoide sin actividad provitamínica A, que presenta un alto poder antioxidante relacionado con un menor riesgo de padecer enfermedades crónicas, como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares.

Cuadro 1. Características nutricionales del fruto de tomate.

Composición	Cantidad por 100 gramos
Calorías (kcal)	22
Proteínas (g)	1
Lípidos (g)	0.11
Fibra (g)	1.4
Hidratos de carbono (g)	3.5
Agua (g)	94
Calcio (mg)	11
Hierro (mg)	0.6
Yodo (μ g)	7
Magnesio (mg)	10
Zinc (mg)	0.22
Sodio (mg)	3
Potasio (mg)	290
Fósforo (mg)	27
Vitamina C (mg)	26
Vitamina A (mg)	82.3
Vitamina E (mg)	1.2

3.4 . Cultivo de hierbabuena

De acuerdo con Sevilla Romero (2005), menciona que:

La información referente a la comercialización es relativamente poca, lo que se sabe es que la demanda del mercado nacional casi se satisface con la producción actual de los productores, por lo que se dedican al cultivo para venderla en los mercados de las localidades, este cultivo presenta altos valores nutritivos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características nutricionales del cultivo de hierbabuena

Composición	Cantidad por 100 gramos
Calorías (kcal)	43
Proteínas (g)	3.8
Lípidos (g)	0.7
Fibra (g)	-
Hidratos de carbono (g)	5.3
Agua (g)	86.4
Calcio (mg)	210
Hierro (mg)	9.5
Yodo (μ g)	-
Magnesio (mg)	-

Selenio (µg)	3
Sodio (mg)	15
Potasio (mg)	260
Fósforo (mg)	75
Vitamina C (mg)	31
Vitamina A (mg)	123
Vitamina E (mg)	5

3.4.1. Aspectos morfológicos de hierbabuena

Tallo

De forma cuadrangular, son erectos, de color verde con tonalidades violáceas, ligeramente vellosos, ramificados y de unos 25 cm de altura (Quintero, 1985).

Hoja

De forma elípticas, hojas opuestas, oblongas, de superficie rugosa y margen aserrado, cortamente pecioladas

Flor

Nacen de espigas en lo más alto, tienen cinco pétalos, y está acompañada de rosas de 3 milímetros de longitud.

Sistema radicular

Logra desarrollarse bajo una orientación horizontal a través de su sistema radicular, el cual le permite, gracias a sus yemas adventicias, obtener dicha forma.

3.5. Sistemas hidropónicos

3.5.1. Sistema raíz flotante

En los últimos sesenta años se ha trabajado en el desarrollo de nuevos sistemas que ayuden a solventar esos problemas. Uno de los más representativos es la hidroponía, que ofrece una alternativa para producir alimentos, no sólo en las áreas con problemas de contaminación de suelos y carencia de agua sino también en el medio doméstico.

El cultivo de tomate en un invernadero hidropónico de baja tecnología se puede obtener producciones de 30 kg/m² por año, en uno de mayor tecnología se pueden llegar a obtener más de 65 kg/m² por año, del mismo cultivo (Systems, 2021).

El término hidroponía se deriva del griego *hydro* = agua y *ponos* = trabajo o actividad, es decir, ‘trabajo del agua’ o ‘actividad del agua’. También se conoce como cultivo sin suelo, nutricultura, quimicultura, cultivo artificial o agricultura sin suelo.

La característica más importante de la técnica hidropónica es que en ninguna de las etapas de crecimiento se requiere del suelo como soporte o fuente de nutrientes del cultivo; la planta toma los nutrientes directamente del agua, donde se encuentran disueltos. La principal ventaja del sistema es que puede adaptarse a cualquier espacio, condición climática y economía.

El mayor rendimiento de frutos de tomate fue mayor en sistema de raíz flotante y se obtuvo con la aplicación de tres riegos diarios la solución nutritiva reutilizable. Considerando que al aumentar el número de riegos diarios se incrementó el rendimiento de tomate en el sistema es conveniente estudiar un mayor número de riegos para determinar el máximo rendimiento de tomate alcanzable en este sistema de riego (MATA-VÁZQUEZ, y otros, 2010).

Elementos del sistema hidropónico

- Material vegetal (hortalizas)
- Contenedor o recipiente
- Sustrato
- Solución nutritiva

Ventajas

- No depende de fenómenos meteorológicos.
- Permite cultivar la misma especie ciclo tras ciclo.
- Rinde varias cosechas al año.
- Presenta buen drenaje.
- Mantiene el equilibrio entre aire, agua y nutrientes.

- Mantiene la humedad uniforme y controlada.
- Ahorra en el consumo de agua.
- Facilita el control de pH.
- Permite corregir deficiencias y excesos de fertilizante.
- Admite mayor densidad de población.

Desventajas

- En cultivos comerciales, precisa tener conocimientos acerca de las especies que se siembran y de química inorgánica.
- Inversión inicial relativamente alta.
- Requiere mantenimiento y cuidado de las instalaciones, solución nutritiva, materiales, etcétera.

3.5.2. Sistema de sustrato

El sustrato es material sólido distinto del suelo natural que colocado en un contenedor en forma pura o en mezcla permite el anclaje del sistema radicular (Beltrano y Gimenez 2015).

La distribución de biomasa de las plantas evaluadas bajo el sistema de producción hidropónico fue continua y asociada a la fenología. Las variables de nutrientes hoja, tallo, raíz y materia seca total se vieron afectadas tanto por el sustrato como por la distancia de siembra entre plantas a diferentes edades de muestreo, siendo la combinación 100% fibra la que mostró el valor más alto a los 77 días postrasplante. Distancia entre plantas cm (Valles Rigió, 2009).

Grava: son pequeñas partículas que se obtienen de materiales procedentes de depósitos naturales o canteras que son triturados, las que miden alrededor de uno a dos mm de diámetro son las que se utilizan en la hidroponía. La grava proporciona una excelente aireación; sin embargo, la retención de humedad es muy escasa de un 17 % aproximadamente.

Cascarilla de arroz: se utiliza fundamentalmente con grava, ya que este es muy liviano y su capacidad de retención de humedad es baja, con un 40%, ya mezclado. Beneficia el incremento de la actividad macro y microbiológica de la tierra al mismo tiempo que estimula el desarrollo uniforme y abundante del sistema radical de las plantas. Es una fuente rica en silicio, lo que

favorece a los vegetales para darle una mayor resistencia contra insectos y microorganismos. Aporta principalmente silicio, fósforo, potasio y otros minerales trazos en menor cantidad (FAO, 2011, pág. 5).

Fibra de palma: es un producto granular, obtenido a través del rompimiento físico de la nuez de palma. La ventaja principal de este producto es su poder calorífico el cual permite generar una gran cantidad de energía. El compost de fibras de fruta fresca de palma aceitera cuando se reincorpora a los sistemas agro-productivos es muy rico en C, N, K y micronutrientes, ya que aporta parte de la demanda de fertilización del sistema (Ramírez, y Muñoz, 2018).

Solución nutritiva: es la mezcla de agua y fertilizantes. En todos los casos, conviene saber qué características presenta el agua con la cual se regará el cultivo.

Para instalaciones comerciales se recomienda realizar análisis químicos del pH, y del contenido de fosfatos, cloruros, calcio, magnesio, potasio, boro, fierro, cobre, manganeso, zinc, molibdeno, nitratos, carbonatos, bicarbonatos, sulfuros. En cultivos caseros, es necesario que por lo menos se realice el análisis de pH.

El pH indica qué tan ácida o alcalina es una sustancia en una escala de cero a catorce. Un pH de 0 a 6.9 indica acidez de la sustancia; uno de 7.0 es neutro y el de 7.1 a 14 indica alcalinidad en la sustancia. El pH es muy importante, ya que de él depende la absorción de los nutrimentos por las raíces de las plantas. Un pH muy ácido (por ejemplo, de 3.0), o muy alcalino (por ejemplo, de 10.0) limita la absorción de nutrimentos, lo que provoca deficiencia de éstos, aunque estén presentes en la solución nutritiva.

Cuadro 3. Rango de pH para los cultivos en sistemas hidropónicos

Hortaliza	Intervalos de pH	Intervalos de pH
Apio		6.0-7.0
Berenjena		5.5-6.0
Betabel		6.0-7.0
Calabaza		5.5-6.5
Camote		5.8-5.8
Cebolla		6.0-6.5

Chícharo	6.0-7.0
Col	5.8-7.0
Colior	6.0-7.0
Espárrago	6.0-7.0
Espinaca	6.0-7.0
Fresa	5.3-6.5
Frijol ejotero	5.4-6.9
Jitomate	5.5-6.8
Lechuga	6.0-7.0
Melón	5.9-8.0
Nabo	5.5-6.5
Papa	5.0-5.4
Pepino	5.5-5.8
Rábano	5.5-6.5
Sandía	5.0-5.5
Verdolaga	6.5-8.0
Zanahoria	5.8-7.0

Fuentes: National Plant Food Institute. Manual de fertilizantes. LIMUSA, México, D.F., 1984; Raymond, D. Cultivo práctico de hortalizas. CECSA, México, D.F. 1975

3.5.3. Fertilización

Los fertilizantes son sales con varios elementos químicos que cumplen diversas funciones en las plantas. Por la cantidad que de éstos requieren se dividen en macroelementos y microelementos (FAO, 2003).

Macroelementos o macro nutrientes: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S).

Microelementos, micro nutrientes o elementos traza; hierro o erro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y boro (B). Las plantas toman el carbono del CO₂ del aire; el oxígeno y el hidrógeno lo toman del agua, por tanto, estos macroelementos no se les adicionan (Gelvez Salazar, 2019).

3.5.4. Preparación de una solución nutritiva

FAO (2003) menciona que:

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, las que llamaremos 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 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.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se estableció en el departamento de Managua, Nicaragua contiguo a sala de multiuso del departamento de Ingeniería Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria (UNA), en el km 12 ½ carretera Norte. Esta se encuentra a 12° 09' 00.37" altitud Norte y 86° 09' 36.65" de longitud Oeste, a una altitud de 56 msnm.



Figura 1. Ubicación de área de estudio, UNA, 2021.

4.2. Diseño metodológico

El ensayo se estableció en un Diseño de Bloques Completo al Azar, (BCA), con un arreglo en parcelas divididas, el experimento se estableció en tres cajones de maderas cuyas dimensiones fueron 2.27 m de largo, 0.90 m de ancho y 0.12 m de alto, para un área total de 4.31 m² en el sistema hidropónico y tres cajones de madera para el sistema con sustrato con las dimensiones de 1.2 m de largo y 0.7 m de ancho para un área total de 0.84 m² (solución más piedrín y cascarilla de arroz más piedrín). Los cultivos se establecieron en los siguientes arreglos: hierba buena 0.2 m entre planta. y 0.25 m entre surco, para el cultivo de tomate 0.3 m entre planta y 0.3 m entre surco.

Condiciones climáticas de Managua

El municipio de Managua se caracteriza por su clima tropical de sabana, tiene una prolongada estación seca y temperaturas altas todo el año, en rangos de 27 °C a 34 °C. La precipitación anual promedio para Managua es de 1 100 a 1 600 mm, en la figura 2, se observan los valores promedios de precipitación (mm), temperaturas máximas y mínimas (Temp max °C y min °C).

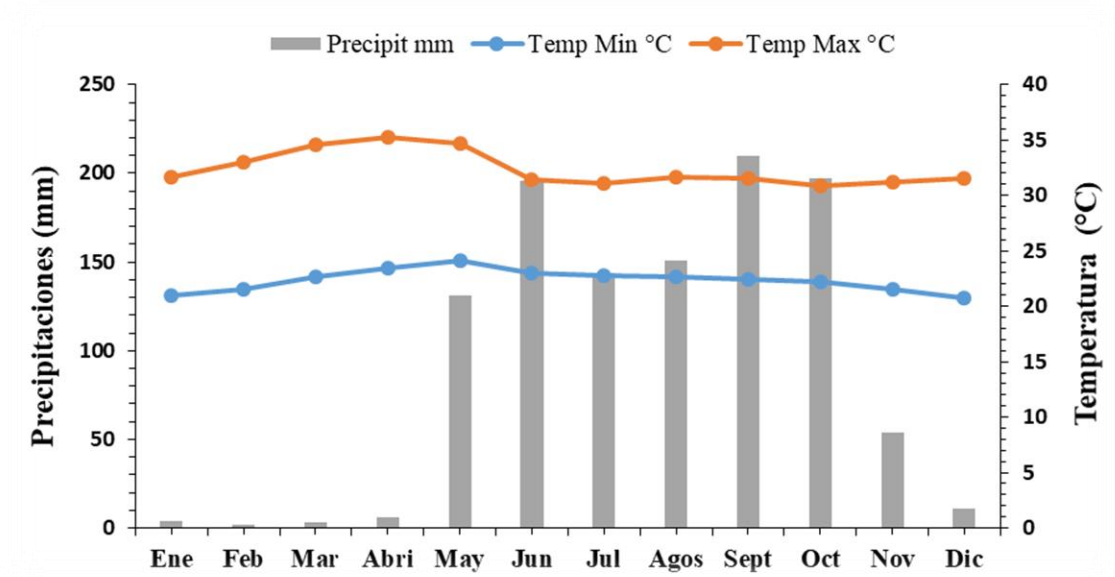


Figura 2. Condiciones climáticas en el área de estudio (INETER, 2021).

4.3. Manejo de la fertilización en la producción hidropónica

Sistema raíz flotante

De acuerdo con FAO (2003) describe los procesos de cálculos de los sistemas hidropónicos:

En los últimos sesenta años se ha trabajado en el desarrollo de nuevos sistemas que ayuden a solventar esos problemas. Uno de los más representativos es la hidroponía, que ofrece una alternativa para producir alimentos, no sólo en las áreas con problemas de contaminación de suelos y carencia de agua sino también en el medio doméstico.

El término hidroponía se deriva del griego *hydro* = agua y *ponos* = trabajo o actividad, es decir, ‘trabajo del agua’ o ‘actividad del agua’. También se conoce como cultivo sin suelo, nutricultura, quimicultura, cultivo artificial o agricultura sin suelo (FAO, 2003).

Sistema de sustrato

La grava son pequeñas partículas que se obtienen de materiales procedentes de depósitos naturales o canteras que son triturados, las que miden alrededor de 1 a 2 mm de diámetro son las que se utilizan en la hidroponía. La grava proporciona una excelente aireación; sin embargo, la retención de humedad es muy escasa de un 17% aproximadamente (Sanchez, 2020).

La cascarilla de arroz se utiliza fundamentalmente con grava, ya que este es muy liviano y su capacidad de retención de humedad es baja, con un 40%, ya mezclado. (Sanchez, 2020)

La fibra de palma es un producto granular, obtenido a través del rompimiento físico de la nuez de palma. La ventaja principal de este producto es su poder calorífico el cual permite generar una gran cantidad de energía (OLEODAVILA S.A, 2016).

Fórmula comercial

En la etiqueta de las soluciones comerciales se observan tres cantidades separadas por guiones; por ejemplo 17-17-17, 30-30-20, u otras. Estas cifras corresponden al porcentaje que, de nitrógeno, fósforo y potasio, contiene la fórmula, la cual se conoce como NPK.

Si uno de estos elementos no se encuentra presente en la fórmula, aparecerá de la siguiente manera: 00-10- 20; esto quiere decir que hay 0 % de nitrógeno, 10 % de fósforo y 20 % de potasio.

Por otro lado, si además de los tres elementos mencionados, contiene un cuarto elemento, se indicará de la siguiente manera: 30-10-20-25 Mg, lo cual significa que además de NPK, en la fórmula hay 25 % de magnesio.

Aplicación de la solución nutritiva

La aplicación de solución nutritiva dependerá del tipo de sustrato y sistema de riego que se instale en el cultivo hidropónico. El programa de fertilización estará determinado por la especie en cultivo y por la estación del año. Durante los meses de bajas temperaturas, la fertilización se hará una o dos veces por semana, y durante los cálidos, tres o cuatro veces por semana. El resto

de los días se regará con agua sola. Es importante no olvidar la aplicación de la solución nutritiva, de lo contrario las plantas sufrirán deficiencias de nutrimentos, su desarrollo no será el óptimo y pueden llegar a morir (FAO, 2003).

4.4. Preparación de una solución nutritiva

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, las que llamaremos 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 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 (Arguello, 2012).

Solución concentrada A

a) Equipo requerido en un sistema artesanal sencillo

- Un bidón plástico con capacidad para 20 litros
- Tres baldes plásticos con capacidad para 10 litros cada uno
- Dos botellas grandes de 10 litros como mínimo
- Un vaso de precipitado de 2 litros, o probetas plásticas aforadas
- Acceso a una balanza con rango de 0,01 hasta 2000 gramos
- Un agitador de vidrio o de PVC (pedazo de tubo de tres cuartos 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 gramos
- Nitrato de Calcio 2080 gramos
- Nitrato de Potasio 1100 gramos

c) Procedimiento

En un recipiente plástico medimos seis litros de agua y allí vertemos uno por uno los anteriores elementos, ya pesados, siguiendo el orden anotado, e iniciamos una agitación permanente. Sólo agregamos 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 completamos con agua hasta alcanzar 10 litros y agitamos durante 10 minutos más, hasta que no aparezcan residuos sólidos. Así obtenida la **Solución Concentrada A**, que deberá ser envasada en un recipiente, etiquetada y conservada en un lugar oscuro y fresco (FAO, 2003).

Solución concentrada B

a) Elementos necesarios para preparar 4 litros

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

b) Procedimiento

En un recipiente plástico de dos litros de agua y se vierten uno por uno de los anteriores elementos, ya pesados, siguiendo el orden en que se pesó cada uno de los elementos del primer grupo; es preferible no aplicar ninguno antes de que el anterior se haya disuelto completamente.

Por último, agregamos el Quelato de Hierro, que viene en una presentación comercial granulada, aunque también hay otras presentaciones comerciales líquidas; debe preferirse las que vienen en forma de quelato de hierro.

Disolvemos por lo menos 10 minutos más, hasta que no queden residuos sólidos de ninguno de los componentes; después completamos el volumen con agua hasta obtener cuatro litros y agitamos durante cinco minutos más. Esta es la Solución Concentrada **B**, que contiene nueve elementos nutritivos (intermedios y menores).

La solución nutritiva en sustratos sólidos

La preparación de la solución nutritiva que se aplica directamente al cultivo en sustrato sólido se realiza en la siguiente forma:

Cuadro 4. Concentración de la solución nutritiva en diferentes volúmenes de agua

	Cantidad de agua ml	Nutriente A ml	Nutriente B ml
Total	1000	5.0	2.0
Media	500	2.5	1.0
Baja	250	1.25	0.5

Obsérvese que a pesar de variar la dosis de las soluciones concentradas A y B, la proporción siempre es de 5:2.

a) Aplicación

Si se necesita aplicar solución nutritiva para plantas pequeñas (entre el primero y el décimo día de nacidas) o recién trasplantadas (entre el primero y el séptimo día después del trasplante) y en climas cálidos, se emplea la concentración media (2.5 ml de nutriente concentrado A y 1.0 ml de nutriente concentrado B. por cada litro de agua. La concentración media se utilizada en períodos de muy alta temperatura y mucho sol, porque en estas épocas el consumo de agua es mayor que el de nutrientes.

Recomendaciones para el uso de soluciones comerciales

Como FAO (2003) menciona que:

Las formulaciones comerciales, generalmente importadas, de la mayoría de los nutrientes para hidroponía vienen preparadas según las exigencias de los cultivos, por lo que sólo se necesita mezclarlas y aplicarlas con agua sobre el sustrato.

Estos nutrientes, bien sea que vengan en forma de polvo o de líquido, se deben aplicar en el área de las raíces, tratando de mojar lo menos posible sus hojas, para evitar toxicidad a las hojas y la aparición de enfermedades.

No se deben confundir los nutrientes para uso hidropónico con los nutrientes foliares. Los primeros contienen todos los elementos que una planta necesita para su normal desarrollo y son absorbidos por la raíz, los segundos son sólo un complemento de una fertilización radicular que se supone ya se hizo con otros fertilizantes completos de absorción radicular.

Mantenimiento de la solución nutritiva en medio líquido - aireación

Al menos dos veces al día debemos agitar manualmente el líquido de tal forma que se formen burbujas, lo cual hace posible la aireación de la solución nutritiva. Con esto, las raíces hacen mejor su trabajo de absorber el agua y los elementos nutritivos, lo que incide muy positivamente en su desarrollo. Si no hay aire (oxígeno) en el área de las raíces, ellas primero dejarán de absorber nutrientes y agua y luego empezarán a morir.

Mantenimiento del nivel de líquido de los contenedores

Cada vez que el nivel del agua baje en forma apreciable debemos rellenar sólo con agua. Cada tercera vez que rellenemos aplicaremos a la cantidad de agua añadida la mitad de la concentración que aplicamos inicialmente. Por ejemplo, si la tercera vez que debemos rellenar con agua nuestra cama de cultivo necesitamos 10 litros de agua para completar el volumen inicial, entonces debemos aplicar 25 ml. de la Solución concentrada A y 10 ml de la Solución concentrada B.

Recordemos: las soluciones concentradas se deben aplicar en forma separada y luego agitar muy bien ese medio líquido, formando burbujas.

Consideraciones de preparación de la solución nutritiva

Hay dos recomendaciones que deben quedar muy claras desde el comienzo:

1. 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, echando una primero y la otra después.
2. 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. Después, en la medida en que se va adquiriendo mayor experiencia se pueden disminuir las concentraciones, pero conservando siempre la misma proporción 5:2, como veremos a continuación

Aplicación de la solución nutritiva en medio líquido o raíz flotante

FAO (2003) menciona que:

En el caso del sistema de raíz flotante, lo primero que debemos hacer es calcular la cantidad de agua que contiene nuestro contenedor de cultivo.

Una forma de hacerlo es midiendo y luego multiplicando el largo por ancho y por altura que alcanza el agua. Si la medición se hizo en centímetros, el resultado que obtenemos lo dividimos por mil. Ese resultado es el volumen de agua que contiene la cama de cultivo (expresado en litros).



Figura 3. Diseño de camas en medio líquido o Raíz flotante.

Nuevamente debemos recordar que las soluciones concentradas A y B nunca deben mezclarse solas sin la presencia de agua. Esta solución nutritiva correspondería aplicarla en un cultivo de plantas grandes, en época fría.

4.5. Descripción de los tratamientos

Los tratamientos evaluados fueron los sustratos y solución nutritiva en sistema NFT, los cuales conformaran los cuatro tratamientos en diferentes dosis.

Cuadro 5. Descripción de los tratamientos evaluados

Tratamiento	Composición	Cultivo	Proporción %
T1	Piedrín +cascarilla de arroz	Tomate	50/50
T2	Piedrín + fibra de palma	Hierbabuena	40/60
T3	Piedrín + fibra de palma	Hierbabuena	40/60
T4	Raíz flotante	Hierbabuena	Solución nutritiva

4.6. Variables evaluadas

De cada tratamiento de parcela útil se procedió a tomar seis plantas al azar luego se determinó el promedio de las variables en los cultivos de hierbabuena y tomate. Los datos fueron recolectados desde el día 1 al día 45 después de siembra.

La variedad de tomate utilizada en el estudio fue INTA JL-5, de acuerdo con INATEC (2018) que tiene un ciclo completo de desarrollo de 100 a 110 días. Esta variedad destaca por su tolerancia al Geminivirus, lo que la hace más resistente y menos propensa a las infecciones provocadas por este tipo de virus.

Una de las cualidades más destacadas de INTA JL-5 es su alta producción, lo que hace referencia a su capacidad para producir una cantidad considerable de frutos a lo largo de su ciclo de crecimiento. Adicionalmente, los frutos de esta variedad tienen una excelente calidad, lo que se traduce en cualidades superiores como sabor, textura, color y tamaño, aumentando su comerciabilidad y aceptación.

Crecimiento

Durante el estudio, las variables de crecimiento del cultivo se registraron en intervalos de 15 días en varias etapas fenológicas, que incluyeron el establecimiento de plantas jóvenes, el crecimiento vegetativo, la floración y el desarrollo de frutos. Para las medidas de crecimiento de las plantas se consideró una medida inicial de cinco centímetros desde la raíz, y las medidas foliares se tomaron de las hojas centrales del cultivo.

Las variables de crecimiento registradas fueron las siguientes:

Diámetro del tallo (cm): El diámetro del tallo de las plantas se midió en centímetros, tomando un promedio de la parte baja, media y superior del tallo, lo que brinda información sobre la fortaleza y el desarrollo estructural de una planta a lo largo de su ciclo de crecimiento.

Altura de planta (cm): La altura de la planta se registró en centímetros, reflejando el crecimiento vertical y su desarrollo vegetativo a lo largo del experimento.

Hojas por planta: Se contabilizó el número de hojas en cada planta, lo que permite estimar el desarrollo y cantidad de follaje en las diferentes etapas del cultivo.

Longitud de hoja (cm): Se midió la longitud de las hojas centrales del cultivo en centímetros, lo que da información sobre el tamaño y desarrollo de las hojas a lo largo de todo el ciclo de crecimiento. Estas mediciones periódicas de las variables de crecimiento permiten un seguimiento detallado del desarrollo de la planta a lo largo del tiempo y brindan datos importantes para evaluar el éxito del sistema.

Rendimiento: Dentro del área útil de cada tratamiento se registró la información de rendimiento y peso de todas las parcelas en kg por 1000 m². Tras la cosecha de las parcelas, se recogieron estos datos.

Para realizar los cálculos se utilizó una pequeña parcela que se asimilaba a una sección de las cajas hidropónicas. El rendimiento se extrapola a toda el área de 1000 m² correspondiente a cada tratamiento utilizando los datos recogidos en esta pequeña parcela. El rendimiento de varios

tratamientos en experimentos agrícolas se cuantifica y compara con frecuencia usando el peso del cultivo en kg por 1000 m².

4.7. Análisis de datos

Para los datos recopilados de las variables a estudiar se utilizaron los programas, tales como: Excel 2013 para su posterior análisis InfoStat (2017.1.2). Estos para procesar estadísticamente un análisis de varianza (ANDEVA) y separación de medias Tukey ($\alpha = 0.05$) sobre las variables agronómicas y de rendimiento.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

i = 1 2, 3,t tratamientos.

j = 1 2, 3,n observaciones.

Y_{ij} = La j-ésima observación del i-ésimo tratamiento.

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento.

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento.

ε_{ij} = Efecto aleatorio de variación.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Cultivo de Hierbabuena

Orellana (2013), explica que:

El cultivo de hierbabuena (*Mentha sativa* L.) es originaria de Europa, se cultiva en diferentes regiones del país, debido a que reúne buenas características culinarias y agronómicas. Además, es muy utilizada para aromatizar platos de la cocina tradicional de varios países; siendo también de consumo medicinal, y materia prima en la industria.

Herbotecnia (2009), menciona que:

La hierbabuena es una planta herbácea, perenne de porte robusto, muy aromática con caracteres de especies conocidas como mentas; deriva de la hibridación de la menta negra, que tiene un tono violáceo, y la menta blanca, de un color verde más uniforme.

"El frescor y agradable perfume que desprenden las hojas de hierbabuena explica que durante siglos se haya utilizado para aromatizar dependencias del hogar y que su aceite esencial forme parte de numerosos perfumes." Esta planta resulta beneficiosa por sus propiedades medicinales para el ser humano, aliviando dolencias relacionadas con los aparatos digestivo o respiratorio, así como tras su uso tópico para afecciones y dolencias de la piel. (RegMurcia, 2020)

De acuerdo con la separación de media Tukey ($\alpha = 0.05$) el diámetro del tallo se observó que el tratamiento grava + cascarilla de arroz presentó el mayor diámetro con 0.47 cm, seguido del tratamiento grava + fibra de palma con 0.46 cm y finalmente el tratamiento raíz flotante con 0.40 cm cuadro 6. Esta diferencia en el diámetro del tallo puede afectar la fuerza y el soporte de la planta, lo que puede afectar su desarrollo general y su capacidad para soportar condiciones ambientales adversas.

El ANDEVA realizado al 95 % de confiabilidad con respecto a la altura de las plantas, nuevamente se observaron claras diferencias entre los tratamientos. La mayor altura fue el

tratamiento de grava + cascarilla de arroz a 16.45 cm, seguido del tratamiento de grava + fibra de palma a 14.44 cm y finalmente el tratamiento de raíz flotante a 12.84 cm cuadro 6. La altura de la planta es un indicador importante de su desarrollo y crecimiento, y estos resultados podrían indicar que ciertos sustratos o condiciones de crecimiento favorecen el crecimiento vertical de la hierbabuena.

La hierbabuena es una hierba de olor y un condimento muy apreciado por el aroma y el contenido de aceite de sus hojas. Se analizó el número de hojas por planta y nuevamente se encontraron diferencias significativas. El tratamiento de grava + cáscara de arroz tuvo el mayor número de hojas por planta con 14.18, seguido del tratamiento de grava + fibra de palma con 12.56 y finalmente el tratamiento de raíz flotante con 10.33 hojas por planta. Un mayor número de hojas se puede asociar a una mayor producción de aceites esenciales y por tanto a un aroma más intenso y valioso para diferentes usos. En el cuadro 6 se observa diferencias significativas ($Pr < 0.05$) en la variable hojas por planta.

Se evaluó la longitud de las hojas y los resultados mostraron claras diferencias. ANDEVA realizado al 95 % de confiabilidad se encontró que el tratamiento con grava + cascarilla de arroz alcanzó la mayor longitud con 2.40 cm, mientras que los tratamientos con grava + fibra de palma y raíces flotantes presentaron longitudes similares con un promedio de 2.14 cm cuadro 6. Durante el procesamiento posterior, las hojas más grandes pueden ser más fáciles de manipular y deshidratar, lo cual es importante para conservar su aroma y sus propiedades medicinales.

Cuadro 6. Comparación de medias en las variables de crecimiento del cultivo de hierbabuena UNA, Managua 2020.

Tratamientos	DIA/TALL (cm)		ALT/PLA (cm)		HOJA/PLA (cm)		LONG/HOJ (cm)	
Piedrín + cascarilla de arroz	0.47	a	16.45	a	14.18	a	2.40	a
Piedrín + fibra de palma	0.46	ab	14.44	b	12.56	b	2.14	b
Raíces flotantes	0.40	b	12.84	c	10.33	c	2.14	b
Pr < valor	0.0110		0.0001		0.0001		0.0030	
CV (%)	16.812		13.004		17.332		13.439	

Nota = Diámetro del tallo (DIA/TALL), Altura de planta (ALT/PLA), Hojas por planta (HOJA/PLA) y Longitud de hoja (LONG/HOJ)

5.2. Cultivo de tomate

Debido a la amplia demanda y los diversos usos de los tomates en la cocina, el cultivo del tomate es uno de los más importantes en la agricultura. En el estudio se destacan características morfológicas del cultivo, como diámetro del tallo, altura de la planta y número de hojas por planta. Para comprender el crecimiento y el rendimiento de las plantas de tomate en diversas condiciones de crecimiento requiere comprender estas variables.

Un indicador importante de la fuerza de la planta y el soporte estructural es el diámetro del tallo. El tallo es la parte de los vegetales que brinda sostén a la planta, el tallo de las plantas jóvenes de tomate es cilíndrico, más tarde se vuelve angular según las características de las variedades y la influencia del manejo (Mora, 2002). El experimento revela una diferencia significativa en el diámetro del tallo. Es interesante notar que el tratamiento de Piedrín + cascarilla de arroz tuvo el diámetro promedio más alto 0.47 cm, mientras que el tratamiento con raíz flotante tuvo el promedio más bajo 0.38 cm.

Estos hallazgos implican que los sustratos específicos y las estrategias de manejo pueden tener un impacto en el desarrollo del tallo, lo que puede tener repercusiones en el crecimiento de las plantas y la resistencia a los factores ambientales. Al elegir el sustrato y utilizar las técnicas de manejo adecuadas para promover el desarrollo saludable de las plantas de tomate, es crucial tener en cuenta estos resultados. La planta cuenta con un tallo herbáceo. Al inicio de su etapa de crecimiento es erecto, cilíndrico y luego se vuelve decumbente y angular (INTA, 2004).

Para evaluar el crecimiento y desarrollo vegetativo de la planta de tomate, se tomó en cuenta la variable altura de la planta ya que se considera un parámetro importante. El estudio demuestra una diferencia significativa en la altura de la planta. Nuevamente, el tratamiento de Piedrín + cascarilla de arroz presentó la mayor altura promedio 18.10 cm, seguido del tratamiento con piedra de fibra de palma 13.60 cm, y el tratamiento con raíz flotante la menor 10.0 cm.

Estos hallazgos podrían implicar que la expansión y el crecimiento vertical de las plantas de tomate están influenciados por el sustrato y las técnicas de manejo. La capacidad de la planta para absorber la luz solar y realizar la fotosíntesis, que tiene un impacto directo en la producción de alimentos y nutrientes para la planta, está relacionada con la altura de la planta. Del mismo modo, tener la altura adecuada puede hacer que las tareas de manejo y cosecha sean más fáciles de completar.

Las hojas de tomate son pinnadas compuestas, la hoja típica de la planta cultivada mide hasta 50 cm de largo y un poco menos de ancho, con un gran foliolo terminal y hasta ocho grandes foliolos laterales que a veces son compuestas (Zelaya, 2001).

La cantidad de hojas que tiene una planta es un signo clave de qué tan bien puede realizar la fotosíntesis y qué tan bien puede almacenar nutrientes para el crecimiento futuro. El resultado demuestra variaciones significativas en el número de hojas por planta. El ANDEVA realizado al 95 % de confiabilidad demostró que el tratamiento de Piedrín + cascarilla de arroz tuvo el promedio más alto, con 14.86 hojas por planta, seguido del tratamiento con hueso de fibra de palma con 11.27 hojas, y el tratamiento con raíz flotante tuvo el promedio más bajo, con 8.29 hojas por planta cuadro 7.

La cantidad de hojas afecta directamente la capacidad de la planta para producir nutrientes y energía. Tener más hojas puede indicar que una planta tiene más espacio para crecer y producir más frutos. Además, el manejo adecuado de las hojas puede afectar la aireación y la capacidad de la planta para hacer frente al estrés, lo que es beneficioso para el crecimiento de la planta en su conjunto.

Cuadro 7. Comparación de medias en las variables de crecimiento del cultivo de tomate UNA, Managua 2020.

Tratamientos	DIA/TALL (cm)	ALT/PLA (cm)	HOJA/PLA (cm)
Piedrín + cascarilla de arroz	0.47 a	18.10 a	14.86 a
Piedrín + fibra de palma	0.40 ab	13.60 b	11.27 b
Raíces flotantes	0.38 b	10.00 c	8.29 c
Pr < valor	0.001	0.001	0.001
CV (%)	16.801	13.004	17.332

Nota = Diámetro del tallo (DIA/TALL), Altura de planta (ALT/PLA) y Hojas por planta (HOJA/PLA)

5.3. Rendimiento de hierbabuena y tomate kg m²

En este estudio, se evaluaron diferentes prácticas hidropónicas para ver cómo afectaban el rendimiento de los cultivos de tomate y hierbabuena. Los resultados mostraron que los tratamientos aplicados tuvieron rendimientos estadísticamente diferentes, lo determinado por la separación de medias de Tukey con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.

Para la hierbabuena, el tratamiento que arrojó el mayor rendimiento promedio fue la mezcla de Piedrín + fibra de palma, alcanzando un promedio de 4.28 kg/m².

Por otro lado, en el cultivo de tomate también se observó que el tratamiento de Piedrín + fibra de palma presentó los mayores rendimientos promedio, alcanzando un valor de 3.96 kg/m². Esta tendencia es consistente con los resultados obtenidos con la hierbabuena, lo que sugiere que esta combinación de sustratos hidropónicos puede ser beneficiosa para aumentar el rendimiento de varios cultivos.

Así mismo, se encontró que el tratamiento de raíces flotantes de hierbabuena produjo un rendimiento de 3.96 kg/m², mostrando un nivel de productividad similar al de guijarros + fibra de palma. Esto indica que el método de raíz flotante también puede ser una opción viable para el cultivo de hierbabuena; esto sugiere que esta combinación de sustratos hidropónicos puede no ser la más adecuada para altos rendimientos en el cultivo de tomate.

Cuadro 8. Comparación de medias en las variables de rendimiento kg m² para los cultivos de hierbabuena y tomate UNA, Managua 2020.

Tratamiento	Cultivos	Rend kg m ²
Piedrín + fibra de palma	Hierbabuena	4.28 a
Raíz flotante		3.47 b
	Pr < valor	0.02
	CV %	15.64
Piedrín + fibra de palma	Tomate	3.96 a
Piedrín + cascarilla de arroz		2.42 b
	Pr < valor	0.01
	CV %	16.28

Nota = Rendimiento (Rend/kg m²)

Los hallazgos de este estudio muestran que los diversos sustratos empleados en los sistemas hidropónicos tienen un impacto significativo en las características de crecimiento y el rendimiento de los cultivos de hierbabuena y tomate. En particular, tanto en hierbabuena como en tomate, la combinación de piedrín y cascarilla de arroz mostró ventajas en términos de diámetro del tallo, altura de la planta y número de hojas por planta, lo que indica que este sustrato crea un ambiente favorable para el desarrollo estructural y fisiológico de las plantas.

Este resultado concuerda con los resultados de investigaciones anteriores, como de Orellana (2013), que destacan la importancia de las características físicas del sustrato para optimizar el crecimiento de plantas hidropónicas. Sin embargo, los resultados del sistema de raíz flotante, que mostró menor rendimiento en hierbabuena y tomate, indican que este método puede no ser el más adecuado bajo las condiciones evaluadas, lo que plantea la necesidad de un ajuste en las prácticas de manejo, como la frecuencia de riego o la concentración de la solución nutritiva para mejorar su eficiencia.

Se descubrió que el tratamiento con piedrín y cascarilla de arroz aumenta la longitud de las hojas, lo que podría tener un impacto en la manipulación y conservación de la hierbabuena. Este aspecto podría ser examinado en estudios futuros para evaluar el impacto en la calidad postcosecha. Por otro lado, la tendencia observada en el tratamiento de ambos cultivos con piedrín y fibra de palma sugiere una opción viable para maximizar el rendimiento. Esto está en línea con estudios previos sobre la capacidad de retención de humedad y aireación de este sustrato.

La variabilidad en el rendimiento del sistema de raíz flotante en comparación con los otros tratamientos fue un aspecto inesperado. Esto podría deberse a factores no controlados como la temperatura ambiente y la calidad del agua. Este resultado sugiere nuevas líneas de investigación centradas en la optimización de parámetros ambientales, destacando la importancia de investigar el microclima en la implementación de sistemas hidropónicos.

Estos resultados resaltan que los sistemas hidropónicos deben manejarse con cuidado y evaluarse constantemente para garantizar su efectividad y sostenibilidad. Con el fin de mejorar los resultados observados y ampliar las aplicaciones prácticas de estos sistemas en la agricultura hidropónica, lo que sugiere que futuras investigaciones podrían centrarse en explorar combinaciones de sustratos adicionales y ajustes en la formulación de soluciones nutritivas.

VI. CONCLUSIONES

La mezcla de piedrín + cascarilla de arroz mostró diferencias significativas en las variables diámetro de planta, altura de planta, hojas por planta y longitud de la hoja en el cultivo de hierbabuena. Para el cultivo de tomate, la misma mezcla tuvo un impacto significativo en el diámetro de planta, altura de planta y hojas por planta. Esto indica que esta combinación de sustratos favorece el crecimiento en ambos cultivos, aunque con variaciones en las variables afectadas.

En el cultivo de tomate, la técnica hidropónica que mejoró el rendimiento fue la combinación de piedrín y fibra de palma, con un promedio de 3.96 kg/m². De manera similar, para la hierbabuena, la combinación de piedrín + fibra de palma también resultó ser la más efectiva, alcanzando un rendimiento promedio de 4.28 kg/m². Estos resultados destacan la eficacia de esta técnica hidropónica y la mezcla de sustratos para maximizar el rendimiento de ambos cultivos.

VII. RECOMENDACIONES

Es importante adquirir los conocimientos técnicos fundamentales necesarios para comprender el manejo de este sistema con el fin de asegurar un adecuado mantenimiento. La eficacia de los tratamientos y el éxito del cultivo se aseguran mediante la comprensión de las mejores prácticas y precauciones fundamentales.

El ajuste regular del pH y los niveles de fertilización es uno de los aspectos más importantes del mantenimiento hidropónico. Dado que afecta la disponibilidad de nutrientes para las plantas, es crucial mantener un control regular del pH en el sistema. Para evitar la escasez o el exceso de nutrientes, que podrían afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas, es igualmente importante monitorear y ajustar las tasas de fertilización.

Utilizar un buen sistema de aireación es fundamental. Esto se puede hacer poniendo un sistema de recirculación de agua o instalando un difusor de aire, ambos tienen como objetivo favorecer la correcta oxigenación del sistema. Para plantas sanas en general y una función adecuada de las raíces, el sistema hidropónico debe tener una oxigenación adecuada.

VIII. LITERATURA CITADA

- Beltrano, J., & Giménez, D. (2015). *Cultivo en hidroponía*. Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN).
- Cajo, A. (2016). Producción hidropónica de tres variedades de lechuga (*Lactuca sativa L.*), bajo el sistema NFT, con tres soluciones nutritivas. (Tesis), 102 pp.
- Díaz, T., & Hernández, D. A. (2003). Comportamiento de la germinación de las semillas tratadas con cloro (Cl). *Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova*, 63-66. <http://www.utm.mx/temas/temas-docs/nota4t19.pdf>
- EDIFORM. (2006). *VADIAGRO: Principales problemas fitosanitarios* (Tomo I, 3ª ed., pp. 89-92, 193-212). Edifarm Internacional Costa Rica.
- Escobar, H., & Lee, R. (2009). *Manual de producción de tomate bajo invernadero* (2ª ed., vol. 2). Bogotá, Colombia: Disponible en https://www.utadeo.edu.co/files/node/publication/field_attached_file/pdf-manual_produccion_de_tomate_-_pag.-_web-11-15.pdf
- FAO (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación). (2003). La huerta hidropónica popular.
- FAO (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación). (2011). Programa especial para la seguridad alimentaria: Elaboración y uso del bocashi
- Gelvez Salazar, Leonardo Augusto, y Paula Andrea Ovalle Pinilla. «Repository UNAB.» 2019. https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/13556/Manual_de_Hidroponia%20.pdf.
- HERBOTECNIA. (2009). Informativo publico demostrativo sobre especies vegetales exóticas. Disponible en: <http://www.herbotecnia.com.ar/exotica.html>.
- Infoagro Systems S.L. (2016). El cultivo de tomate: Parte I. (en línea). Madrid, España. s.p. Consultado 20 oct. 2016. http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_tomate_partei_.asp.
- InfoAgro. (2018). La importancia de cultivar en hidroponía. <https://mexico.infoagro.com/la-importancia-de-cultivar-en-hidroponia/>.
- InfoAgro. (2019). Importancia económica del tomate en México <https://mexico.infoagro.com/importancia-economica-del-tomate-en-mexico/>
- INATEC. «Manual del Protagonista CULTIVOS DE HORTALIZAS.» INATEC. Enero de 2018. https://www.tecnacional.edu.ni/media/Hortalizas_3X2OH2y.pdf

- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). (2004). Manejo Integrado de Plagas: Cultivo de Tomate. <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/guias/GUIA%20MIP%20tomate%202014.pdf>
- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). (2014). Manejo integrado de plagas. Cultivo de tomate: Guía MIP (en línea). Managua, Nicaragua. <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/guias/GUIA%20MIP%20tomate%202014.pdf>
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). (2021). Datos climáticos, estación Augusto Cesar Sandino.
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). 1996. Descriptores para tomate (*Lycopersicon* spp L.) (en línea). 47 p. Consultado 10 mar. 2017. Disponible en https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/73043/Descriptores_tomate_489.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- MATA-VÁZQUEZ, H., R. A. ANGUIANO-AGUILAR, E. VÁZQUEZ-GARCÍA, y GÁZANO-. «Producción de tomate sistema hidropónico con solución nutritiva reciclable en sustrato .» *CienciaUAT*, 2010: 50-54.
- Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. (2013). Buenas prácticas sobre la alimentación. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/gl/ministerio/servicios/informacion/lechuga_tcm37-102416.pdf
- Monardes, H. 2009. Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill): Características botánicas. Origen (en línea). Chile. Universidad de Chile 13 p. Consultado 8 oct. 2016. Disponible en http://www.cepoc.uchile.cl/pdf/Manua_Cultivo_tomate.pdf
- Mora Aguilar, L. M. (2002). *Cultivo del tomate*. Universidad Nacional Agraria (UNA), Managua, Nicaragua.
- OLEODAVILA S.A. «Casacarilla de Palma.» *Ficha Técnica Cascarilla de Palma* . 8 de 2016.
- Orellana, J. (2013). Efecto de varias dosis de fertilizante nitrogenado en el comportamiento agronómico del cultivo de hierbabuena (*Mentha sativa* L.) en la parroquia Cone, provincia del Guayas. (*Tesis de grado*). Universidad de Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/2630/1/tesis%20de%20hierbabuena.pdf>
- Quintero, J. J. (1985). Cultivo del perejil y de la hierbabuena. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1985_14.pdf

- Ramírez, F; Muñoz, F. 2018. Curva de nutrientes para la etapa de vivero de tres materiales de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/35670/36299>
- Sánchez, S. (2020, noviembre 12). Tipos de sustrato para tu cultivo hidropónico. *Universidad Agrícola*. <https://universidadagricola.com/conoce-los-tipos-de-sustrato-para-tu-cultivo-hidroponico/>
- Sevilla, R. (2005). Comportamiento del crecimiento y desarrollo de 10 especies medicinales bajo dos tipos de tratamientos, en la comunidad de Pacora, San Francisco Libre. (Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria). <https://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/1060>
- Systems, Hydroponic. *Hydroponic Systems International*. 06 de agosto de 2021. <https://hydroponicsystems.eu/es/ventajas-de-cultivo-de-tomate-en-sistemas-hidroponicos/>
- Valles Rigió, G.J, Lugo González, J.G, Rodríguez G, Z.F, & Díaz T, L.T. «Efecto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre el crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en un sistema hidropónico sin cobertura.» *Revista de la Facultad de Agronomía*, 2009: 26(2), 159-178. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182009000200002&lng=es&tlng=es.
- Zárate, A. (2014) *Manual de Hidroponía*. https://drive.google.com/file/d/1KepLH4_WR11Cox4eF99G7sORAbITYRY0/view.
- Zelaya Escorcia, W. (2001). *Agronomía del cultivo de tomate (Lycopersicum esculentum)*. UNA. Managua, NI. P 5.

IX. ANEXO

Anexo 1. Instalación de sistemas hidropónico sustrato y raíz flotante



Anexo 2. Establecimiento de cultivo de tomate y hierbabuena



Anexo 3. Desarrollo de cultivo de tomate y hierbabuena

