

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN AGRONÓMICAS**

**CARACTERIZACIÓN DE SUSTRATOS ORGANICOS E
INORGÁNICOS A NIVEL DE REGION EN GUATEMALA Y SU
EFECTO EN EL RENDIMIENTO DE HORTALIZAS EN CULTIVO
HIDROPÓNICO.**

TESIS

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA**

POR

AUTOR

RUBÉN EVERALDO ESTRADA ALARCÓN

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, AGOSTO DEL 2,003.

DL
10
7(2023)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M.V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Dr.	Ariel Abderraman Ortiz López
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr.	Alfredo Itzep Manuel
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr.	Manuel de Jesús Martínez Ovalle
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr.	Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO:	Br.	Luis Antonio Raguay Pirique
VOCAL QUINTO:	Br.	Juan Manuel Corea Ochoa
SECRETARIO:	Ing. Agr.	Pedro Peláez Reyes

Guatemala, julio del 2003.

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía

Señores miembros:

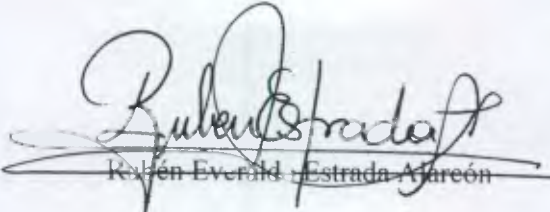
De manera mas atenta y de acuerdo con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someterme a vuestra consideración el trabajo titulado.

**CARACTERIZACIÓN DE SUSTRATOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS A NIVEL DE
REGIÓN EN GUATEMALA Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO DE HORTALIZAS EN
CULTIVO HIDROPÓNICO**

Presentando como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para la aprobación, me suscribo,

Atentamente,


Rubén Everald Estrada Arcón

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Por estar en todos los momentos de mi vida y permitirme llegar a cumplir una mas de mis metas.

MIS PADRES: Berta Lina Alarcón de Estrada y Everaldo Estrada Calderón, por el valioso apoyo incondicional que me brindaron, que este triunfo sea recompensa a sus innumerables esfuerzos y sacrificios.

MIS HERMANOS: David, Hermán, Marta, Damián, Alberto, con aprecio y cariño. En especial a mi hermana Sylvia Carpio.

MIS ABUELOS: Ernestina Sandoval
Rubén Alarcón Carpio
María Elisa Calderon de Estrada (QEPD)
Alberto Estrada Juárez (QEPD)

MIS TIOS: Por su apoyo incondicional.

MIS SOBRINAS: Berta Graciela, Andrea Lucia, Felipe Alejandro y demás sobrinos.

MI CUÑADO: Felipe Escobar Zepeda, con aprecio.

MIS PRIMOS: Por la unión familiar que mantenemos.

ESPECIALMENTE A: Lidia del Carmen Jordán, por su amor y apoyo.

AMIGOS Y AMIGAS: Alfredo Suárez, Camilo Medina, José Antonio, Nick Estrada, Rubén Zaldaña, Pablo Marín, Giovanni Miranda, Luis Montes, Omar Tuchán, Farley Castro, Arturo Amarra, Mauricio Warren, Vinicio Paíz, Rosendo Fernández, Ronny Roma, Paola Rodríguez, Luis Reyes, Sergio Gutiérrez, Roberto Chávez, Tania Cadenas, María José Ortega, Baldomero Sandoval, Henry España y a muchos otros que no mencione, pero que estuvieron para brindarme su amistad y apoyo.

TESIS QUE DEDICO

A:

DIOS.

MI PATRIA GUATEMALA.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

FACULTAD DE AGRONOMÍA.

TODOS LOS AGRICULTORES DE GUATEMALA.

MIS AMIGOS EN GENERAL.

AGRADECIMIENTOS

Mi asesor Ing. Agr. Domingo Amador, por su colaboración incondicional en la planeación, realización y análisis del presente trabajo.

A los Ing. Aníbal Sacbaja, Ing. Maxdelio Herrera, Ing. Marino Barrientos, Ing. Rolando Lara, Ing. Francisco Vásquez, Ing. Isaac Herrera, por su amistad y su valiosa colaboración y apoyo para la realización del presente trabajo de investigación.

Todos los trabajadores del Centro Experimental Docente de Agronomía por su colaboración, durante la realización del trabajo de campo.

Al personal de laboratorio Salvador Castillo de la Facultad de Agronomía, por la facilidad de realizar los análisis.

A las familias Estrada Orozco, Fernández Rivera y Amarra Ruíz, por abrirme las puertas de su hogar, en la fase de recolección de los sustratos.

Todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron en la realización de este trabajo. A todos muchas gracias.

INDICE GENERAL

	Página
INDICE DE CUADROS	iii
INDICE DE FIGURAS	v
GLOSARIO DE TÉRMINOS	v
RESUMEN	vi
1 Introducción	1
2 Planteamiento del Problema	2
3 Justificación	3
4 Marco Teórico	4
4.1 Marco Conceptual	4
4.1.1 Hidroponía	4
4.1.2 Ventajas de la Hidroponía	5
4.1.3 Comparación de los cultivos con suelo y sin suelo	6
4.1.4 Nutrición de las plantas	7
4.1.5 Sustratos	8
4.1.5.A Características del sustrato "adecuado"	8
4.1.5.B Características que deben tener los buenos sustratos	8
4.1.5.C Funciones del sustrato	9
4.1.5.D Propiedades de los sustratos de cultivo	9
4.1.5.E Propiedades Físicas	9
4.1.5.F Propiedades Químicas	12
4.1.5.G Clasificación de los materiales	13
4.1.6 Soluciones Nutritivas	14
4.1.6.A pH de la solución	14
4.2 Marco Referencial	15
4.2.1 Localización del área experimental	15
4.2.2 Clima y Zona de vida	15
4.2.3 Cultivos estudiados en sistemas hidropónicos	15
4.2.3.A Tomate	15
4.2.3.B Chile Jalapeño	16
4.2.3.C Pepino	17
4.2.3.D Sandía	18
4.2.3.E Lechuga	18
4.2.3.F Brócoli	19
4.2.3.G Repollo	20
4.2.4 Regiones del país a considerar	21
4.2.4.A Región I	21
4.2.4.B Región II	21
4.2.4.C Región III	21
4.2.4.D Región IV	22
4.2.4.E Región V	22
4.2.4.F Región VI	22
4.2.4.G Región VII	22

5	Objetivos	24
6	Hipótesis	25
7	Metodología	26
7.1	Fase preliminar	26
7.2	Fase de laboratorio	26
7.3	Fase experimental o de campo	29
8	Resultados	35
9	Conclusiones	61
10	Recomendaciones	63
11	Bibliografía	64
12	Apéndices	66

INDICE DE CUADROS

	Página	
Cuadro 1	Comparación entre cultivos con suelo y cultivos sin suelo	6
Cuadro 2	Profundidad a la cual los cultivos extraen el agua que utilizan	20
Cuadro 3	Sustratos evaluados por región	31
Cuadro 4	Distanciamientos de siembra de los cultivos a utilizar en la evaluación.	32
Cuadro 5	Características físicas de los sustratos de la región I	35
Cuadro 6	Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región I	36
Cuadro 7	Características químicas de los sustratos de la región I.	36
Cuadro 8	Rendimiento de tomate <i>Lycopersicon sculentum</i> Mill de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 79 días después del transplante	37
Cuadro 9	Largo de raíz principal de tomate <i>Lycopersicon sculentum</i> Mill de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 79 días después del transplante	38
Cuadro 10	Características físicas de los sustratos de la región II	39
Cuadro 11	Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región II	39
Cuadro 12	Características químicas de los sustratos de la región II	40
Cuadro 13	Rendimiento de chile jalapeño <i>Capsicum annum</i> L. de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 78 días después del transplante	40
Cuadro 14	Altura de planta de chile jalapeño <i>Capsicum annum</i> L. de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 78 días después del transplante	41
Cuadro 15	Largo de raíz de chile jalapeño <i>Capsicum annum</i> L. de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 78 días después del transplante	41
Cuadro 16	Características físicas de los sustratos de la región III	42
Cuadro 17	Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región III	43
Cuadro 18	Características químicas de los sustratos de la región III	43
Cuadro 19	Rendimiento de pepino <i>Cucumis sativus</i> L. de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 80 días después del transplante	44
Cuadro 20	Altura de planta de pepino <i>Cucumis sativus</i> L. de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 80 días después del transplante	45
Cuadro 21	Largo de raíz principal de pepino <i>Cucumis sativus</i> L. de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 80 días después del transplante	45

Cuadro 22	Características físicas de los sustratos de la región IV	46
Cuadro 23	Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región IV	47
Cuadro 24	Características químicas de los sustratos de la región IV	47
Cuadro 25	Rendimiento de materia seca de sandía <i>Citrullus lanatus</i> Thunb. de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 80 días después del trasplante	48
Cuadro 26	Largo de raíz de sandía <i>Citrullus lanatus</i> Thunb. de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 80 días después del trasplante	48
Cuadro 27	Características físicas de los sustratos de la región V	49
Cuadro 28	Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región V	50
Cuadro 29	Características químicas de los sustratos de la región V	50
Cuadro 30	Rendimiento de lechuga <i>Lactuca sativa</i> L. de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 69 días después del trasplante	51
Cuadro 31	Largo de raíz de lechuga <i>Lactuca sativa</i> L. de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 69 días después del trasplante	51
Cuadro 32	Diámetro de lechuga (<i>Lactuca sativa</i> L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 69 días después del trasplante	52
Cuadro 33	Características físicas de los sustratos de la región VI	53
Cuadro 34	Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región VI	53
Cuadro 35	Características químicas de los sustratos de la región VI	54
Cuadro 36	Rendimiento de materia seca de brócoli <i>Brassica oleraceae</i> L. de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 68 días después del trasplante	54
Cuadro 37	Largo de raíz de brócoli <i>Brassica oleraceae</i> L. de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 68 días después del trasplante	55
Cuadro 38	Altura de planta de brócoli <i>Brassica oleraceae</i> L. de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 68 días después del trasplante	55
Cuadro 39	Características físicas de los sustratos de la región VII	57
Cuadro 40	Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región VII	57
Cuadro 41	Características químicas de los sustratos de la región VII	58
Cuadro 42	Rendimiento de materia seca de repollo <i>Brassica oleraceae</i> var. capitata de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 68 días después del trasplante	59
Cuadro 43	Largo de raíz de repollo <i>Brassica oleraceae</i> var. capitata de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 68 días después del trasplante	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Alta rocosidad en la Región VI, limita el cultivo en suelo	5
Figura 2	Mapa de distribución de regiones, para recolección de sustratos	23
Figura 3	Plano del experimento en cada región que se considero	30

GLOSARIO DE TÉRMINOS

EP =	Espacio poroso.
CA =	Capacidad de aireación.
AFD =	Agua fácilmente disponible.
D =	Densidad.
M =	Mojabilidad.
CV =	Contracción de volumen.
Ppm =	Partes por millón.
CE =	Conductividad eléctrica.
Meq/100gr =	Miliequivalentes por cada 100 gramos de sustrato.
c.a. =	columna de agua.

CARACTERIZACIÓN DE SUSTRATOS ORGANICOS E INORGÁNICOS A NIVEL DE REGION EN
GUATEMALA Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO DE HORTALIZAS EN CULTIVO HIDROPÓNICO

CHARACTERIZATION OF ORGANIC AND INORGANIC SUSTRATES AT LEVEL OF REGION IN
GUATEMALA AND THEIR EFFECT IN THE YIELD OF VEGETABLES IN CULTIVATION
HIDROPÓNICS

RESUMEN

En la actualidad la poca disponibilidad de áreas de cultivo ha llevado a utilizar nuevas técnicas de producción de cultivos que sean económicamente rentables y que la demanda de mercado sea grande. Esto lo permite la técnica de hidroponía, cultivar en áreas de poco o ningún potencial agrícola y que sean áreas reducidas, utilizando al máximo el espacio disponible. La hidroponía se complementa por varios aspectos, entre estos se encuentran los sustratos, que presentan diversas características entre las distintas regiones en que se encuentran; por lo cual es necesario evaluar las características físicas y químicas de distintos sustratos orgánicos e inorgánicos de las regiones del país, para ser utilizados en la técnica de hidroponía. La investigación se realizó en distintas fases; FASE PRELIMINAR, que fue la colecta de sustratos, estos se recolectaron, según la distribución de las regiones que se consideraron EN LA FASE DE LABORATORIO se determinaron las características físicas y químicas de dichos sustratos. Por último se realizó la FASE EXPERIMENTAL O DE CAMPO para caracterizar, el comportamiento agronómico de los cultivos que fueron evaluados en dichos sustratos.

En la **región I** (que comprende los departamentos de Jutiapa, Jalapa, Santa Rosa, Chiquimula, El Progreso y Zacapa), se puede determinar que el sustrato con las características más deseables es el olote quebrado; en cuanto a lo observado en el desarrollo morfológico del cultivo, de tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill.) recolectado en su totalidad (fruto, follaje y raíz) a los 79 días después del transplante, los mejores tratamientos fueron en cuanto a mayor rendimiento en arena cuársica y olote quebrado en una relación 1:1 y arena cuársica presentando una media de 1895.40 gramos y 1417.70 gramos respectivamente.

En la **región II** (que comprende los departamentos de Izabal y El Petén), se puede determinar que el sustrato que presenta las características más deseables es la arena cuársica. En cuanto a lo observado en el desarrollo morfológico del cultivo, de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) recolectado en su totalidad (fruto, follaje y raíz) a los 78 días después de transplantado, los mejores tratamientos fueron en cuanto a mayor rendimiento arena cuársica y la mezcla de arena cuársica + aserrín de pino en una relación de 1:1 presentando una media de 340.25 gramos y 259.25 gramos respectivamente.

En la **región III** (que comprende los departamentos de Baja Verapaz y Alta Verapaz), se puede observar que individualmente, los sustratos presentan características deseables, a utilizarse en la técnica de hidroponía, pero que sus ventajas se complementaron por medio de las mezclas entre ellos. En cuanto a lo observado en el

desarrollo morfológico del cultivo, de pepino (*Cucumis sativus* L.) cosechado en su totalidad (fruto, follaje y raíz) a los 80 días después del transplante, los mejores tratamientos fueron en cuanto a mayor rendimiento roca (serpentinita) + arena cuársica en una relación de 1:1 con una media por planta de 3256.1 gramos.

En la región IV (que comprende los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu), se puede observar que individualmente, estos sustratos presentan características deseables, a utilizarse en la técnica de hidroponía, pero que sus ventajas se complementaron por medio de mezclas entre ellos. En cuanto a lo observado en el desarrollo morfológico del cultivo, de sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.) cosechado en su totalidad (fruto, follaje y raíz) a los 80 días después del transplante, los mejores tratamientos fueron en cuanto a mayor rendimiento de materia seca; la mezcla de escoria volcánica negra + grava y arena pirolástica en una relación 1:1, grava y arena pirolástica y la mezcla de escoria volcánica negra + fibra de coco en una relación 1:1 con una media por planta de 268.65, 249.16 y 222.63 gramos respectivamente.

En la región V (que comprende los departamentos de Sólola, Quetzaltenango y San Marcos), se puede discernir que el mejor sustrato para la elaboración de cultivos hidropónicos es grava de piedra pómez o la mezcla de grava de piedra pómez + gravilla (andesita) en una relación 1:1. En cuanto a lo observado en el desarrollo morfológico del cultivo, de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cosechado en su totalidad (follaje y raíz) a los 69 días después del transplante, los mejores tratamientos fueron en cuanto a mayor rendimiento grava de piedra pómez y grava de piedra pómez + gravilla (andesita) en una relación 1:1 presentando una media de 797.08 gramos y 687.50 gramos respectivamente.

En la región VI (que comprende los departamentos de Huehuetenango, Totonicapán y Quiché), se puede mencionar que los sustratos estudiados de esta región, roca caliza clara y roca caliza oscura no presentan valores adecuados, principalmente en lo que se refiere al agua fácilmente disponible en el cultivo de brócoli (*Brassica oleraceae* L.) en base a los resultados observados se determinó como mejor tratamiento el testigo (pómez blanca + cascarilla de arroz en una relación 1:1) con una media de 66.79 gramos.

En la región VII (que comprende los departamentos de Guatemala, Chimaltenango y Sacatepéquez), se puede mencionar que los sustratos utilizados de esta región, grava y arena de ladrillo quebrado, escoria volcánica roja y cascarilla de arroz no presentan valores adecuados individualmente; lo cual al ser utilizados como mezclas, estos superaron a los tratamientos en donde los sustratos estaban utilizados individualmente. En cuanto a lo observado en el desarrollo morfológico del cultivo, de repollo (*Brassica oleraceae* var. *Capitata* L.) este fue cosechado en su totalidad (follaje y raíz) a los 68 días después de transplantado, se determina que el mejor tratamiento es grava y arena de ladrillo quebrado con una media de 148.23 gramos.

1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de cultivo aplicadas en la producción hortalizas, han experimentado cambios rápidos y notables durante las tres últimas décadas, entre las cuales se encuentran; la utilización de invernaderos con cobertura plástica, sistemas sencillos de control climático, equipo de riego y fertilización automatizados. Estos se han difundido ampliamente, con el fin de ofrecer mejores productos, aumentar la productividad de los cultivos e incrementar la calidad de las cosechas (Cadahia, 2000).

Unido a estos cambios tecnológicos, se viene produciendo una sustitución gradual de cultivos intensivos en el suelo por el cultivo sin suelo. La principal razón de esta situación, es la existencia de factores limitantes para la continuidad de los cultivos intensivos en el suelo natural, particularmente; salinización, microorganismos patógenos, pH, agotamiento de los suelos agrícolas y condiciones adversas para el desarrollo del cultivo. El cultivo de las plantas en un sustrato permite, el control riguroso del medio ambiente radicular, particularmente de los aspectos relacionados con el suministro de agua, control de pH y nutrientes, facilitando así una fuerte intensificación del cultivo (Sánchez, 1981).

Entendemos por sustrato un medio sólido inerte, que tiene una doble función: la primera, anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles la respiración y la segunda, contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan. El empleo de sustratos sólidos por los cuales circula la solución nutritiva, es la base del cultivo hidropónico en América Latina.

La presente investigación tuvo como objetivo determinar un sustrato para cada región del país que permita ser utilizado en la técnica de hidroponía en el proceso de producción de hortalizas. Además se procedió a la realización de análisis físicos y químicos de los sustratos para conocer sus características individuales y aumentar sus ventajas en cuanto a la elaboración y uso de mezclas y disminuir sus desventajas individuales. El estudio en fase experimental (invernadero), se llevó a cabo utilizando un diseño completamente al azar, durante el periodo de febrero a abril del 2003.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Guatemala, por ser un país subdesarrollado, en el cual su población subsiste de la agricultura en su gran mayoría, es necesario buscar nuevas alternativas para mejorar las condiciones de producción y así mismo elevar el nivel socioeconómico del país.

Entre los productos agrícolas de mayor producción están las hortalizas, las cuales no solo tienen una gran demanda a nivel nacional sino también internacional, por lo que se deben buscar alternativas tecnológicas que permitan mejorar esos niveles de producción y ante todo la calidad de productos. Sin embargo, deben adecuarse al nivel económico de los agricultores. La hidroponía, es la técnica en la cual se utiliza un sustrato inerte en vez de suelos pobres o no aptos a la agricultura y el uso de soluciones nutritivas las cuales regularán de mejor manera el suministro de nutrientes y agua, permitiendo de esta manera mejorar los niveles de producción, la calidad de los productos y en gran medida reducir los costos.

Para el mejor desarrollo de esta técnica se debe de estudiar todo el complejo del sistema hidropónico, tomando en cuenta la importancia que presenta cada una de sus partes, como los son sustratos, contenedores, solución nutritiva y el mismo manejo del cultivo. De lo anteriormente mencionado, uno de los aspectos con más variabilidad, entre lo existente para la realización de esta técnica son los sustratos, tomando en cuenta que éstos deben contener las características mínimas para el buen desarrollo del cultivo.

En la actualidad no existe una caracterización de sustratos a nivel de región en el país, que permita recomendar con base científica, los mejores sustratos para la producción de hortalizas bajo el sistema de hidroponía. En tal sentido se planteó la siguiente investigación.

3. JUSTIFICACION

En la actualidad la poca disponibilidad de áreas de cultivo ha llevado a utilizar nuevas técnicas de producción de cultivos que sean económicamente rentables y que la demanda de mercado sea grande. Esto permite la técnica de hidroponía, cultivar en áreas de poco o ningún potencial agrícola y que sean áreas reducidas, utilizando al máximo el espacio disponible. La hidroponía permite tener una mejor utilización del recurso agua, menor utilización de mano de obra, mayor calidad del producto entre otros beneficios.

Un uso correcto de la hidroponía contribuirá a solucionar la mayor parte de la demanda de productos agrícolas en el mercado y una mejor utilización de los nutrientes aportados a la planta.

Por lo expuesto anteriormente, la hidroponía se complementa por varios aspectos, entre estos se encuentran los sustratos, que presentan diversas características entre las distintas regiones en que se encuentran; por lo cual es necesario evaluar las características físicas y químicas de distintos sustratos orgánicos e inorgánicos de las regiones del país, para ser utilizados en la técnica de hidroponía.

Las características físicas y químicas de los sustratos, son importantes para realizar un manejo adecuado de la fertilización y del riego; por lo tanto, el éxito del cultivo. El presente estudio tiene como objetivo determinar los sustratos de cada región que presenten las mejores características para el desarrollo de los cultivos de esa región.

Los resultados obtenidos serán aplicados en los sistemas hidropónicos de la siguiente manera: al conocer las características físicas de estos materiales se manejará de mejor manera y más eficientemente el recurso agua, en lo que se refiere al riego, ya que esta investigación será base fundamental para la evaluación de frecuencias de riego en distintos cultivos con condiciones climáticas específicas para cada región. Al conocer las características químicas de los materiales evaluados se tendrá información sobre la fracción disponible que los sustratos podrían llegar a proveer al cultivo, disminuyendo la cantidad de fertilizantes a aplicar en la solución nutritiva.

Entre las limitaciones de la presente investigación se encuentran la obtención de datos, sobre los turnos de riego necesarios para cada uno de los sustratos basándose en su capacidad de retención de agua y nutrientes.

4. MARCO TEORICO

4.1. MARCO CONCEPTUAL

4.1.1. HIDROPONÍA

El término hidroponía deriva de los vocablos griegos "hydro" o "hador", que significa agua, y "ponos", equivalente a trabajo o actividad. Literalmente se traduce como "trabajo del agua" o "actividad del agua".

Se puede definir la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y en el que, en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución (Sánchez, 1981).

El cultivo hidropónico o cultivo de plantas sin suelo es una forma de producir verduras frescas y sanas en lugares en donde no es posible desarrollar agricultura, como complemento de la dieta familiar (Catacora, 2001).

Su importancia es considerada desde diferente superación de la pobreza, siendo fuente de ingresos además de disminuir los gastos familiares por la compra de alimentos. Se adecua a los ambientes y espacios de casas (patios, azoteas) posibilitando la producción de alimentos en zonas urbanas (Catacora, 2001).

Los objetivos que se consiguen bajo cultivos hidropónicos a nivel de invernadero son; obtener producciones fuera de época, incrementar el rendimiento por metro cuadrado y mejorar la calidad comercial de las cosechas producidas (González, 2000).

La hidroponía es considerada como un sistema de producción agrícola; tiene gran importancia dentro de los contextos ecológico, económico y social, dicha importancia se basa en la gran flexibilidad del sistema, es decir, por la posibilidad de aplicarlo con éxito, bajo muy distintas condiciones y para diversos usos (Sánchez, 1981).

El sistema hidropónico puede utilizarse ventajosamente en distintas regiones:

- A. **Producir alimentos en zonas áridas:** En esta regiones, en donde las fuentes de agua son limitadas, se exige el uso mas eficiente de la misma. Dado que en la hidroponía es posible la recirculación de agua y evitando su pérdida por evaporación, se considera que casi solo se pierde la que se transpira.
- B. **Para producir en regiones tropicales:** Bajo condiciones de clima cálido-seco, el sistema hidropónico resulta ventajoso para la producción de numerosos cultivos, por no requerir de gastos en invernadero ni estructuras semejantes.

- C. **Para producir bajo condiciones de clima templado y frío:** En la mayoría de estas regiones con dichos climas hay pocos cultivos de explotarse económicamente. Existe la posibilidad de producir cosechas fuera de estación, lo que permite lograr mejores precios en el mercado.
- D. **Para producir en aquellos lugares en donde no es posible la agricultura normal debido a limitantes del suelo:** Estas limitaciones pueden ser salinidad, erosión, pedregosidad, rocosidad, arcilla, pendientes fuertes, etc (Sánchez, 1981).



Figura 1 Alta rocosidad en la Región VI, limita el cultivo en suelo.

4.1.2. VENTAJAS DE LA HIDROPONÍA

La hidroponía, presenta un gran número de ventajas, tanto desde el punto de vista técnico como del económico, con respecto a otros sistemas del mismo género, pero bajo cultivo en suelo; presenta las siguientes ventajas:

- A. **Promueve el balance de aire, agua y nutrientes:** Cuando el suelo se satura de agua, se encuentra disponible para las raíces en grandes cantidades, pero el oxígeno del suelo tiende a ser limitante; a medida que el suelo va perdiendo agua, la cantidad de oxígeno disponible va en aumento. En hidroponía, dadas las características del sistema, es posible mantener tanto el aire como el agua dentro del rango óptimo requerido por los cultivos.
- B. **Humedad uniforme:** Bajo un sistema hidropónico la humedad del sustrato puede ser siempre uniforme y controlada.
- C. **Excelente drenaje:** Esta característica, sumada a que los materiales usados como sustratos generalmente no se desintegran o parten fácilmente, da como resultado una excelente aireación para las raíces.

- D. **Permite una mayor densidad de población:** Ya que los nutrientes no son limitantes, las plantas cultivadas en hidroponía pueden plantarse mas cerca que sus similares en el suelo; aquí el factor que viene a limitar la densidad, es la luz.

4.1.3. COMPARACIÓN DE LOS CULTIVOS CON SUELO Y SIN SUELO

El gran incremento de las cosechas con el cultivo hidropónico frente a las normales es producido normalmente por diversos factores. El suelo puede carecer de nutrientes o tener una estructura pobre; así pues el cultivo sin suelo sería en este caso muy beneficioso. Las comparaciones entre un sustrato y el suelo se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1 Comparación entre cultivos con suelo y cultivos sin suelo.

Prácticas de Cultivo	Con Suelo	Sin Suelo
1. Esterilización del medio de cultivo	Vapor, Fumigantes, químicos; trabajo intensivo; proceso muy largo, al menos de dos o tres semanas.	Vapor, Fumigantes químicos, con algunos de los sistemas; con otros solo se usa HCl o hipoclorito cálcico; el tiempo preciso para la esterilización es corto.
2. Nutrición Vegetal	Muy variable, suelen aparecer deficiencias localizadas; a veces los nutrientes no son utilizados por las plantas debido al pH o a la mala estructura del terreno. condición inestable, dificultad para el muestreo.	Control completo, relativamente estable, homogénea para todas las plantas, fácilmente disponibles en las cantidades que se precisen, buen control del pH, fácil testado, toma de muestras y ajuste.
3. Densidad de plantación	Limitado por la nutrición que puede proporcionar el suelo y por las disponibilidades de luz.	Limitado solamente por la iluminación; así pues, es posible una mayor densidad de plantación; lo cual dará como resultado una mayor cosecha por unidad de superficie.
4. Control de malas hierbas.	Siempre existen, hay que efectuar laboreo.	No existen, no hay laboreo.
5. Enfermedades y parásitos en el suelo.	Gran número de enfermedad del suelo, nematodos, insectos y otros animales que puedan dañar las cosechas, es frecuente rotar las cosechas para evitar estos daños.	No hay enfermedades, insectos, ni animales en el medio de cultivo, tampoco enfermedades en las raíces, ni es precisa la rotación de cosechas.
6. Agua.	Las plantas están sujetas a menudo a trastornos debidos a una pobre relación agua-suelo, a la estructura de éste y a una capacidad de retención muy baja. Las aguas salinas no pueden ser utilizadas. El uso de agua es poco eficiente, tanto por la percolación como por una alta evaporación en la superficie del suelo.	No existe estrés hídrico. El automatismo es completo con el uso de un detector de humedad y un control electrónico del riego, puede utilizarse agua con un contenido de sales relativamente alto; hay un alto grado de eficiencia en el uso de agua; con un uso apropiado pueden reducirse las pérdidas por evaporación y evitarse la percolación.
7. Calidad del fruto.	El fruto a menudo es blando, debido a las deficiencias en calcio y potasio, dando lugar a una escasa conservación.	El fruto es firme, con buena conservación, lo que permite a los agricultores el cosechar la fruta madura y enviarla a zonas distantes.

8. Fertilizantes.	Se aplican al voleo sobre el suelo, utilizando grandes cantidades, sin ser uniforme su distribución y teniendo grandes pérdidas por lavado, que a veces alcanza el 50 - 80%.	Se utilizan pequeñas cantidades, que al estar distribuidas uniformemente, permiten una utilización uniforme por las raíces, con muy pocas pérdidas por lavado.
9. Estado sanitario.	Los restos orgánicos que se utilizan frecuentemente como fertilizantes suelen ser causa de enfermedades en los consumidores.	Al no añadir agentes biológicos a las plantas, no existen agentes patógenos en ellas.
10. Transplante.	Es preciso preparar el suelo, a pesar de lo cual, las plantas suelen presentar trastornos en los primeros días. Es difícil controlar la temperatura del suelo, así como los organismos patógenos que motiven el retardo del crecimiento o incluso la muerte de las plantas.	No se necesita una preparación especial del medio para el transplante. La temperatura del medio puede mantenerse en un óptimo por medio de una mayor o menor circulación de la solución nutritiva. No existen agentes patógenos.
11. Maduración.		Con unas condiciones adecuadas de iluminación se puede conseguir un adelanto en la maduración, que se muestra con mayor eficacia en los cultivos hidropónicos.
12. Conservación del medio de cultivo.	El uso de los cultivos en invernadero debe cambiarse de forma periódica, debido a la pérdida de fertilidad y estructura. En el caso de cultivos al aire libre se hace preciso el barbecho.	No es preciso cambiar el medio en los cultivos de arena, agua o grava, ni utilizar el barbecho. El aserrín, la turba y la vermiculita pueden utilizarse bastantes años sin necesidad de renovarse.
13. Cosecha.	Los tomates en invernaderos producen de 15 a 20 lbs/planta.	Cosecha de 30 lbs/planta en tomates.

4.1.4. NUTRICION DE LAS PLANTAS

La base de la hidroponía es la nutrición vegetal, por lo que cualquiera que intente emplear técnicas hidropónicas deberá tener suficientes conocimientos de las necesidades nutritivas de las plantas. Es conveniente disponer de un programa de diagnosis que nos permita conocer el nivel nutricional de la planta en cualquier momento, para así poder evitar los desequilibrios nutricionales que limitarían el crecimiento de la misma.

El método ideal para diagnosticar alguna deficiencia de nutrientes es el análisis foliar una o dos veces por semana como medida preventiva, para así medir el nivel de cada uno de los elementos esenciales en los tejidos de las plantas y así poder corregir alguna deficiencia vía solución nutritiva.

En los cultivos hidropónicos, todos los elementos esenciales se suministran a las plantas disolviendo las sales fertilizantes en agua, para preparar la solución de nutrientes. La elección de las sales que deberán ser usadas depende de un elevado número de factores.

Las diferentes sales fertilizantes que podemos usar para la solución de nutrientes tienen a la vez diferente solubilidad. La solubilidad es la medida de concentración de sal que permanece en solución cuando disolvemos esta en agua; si una sal tiene baja solubilidad, solamente una pequeña cantidad de esta

se disolverá en el agua. En los cultivos hidropónicos, las sales fertilizantes deberán tener una alta solubilidad, puesto que deben permanecer en solución, para ser tomadas por las plantas (Resh, 2001).

4.1.5. SUSTRATOS

El cultivo de las plantas en un sustrato permite el control riguroso del medio ambiente radicular, particularmente, de los aspectos relacionados con el suministro de agua y nutrientes, facilitando así una fuerte intensificación del cultivo. La principal razón de sustitución, es la existencia de factores limitantes para la continuidad de los cultivos intensivos en el suelo natural, particularmente; salinización, enfermedades y agotamiento de los suelos agrícolas (Universidad La Molina, 1997).

La elección del medio deberemos determinarla según disponibilidades de éste, coste, calidad y el tipo de método de cultivo hidropónico que va a ser empleado (Resh, 2001). Se le denomina al sustrato como un medio sólido, que cumple 2 funciones esenciales; Anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles respirar y por otro lado, contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan. Los granulos componentes del sustrato deben permitir la circulación del aire y de la solución nutritiva. Se consideran buenos sustratos aquellos que permiten la presencia entre 15% y 35% de aire y entre 20% y 60% de agua en relación con el volumen total (González, 2000).

Los sustratos donde se desarrollan las raíces se pueden utilizar solos, pero es mejor mezclarlos para aprovechar las ventajas y disminuir las desventajas que tienen individualmente.

4.1.5.A. CARACTERÍSTICAS DEL SUSTRATO “ADECUADO”

Una cuestión que se plantea frecuentemente es: existe el sustrato ideal en cuanto a constituyentes y composición?. La respuesta es NO. El mejor sustrato de cultivo para cada caso concreto, variará de acuerdo a numerosos factores; tipo de material vegetal con el que se trabaja, especie vegetal, condiciones climáticas, sistemas y programas de riego y fertilización, aspectos económicos, etc. Las plantas pueden ser sostenidas y cultivadas en diferentes tipos de materiales. De hecho, las plantas pueden ser cultivadas y sobrevivir en cualquier medio de cultivo si las raíces pueden penetrar en el sustrato (Urrestarazu, 2000).

4.1.5.B. CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN TENER LOS BUENOS SUSTRATOS

- a. Que las partículas que lo componen tengan un tamaño no inferior de 0.2mm y no superior a 7mm.
- b. Que retenga una buena cantidad de humedad, pero que además faciliten la salida de los excesos de la misma.
- c. Que no retenga mucha humedad en su superficie.

tamaño ($<30\mu\text{m}$), que son los que retienen el agua, y 2) Poros no capilares o macro poros, de mayor tamaño ($>30\mu\text{m}$), que son los que se vacían después que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación. Una alta porosidad total no indica por sí misma una buena estructura del sustrato, sino que es necesario conocer la relación entre la fracción de la porosidad que proporciona el agua y aquella que proporciona la aireación (Cadahia, 2000).

- B. CAPACIDAD DE AIREACIÓN:** Se define como la proporción del volumen de sustrato que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar, usualmente a 10cm de tensión de columna de agua. Las raíces requieren oxígeno para mantener su actividad metabólica y su crecimiento. Si la textura o la estructura del sustrato son tales que la mayoría de los poros permanecen llenos de agua después del riego, provocarán una inhibición del crecimiento y, a veces, el marchitamiento de la planta. La distribución del tamaño de los poros es el factor clave en el estado hídrico y aéreo de los sustratos (Universidad La Molina, 1997).
- C. AGUA FÁCILMENTE DISPONIBLE:** Es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato, después de haber sido saturado y dejado drenar a 10cm de tensión mátrica, y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una succión de 50cm de c.a. El valor óptimo del agua fácilmente disponible oscila entre 20 y 30% del volumen. Un sustrato puede tener una baja capacidad de retención de agua fácilmente disponible porque:
- i. Su porosidad total es reducida.
 - ii. Los poros son grandes y gran parte del agua se pierde por gravedad.
 - iii. Los poros son muy pequeños y la planta es incapaz de extraer una parte importante del agua antes de marchitarse, y
 - iv. Una combinación de las situaciones anteriores.
- D. AGUA DE RESERVA:** Es la cantidad de agua (% en volumen) que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de columna de agua (c.a.). El nivel óptimo se sitúa entre un 4 y un 10% en volumen. No es recomendable, para las plantas cultivadas en sustrato, que la tensión del agua en éste supere los 10cm de columna de agua durante el cultivo (Universidad La Molina, 1997; Urrestarazu, 2000; Cadahia, 2000).

- d. Que no se descomponga o degrade con facilidad.
- e. Preferiblemente que tenga coloraciones oscuras.
- f. Que no contenga elementos nutritivos.
- g. Que no contenga microorganismos perjudiciales a la salud de los seres humanos o de las plantas.
- h. Que no estén contaminados con residuos industriales o humanos.
- i. Que sean abundantes y fáciles de conseguir, transportar y manejar.
- j. Que sean de bajo costo

4.1.5.C. FUNCIONES DEL SUSTRATO

Las funciones principales del sustrato son las siguientes:

- a. Proporcionar un medio para el desarrollo de las raíces que constituye a la vez el soporte de la planta.
- b. Retención de agua y su aportación a las plantas.
- c. Retención de nutrientes y su aportación a las plantas.
- d. Retención de aire para el intercambio gaseoso de las raíces.
- e. Actuar como amortiguador (buffer), en las reacciones químicas que ahí se llevan a cabo (Martínez, 1994).

4.1.5.D. PROPIEDADES DE LOS SUSTRATOS DE CULTIVO

La primera etapa de la aplicación de un sustrato en hidroponía es la caracterización del mismo, con objeto de conocer sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Las propiedades de los materiales son factores dominantes, que determinan el manejo posterior del sustrato.

4.1.5.E. PROPIEDADES FÍSICAS

La caracterización física estudia la distribución volumétrica del material sólido, el agua y el aire, así como su variación en función del potencial mátrico. En la determinación de las curvas de liberación de agua en los sustratos, se aplica un intervalo de succiones muy estrecho (de 0 a 100 cms de tensión de columna de agua [c.a.]) (Universidad La Molina, 1997). Entre las propiedades físicas de los sustratos están:

- A. **ESPACIO POROSO TOTAL:** Es el volumen total del sustrato de cultivo no ocupado por partículas orgánicas ni minerales. Su nivel óptimo se sitúa por encima del 85% del volumen del sustrato. El total de poros existentes en un sustrato se divide entre: 1) Poros capilares, de pequeño

E. **DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS:** El tamaño de las partículas afecta el crecimiento de las plantas a través del tamaño de los poros. La distribución del tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido en agua y en aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad. El mejor sustrato se define como aquel material de textura gruesa a media, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 y 300 μ m, equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 y 2.5mm, que retiene suficiente agua fácilmente disponible y posee, además, un adecuado contenido de aire (Universidad La Molina, 1997).

La distribución del tamaño de las partículas de los sustratos se expresa frecuentemente como un único parámetro: el Índice de Grosor. Este índice se define como el porcentaje acumulado (en peso o en volumen) de partículas con diámetro superior a 1mm, y suele estar bien correlacionado con las características hidrofísicas del sustrato (Cadahia, 2000).

F. **DENSIDAD APARENTE:** Se define como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del medio húmedo, es decir, incluyendo el espacio poroso entre las partículas. La densidad aparente juega un papel importante ya que los sustratos se transportan durante su manejo y manipulación y, consecuentemente, su peso ha de ser tenido en cuenta (Universidad La Molina, 1997).

En adición, el anclaje de las plantas debe ser también considerado como un factor de importancia; cuanto mas alta sea la planta, más fuerte deberá ser el sustrato. En los invernaderos, donde el viento no es un factor limitante, la densidad aparente del sustrato puede ser tan baja como 0.15gr/cm³. Las plantas que crecen al aire libre deben ser cultivadas en sustratos más fuertes, con densidades aparentes comprendidas entre 0.50gr/cm³ y 0.75gr/cm³ (Cadahia, 2000).

G. **MOJABILIDAD:** Algunos materiales orgánicos presentan dificultades para ser humedecidos inicialmente y para ser rehumectados una vez se han secado en el contenedor, lo que puede provocar un retraso y una reducción en el crecimiento de la planta. Las dificultades para mojar un sustrato se atribuyen generalmente a dos causas: la hidrofobicidad del material y la contracción que experimenta al secarse. La mojabilidad se expresa como el tiempo (en minutos) necesario para que se absorban 10ml de agua destilada a través de la superficie de una muestra de sustrato seco a 40°C. El nivel óptimo es igual o inferior a 5 minutos (Urrestarazu, 2000).

H. CONTRACCIÓN DE VOLUMEN: Se refiere al porcentaje de pérdida de volumen cuando el sustrato se seca (generalmente a 105°C), referido al volumen aparente inicial en unas determinadas condiciones de humedad (generalmente saturación y drenaje posterior a 10cm de tensión de columna de agua). La contracción del volumen facilita la compactación del sustrato y la compresión de las raíces, disminuye la eficiencia del riego y la fertilización, etc. El nivel óptimo de la contracción, expresada como pérdida de volumen, se sitúa por debajo del 30% (Cadahia, 2000).

4.1.5.F. PROPIEDADES QUÍMICAS

Las propiedades químicas de los sustratos caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del sustrato; reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales (química), reacciones de intercambio de iones (físico-química) y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (bioquímica) (Cadahia, 2000).

A. DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES: En los sustratos minerales, es frecuente la determinación de los nutrientes asimilables en la disolución del sustrato. En todo caso, y para conocer si el plan de fertilización es correcto, es necesario comparar la disolución nutritiva de riego, con la del sustrato y los drenajes, pudiéndose complementar la información con el análisis de los tejidos vegetales y la observación visual del aspecto de las plantas (Cadahai, 2000; Universidad La Molina, 1997).

Los métodos de análisis de los nutrientes asimilables consisten fundamentalmente en equilibrar la muestra del sustrato con una determinada solución extractante (agua, acetato amónico, solución extractora) durante un tiempo normalizado. Una vez alcanzado el equilibrio, se determinan los nutrientes disueltos o extraídos por dicha solución (Urrestarazu, 2000).

B. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA: Se refiere a la concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato (Cadahia, 2000). Las causas que provocan un incremento en la salinidad del sustrato, después de estar éste en el contenedor, son:

- a. La presencia de fertilizantes insolubles, como los de liberación lenta, cuando se mineralizan para producir nitratos o bien, cuando liberan sales mediante difusión, en una cuantía superior a las cantidades absorbidas o lixiviadas.
- b. Cuando la cantidad de sales aportadas con el agua de riego o la solución nutritiva es superior a las cantidades absorbidas por las plantas o las pérdidas por lixiviación.

C. pH: El crecimiento y el desarrollo de las plantas se ven reducidos de modo marcado en condiciones de acidez o alcalinidad extremas. El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilabilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica. Bajo condiciones de cultivo intensivo, se recomienda mantener el pH del sustrato dentro de un intervalo reducido (de 5.5 a 6.8). Si el pH de un sustrato orgánico está fuera del intervalo recomendado, se deberá llevar a cabo el ajuste de dicho pH (encalado o acidificación). El pH básico de algunos materiales minerales inertes puede ser neutralizado por la solución nutritiva, ya que su poder tampón es prácticamente nulo (Universidad La Molina, 1997).

4.1.5.G. CLASIFICACION DE LOS MATERIALES

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc. La clasificación que se presenta a continuación, intenta recoger las diferencias mas relevantes desde el punto de vista de la utilización hortícola de los sustratos.

I. Materiales Inorgánicos (Minerales):

I.1. De origen natural: Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, modificándose muchas veces el modo ligero mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arenas, tierra volcánica, etc.).

I.2. Transformados o tratados: A partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos y características de los materiales de partida (arcilla expandida, lana de roca, perlita, vermiculita, etc).

I.3. Residuos y subproductos industriales: Comprende los materiales residuales procedentes de muy distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles de carbón, ladrillo molido, etc).

II. Materiales Orgánicos:

II.1. De origen natural: Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (turbas, cascarilla de arroz, olote, fibra de coco, etc).

II.2. De síntesis: Son polimeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, espuma de urea-formaldehído, poliestireno expandido, etc).

II.3. Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas: Muchos materiales de este grupo deben someterse a un proceso de compostaje, para su adecuación como sustratos (cascarilla de arroz, estiércoles, cortezas de árboles, aserrín, fibra de madera, fibra de coco, residuos del corcho) (Cadahia,2000).

4.1.6. SOLUCIONES NUTRITIVAS

La solución nutritiva es una mezcla de agua y nutrientes minerales esenciales, en cantidades y proporciones adecuadas, la cual es usada para lograr un crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas. La nutrición es sólo un factor que afecta el crecimiento de la planta. No existe una solución óptima para todos los cultivos, porque no todos tienen las mismas exigencias nutricionales, principalmente el nitrógeno, fósforo y potasio. Existe un gran número de soluciones nutritivas para distintos cultivos y muchas satisfacen los requerimientos de un buen número de ellos (Rodríguez, 2001).

4.1.6.A. pH de la Solución

El pH de la disolución nutritiva tiene un papel fundamental para el éxito esperado en los cultivos sin suelo, esto es cierto para todos los agrosistemas, pero cobra especial importancia en cultivos sin suelo, ya que en la actualidad gran parte de ellos se desarrollan sobre sustratos o en disolución nutritiva y por tanto tienen una capacidad de intercambio catiónico muy inferior a un suelo natural medio; lo cual hace que debamos extremar los cuidados para garantizar a los cultivos la perfecta absorción de los nutrientes controlando los niveles de pH (Urrestarazu, 2000).

Dentro del contexto se manejan dos tipos de soluciones: las soluciones estáticas y las soluciones dinámicas.

Fórmulas estáticas: Las fórmulas estáticas para elaborar la solución nutritiva son aquellas que no cambian a lo largo del proceso productivo de la planta.

Fórmulas dinámicas: Las fórmulas dinámicas para elaborar una solución nutritiva son aquellas que cambian la proporción de varios nutrientes a lo largo del proceso productivo de la planta, para reforzar las funciones en sus distintos periodos.

4.2. MARCO REFERENCIAL

4.2.1. LOCALIZACIÓN DEL AREA EXPERIMENTAL

La primera fase de la investigación se realizó en el Laboratorio Salvador Castillo O. de La Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en ciudad Universitaria Zona 12. En el Municipio de Guatemala en el departamento de Guatemala. Encontrándose a 1,502 m.s.n.m. y una latitud 14°35'11", longitud 90°35'58".

El área en que se realizó la segunda fase de la investigación se sitúa en el Centro Experimental Docente de Agronomía, de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el Municipio de Guatemala en el departamento de Guatemala. Encontrándose a 1,502 m.s.n.m. y una latitud 14°35'11", longitud 90°35'58".

4.2.2. CLIMA Y ZONA DE VIDA

Según los datos climatológicos del INSIVUMEH, el municipio de Guatemala, presenta los siguientes datos: Precipitación media anual: 1,216mm, Temperatura media anual de 18.3°C, Humedad Relativa del 79% y Distribución de lluvia de mayo a octubre. Insolación promedio: 6.65 horas/día y Radiación 0.33 cal/cm²/minuto.

1) Basado en el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, el área pertenece a un bosque subtropical cálido bnh-s (c).

4.2.3. CULTIVOS ESTUDIADOS EN SISTEMAS HIDROPÓNICOS

4.2.3.A. TOMATE

Taxonomía y Morfología:

Familia: Solanácea. **Nombre Científico:** *Lycopersicon sculentum* Mill.

Planta: Perenne de porte arbustivo, que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas).

Sistema radicular: Raíz principal (corta y débil), raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias.

Tallo principal: Eje con un grosor de oscila entre 2-4 cm de su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpoidal) e inflorescencias

Hoja: Compuesta e imparipinada, con foliolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubiertos de pelos glandulares.

Flor: Es perfecta, regular e hipogina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°.

Fruto: Plurilocular, que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas.

Exigencias de clima:

El manejo racional de los factores climáticos de forma conjunta es fundamental para el funcionamiento adecuado del cultivo, ya que todos se encuentran estrechamente relacionados y la actuación sobre uno de estos incide sobre el resto.

Temperatura: Es menos exigente en temperatura que el pimiento. La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30°C durante el día y entre 1 y 17°C durante la noche; temperaturas superiores a los 30-35°C afectan la fructificación, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. A temperaturas superiores a 25°C e inferiores a 12°C la fecundación es defectuosa o nula.

Humedad: La humedad relativa óptima oscila entre un 60% y un 80%. Humedades relativas muy elevadas favorecen el desarrollo de enfermedades aéreas y el agrietamiento del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de las flores. El rajado del fruto igualmente puede tener su origen en un exceso de humedad edáfica o riego abundante tras un período de estrés hídrico.

Luminosidad: Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta.

4.2.3.B. CHILE JALAPEÑO:

Taxonomía y Morfología:

Familia: Nombre Científico: *Capsicum annum* L.

Sistema radicular: Raíz principal profunda y fuerte; raíces secundarias (numerosas y potentes) y raíces adventicias.

Tallo: Tallo pubescente, en plantas maduras, excluyendo los dos primeros nudos debajo del brote.

Flor: Sus inflorescencias son axilares de 1-3 flores, las flores pediceladas, cáliz campanulado, truncado o con 5 lóbulos diminutos, algunas veces llevan 5 ápices lineares justo debajo del cáliz.

Fruto: Una baya, usualmente muy picante, muy jugoso o raramente seco, de globoso a oblongo, algunas veces inflado y muy grande, semillas numerosas, lateralmente comprimidas, embrión curvado.

Exigencias climáticas:

Temperatura: La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 25°C durante el día y entre 1 y 17°C durante la noche, temperaturas superiores a los 27-35°C afectan la fructificación, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular.

Humedad: La humedad relativa óptima oscila entre un 70 y un 90%.

Luminosidad: Valores reducidos de luminosidad pueden incidir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta.

4.2.3.C. PEPINO

Taxonomía y Morfología:

Familia: Cucurbitáceas. **Nombre Científico:** *Cucumis sativus* L.

Sistema radicular: Es muy potente, dada la gran productividad de esta planta y consta de raíz principal, que se ramifica rápidamente para dar raíces secundarias superficiales muy finas, alargadas y de color blanco.

Tallo: Anguloso y espinoso, de porte rastrero y trepador. De cada nudo, parte una hoja y un zarcillo. En la axila de cada hoja se emite un brote lateral y una o varias flores.

Hoja: De largo pecíolo, gran limbo acorazonado, con tres lóbulos más o menos pronunciados (el central más acentuado y generalmente acabado en punta), de color verde oscuro y recubierto de un vello muy fino.

Flor: De corto pedúnculo y pétalos amarillos. Las flores aparecen en las axilas de las hojas y pueden ser hermafroditas o unisexuales.

Fruto: Pepónide áspero o liso, dependiendo de la variedad. La pulpa es acuosa, de color blanquecino, con semillas en su interior repartidas a lo largo del fruto.

Exigencias de clima:

Temperatura: Es menos exigente en calor que el melón, pero más que el calabacín. Las temperaturas que durante el día oscilen entre 20°C y 30°C apenas tienen incidencia sobre la producción, aunque a mayor temperatura durante el día, hasta 25°C, mayor es la producción precoz.

Humedad: Es una planta con elevados requerimientos de humedad, debido a su gran superficie foliar, siendo la humedad relativa óptima durante el día del 60-70% y durante la noche del 70-90%.

Luminosidad: El pepino es una planta que crece, florece y fructifica con normalidad incluso en días cortos (con menos de 12 horas de luz).

4.2.3.D. SANDIA

Taxonomía y Morfología:

Familia: Cucurbitáceas. **Nombre Científico:** *Citrullus lanatus* Thunb.

Sistema radicular: Muy ramificado. Raíz principal profunda y raíces secundarias distribuidas superficialmente.

Tallos: De desarrollo rastrero. En estado de 5-8 hojas bien desarrolladas el tallo principal emite las brotaciones de segundo orden a partir de las axilas de las hojas.

Hoja: Peciolada, pinnado-partida, dividida en 3-5 lóbulos que a su vez se dividen en segmentos redondeados, presentando profundas entalladuras que no llegan al nervio principal.

Flores: De color amarillo, solitarias, pedunculadas y axilares, atrayendo a los insectos por su color, aroma y néctar (flores entomógamas), de forma que la polinización es entomófila.

Fruto: Baya globosa u oblonga en pepónide formada por 3 carpelos fusionados con receptáculo adherido, que dan origen al pericarpio.

Exigencias de clima:

Temperatura: La sandia es menos exigente en temperatura que el melón, siendo los cultivares triploides más exigentes que los normales, presentando además mayores problemas de germinación.

Humedad: La humedad relativa óptima para la sandía se sitúa entre 60% y el 80%, siendo un factor determinante durante la floración.

4.2.3.E. LECHUGA

Taxonomía y Morfología:

Familia: Compositae. **Nombre Científico:** *Lactuca sativa* L.

Sistema radicular: La raíz que no llega nunca a sobrepasar los 25cm. de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones.

Tallo principal: Es cilíndrico y ramificado.

Hoja: Las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas) y en otros se acogollan más tarde.

Flor: Son capítulos florales amarillos dispuestos en racimos o corimbos.

Semillas: Están provistas de un vilano plumoso.

Exigencias de clima:

Temperatura: Durante la fase de crecimiento del cultivo se requieren temperaturas entre 14-18°C por el día y 5-8°C durante la noche; pues la lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche.

Humedad: El sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal, un periodo de sequía, aunque éste sea muy breve.

4.2.3.F. BROCOLI

Taxonomía y Morfología:

Familia: Crucíferas. **Nombre Científico:** *Brassica oleraceae* L.

Sistema radicular: Como el de todas las Brassica es reducido, con una raíz pivotante de cerca de 50cm de largo y raíces laterales relativamente pequeñas, provistas de numerosos pelos radicales.

Tallo: Del primer año es cilíndrico, corto y engruesa casi a la misma extensión que en el repollo. Las hojas son sésiles, enteras, poco a muy onduladas, oblongas (de unos 40 a 50cm de largo y 20 cm de ancho), elípticas y muy erguidas, extendiéndose en forma mas vertical y cerrada.

Flor: La floración propiamente tal, en los tipos no vernalizantes, ocurre con posterioridad al desarrollo de los siguientes procesos: las ramificaciones preflorales del pan inician el crecimiento en longitud, pasando a constituirse en los pedúnculos de la inflorescencia, el pan se desarma y comienza a amarillear y un número significativo de ápices se diferencian en reproductivos, para desarrollar posteriormente las flores de color amarillo.

Fruto: Corresponde a una silicua amarillenta, de 7 a 8 cm de largo, con cerca de 20 semillas redondas, de color rojizo a pardo oscuro y pequeñas (300 semillas / gramo).

Exigencias climáticas:

Temperatura: Las coliflores son algo más sensibles al frío que el brócoli, ya que responden mal a las bajas temperaturas (0°C), afectándole además las altas temperaturas (>26°C). La temperatura óptima para su ciclo de cultivo oscila entre 15.5-21.5°C.

4.2.3.G. REPOLLO

Taxonomía y Morfología:

Familia: Cruciferae **Nombre Científico:** *Brassica oleraceae* var. Capitata

Sistema radicular: Como el de todas las Brassica es reducido, con una raíz pivotante de cerca de 50cm de largo y raíces laterales relativamente pequeñas, provistas de numerosos pelos radicales.

Tallo: Tallo corto y una yema terminal grande llamada cabeza. Los tallos vegetativos cortos y las hojas simples grandes, bien desarrolladas y suculentas.

Flor: La inflorescencia es un racimo terminal. Las flores individuales son perfectas y regulares con cuatro sépalos, cuatro pétalos blancos o amarillo pálidos, seis estambres y un pistilo con dos cavidades.

Fruto: Es una vaina larga y angosta llamada silicua, las semillas son bastante semejantes en sus aspecto y germinan fácilmente en condiciones favorables (Búcaro, 1991).

Exigencias climáticas:

Temperatura: El repollo es la hortaliza que muestra mayor tolerancia a las bajas temperaturas (heladas – 9°C). A temperaturas de 4 a 7°C, durante un periodo de 3 a 4 semanas después de la fase juvenil, emite el vastago floral. (Franco, 1991).

Para trabajar con estos cultivos, se tiene, como referencia de bibliografía, profundidad radicular a la cual estos, extraen el agua que utilizan; dicha información se presenta en cuadro 2 (Sandoval, 1989).

Cuadro 2 Profundidad a la cual los cultivos extraen el agua que utilizan.

CULTIVO	Profundidad a la cual el cultivo extrae el 100% de agua que utiliza (cm)	Profundidad radicular (cm)	Profundidad radicular (cm)	Profundidad radicular (cm)	Profundidad radicular (cm)
Repollo	50 – 100	60 – 120			50
Brócoli	50 – 100	60 – 120			
Chile jalapeño	40 – 50	< 60	60		50
Lechuga	40 – 50	<60	30 – 45	Hasta 30	30 – 40
Pepino	70 – 100	60 – 120	60 – 80		
Sandía	100 – 150	> 120	180	200	
Tomate	70 – 150	> 120	180 – 300	200	

4.2.4. REGIONES DEL PAÍS A CONSIDERAR

Para el presente trabajo de investigación se agruparon los departamentos del país en regiones, tomando en cuenta criterios como los siguientes; 1) la temperatura media anual (apéndice 20) y 2) distribución de la precipitación media anual (apéndice 21) presentada por los departamentos.

4.2.4.A. REGIÓN I

Esta región comprende los departamentos de Jutiapa, Jalapa, Chiquimula, Santa Rosa, Zacapa y Progreso. Estos departamentos presenta características fisiográficas como por ejemplo; que presenta elevaciones menores de doscientos metros y el drenaje en su mayor parte, es deficiente. Los materiales inorgánicos mas predominantes que se encuentran en la región son; roca volcánica, piedra pómez, arenas, algunas capas de rocas rojas de formación subinal. Entre los materiales orgánicos mas predominantes que se encuentran en la región son; cascarilla de arroz, olote de maíz.

4.2.4.B. REGIÓN II

Esta región comprende los departamentos de Izabal y Petén. Estos departamentos presenta características fisiográficas como por ejemplo; grandes pantanos y numerosos lagos y lagunas. La región se encuentra en una topografía kárstica de las variedades de los sumideros y mogotes. En esta región se tienen dos depresiones; Izabal y Motagua, la primera se realiza una constante deposición de sedimentos aluviales, transportados principalmente del río Polochic. La segunda depresión, ha construido una extensa llanura de inundación formada por aluvión Cuaternario. Los materiales inorgánicos mas predominantes que se encuentran en la región son; rocas de carbonato, areniscas, conglomerados, calizas, capas rojas, arenas y sedimentos marinos. Entre los materiales orgánicos mas predominantes que se encuentran en la región son; fibra de coco, corteza de pino.

4.2.4.C. REGIÓN III

Esta región comprende los departamentos de Alta Verapaz y Baja Verapaz. Los materiales inorgánicos más predominantes que se encuentran en la región son; rocas de carbonato, sedimentos clásticos marinos, rocas ultra básicas, rocas metamórficas, arenas. Entre los materiales orgánicos mas predominantes que se encuentran en la región son; musgo, corteza de pinos, etc.

4.2.4.D. REGIÓN IV

Esta región comprende los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu. Estos departamentos presenta características fisiográficas como; en esta región esta comprendido el material aluvial cuaternario que cubre los estratos de la plataforma continental. Las playas de arena negra con áreas de pantano de mangle y algunos esteros, son características predominantes de la región. Los materiales inorgánicos mas predominantes que se encuentran en la región son; roca volcánica, piedra pómez, arenas. Entre los materiales orgánicos mas predominantes que se encuentran en la región son; pergamino de café, fibra de coco.

4.2.4.E. REGIÓN V

Esta región comprende los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango y Sololá. Los numerosos conos de esta región están compuestos predominantemente por andesita. Las faldas hacia el sur sor formadas por coladas de lava, ceniza volcánica. Los materiales inorgánicos mas predominantes que se encuentran en la región son; roca volcánica, piedra pómez, arenas. Entre los materiales orgánicos mas predominantes que se encuentran en la región son; paja de trigo.

4.2.4.F. REGIÓN VI

Esta región comprende los departamentos de Huehuetenango, Quiche y Totonicapán. Estos departamentos presenta características fisiográficas como por ejemplo; La Sierra de Los Cuchumatanes, en su parte sur con gran número de fallas, es abrupta. Los materiales inorgánicos mas predominantes que se encuentran en la región son; rocas de carbonato, rocas en capas rojas, areniscas y conglomerados, cenizas pómez, rocas metamórficas sin dividir. Entre los materiales orgánicos mas predominantes que se encuentran en la región son; cortezas de pinos, paja de trigo.

4.2.4.G. REGIÓN VII

Esta región comprende los departamentos de Guatemala, Chimaltenango y Sacatepéquez. La región incluye los volcanes de más reciente formación en Guatemala. Las faldas hacia el sur sor formadas por coladas de lava, ceniza volcánica. Los materiales inorgánicos mas predominantes que se encuentran en la región son; roca volcánica, piedra pómez, arenas, sedimentos volcánicos, ladrillo. Entre los materiales orgánicos más predominantes que se encuentran en la región son; cascarilla de arroz, aserrín de pinos.

La distribución de la regiones estudiadas, se presenta en la Figura 2.

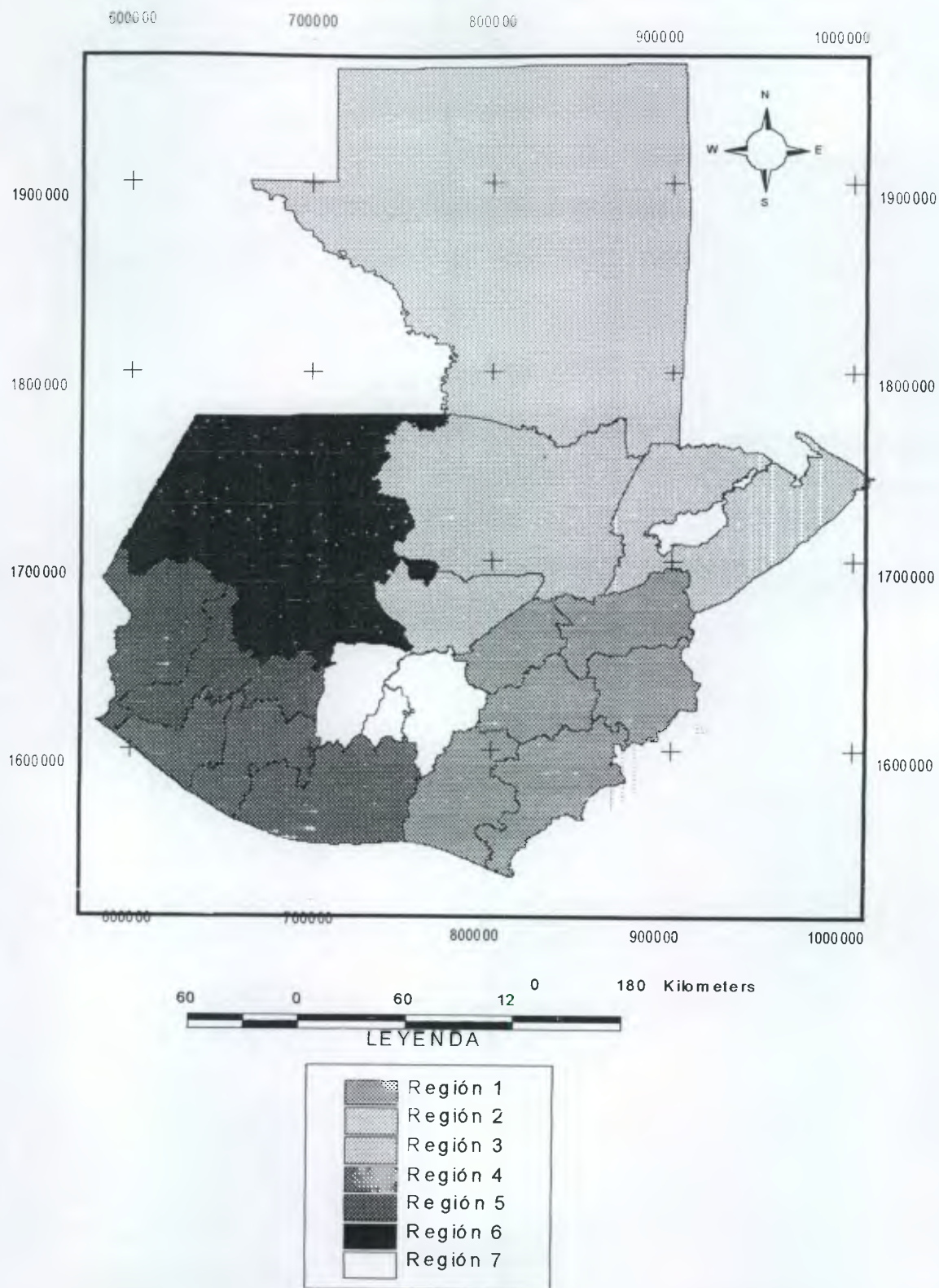


Figura 2 Mapa de Distribución de Regiones, para recolección de sustratos.

5. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los sustratos orgánicos e inorgánicos, de cada región del país como una alternativa para ser utilizados en sistemas hidropónicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar materiales que puedan ser utilizados ventajosamente como sustratos orgánicos e inorgánicos en sistemas hidropónicos en diferentes regiones del país.
2. Evaluar el comportamiento agronómico en la producción de hortalizas, utilizando los diferentes sustratos recolectados y su combinación de mezclas.

6. HIPÓTESIS

Por lo menos uno de los materiales evaluados como sustratos por región, presentará características físicas y químicas deseables para ser utilizados en la técnica de hidroponía.

Por lo menos uno de los materiales evaluados como sustrato por región, presentará diferencias significativas en cuanto al rendimiento del cultivo.

7. METODOLOGÍA

7.1 FASE PRELIMINAR

7.1.1 COLECTA DE SUSTRATOS

Los sustratos se recolectaron, según la distribución de las regiones que se estudiaron, estos se transportaron en vehículo desde los departamentos hasta la ciudad capital, al laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Dichos sustratos se escogieron dependiendo de las características visuales que deben tener los sustratos orgánicos como inorgánicos. Para determinar estos sustratos se tomaron en cuenta características como: fácil acceso de los sustratos para la población, de fácil transporte, que existan gran cantidad de estos sustratos en la región, que no tengan ningún uso de importancia en la región, que se puedan encontrar en cualquier época del año. Antes de realizar las pruebas a nivel de laboratorio, a todos los sustratos se les realizó un lavado.

7.2 FASE DE LABORATORIO

7.2.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

- A. ESPACIO POROSO:** Se define como la cuantificación del espacio ocupado por poros en un sustrato y también se denomina espacio de poros, espacio poroso o espacio vacío. Normalmente se expresa como porcentaje, respecto al volumen aparente del sustrato.
- B. CAPACIDAD DE AIREACIÓN:** Esta es la proporción del volumen del medio de cultivo, que contiene aire después que dicho medio ha sido saturado con agua y dejado que drene.
- C. AGUA FÁCILMENTE DISPONIBLE:** Es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato, después de haber sido saturado y dejado drenar a 10cm de tensión mátrica y el volumen del agua presente en dicho sustrato a una succión de 50cm de columna de agua. La determinación de estas características, se realizaron con la siguiente metodología:
1. Se pesó un vaso de duroport y se anotó en el formato del Apéndice 1.
 2. Se aplicó 100ml de agua en el vaso (1ml=1gr).
 3. Se marcó el nivel de agua en el vaso y después se desecho.
 4. Se llenó el vaso hasta el nivel marcado con cada sustrato, apretándolo suavemente (esto simuló compactación en el recipiente).
 5. Pesar el vaso incluyendo el sustrato, este se anotó en el formato.
 6. Se restó el peso del vaso a el peso obtenido en el paso 5 y se anotó el peso del sustrato.

7. Se dividió dentro de 100 y se anotó el resultado, que equivale a la **densidad** (peso / volúmen).
8. Se aplicó con una probeta graduada, cuidadosamente agua sobre el sustrato, hasta que todos los espacios porosos sean llenados. Anotar el volúmen de agua requerido. **Equivale al % de porosidad.**
9. Con cuidado se vertió el vaso desechable sobre un papel absorbente y se deja que el agua filtre libremente.
10. Después del filtrado, se repesa el envase más el sustrato.
11. Se restó el peso medio (paso 6) del peso obtenido en el paso 10 y se anotó en el formato. Esta diferencia es igual a el **agua fácilmente disponible.**
12. Se restó el agua retenida a capacidad de campo del espacio poroso total. **Esto equivale a espacio con capacidad de aireación.**

D. DISTRIBUCIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS: El mejor sustrato se define como aquel material de textura gruesa a media, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 y 300 μ m, equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 y 2.5mm, que retiene suficiente agua fácilmente disponible y posee, además, un adecuado contenido de aire. La metodología a utilizar, para determinar esta característica es la siguiente:

- i. Se pesaron 100gr de los sustratos, secos al aire.
- ii. Se utilizó una batería de tamices de tamaños de malla distintos, ordenados sucesivamente por tamaño de malla, recogiendo las fracciones que quedan en cada malla y determinando su peso; para determinar el % de sustrato que se encuentra entre los rangos adecuados.

E. MOJABILIDAD (de materiales orgánicos): La mojabilidad se expresa como el tiempo (en minutos) necesario para que se absorban 10ml de agua destilada a través de la superficie de una muestra de sustrato seco a 40°C. El nivel óptimo es igual o inferior a 5 minutos. La metodología para determinar esta característica es la siguiente:

- i. Se procedió a secar 10 gramos de los sustratos a 40°C.
- ii. Se les aplicó 10ml de agua destilada, el sustrato estuvo en un contenedor de plástico para evitar absorción de humedad, determinado con un cronómetro el tiempo que tarda en absorber dicha agua. Anotándose el tiempo.

F. CONTRACCIÓN DE VOLUMEN: Se refiere al porcentaje de pérdida de volumen cuando el sustrato se seca (generalmente a 105°C), referido al volumen aparentemente inicial en unas determinadas condiciones de humedad (generalmente saturación y drenaje posterior a 10 cm de tensión de columna de agua). El nivel óptimo de la contracción, expresado como pérdida de volumen, se sitúa por debajo del 30%. La metodología para la determinación de esta característica física es la siguiente:

- i. Se pesó un vaso de duroport.
- ii. Se aplicó 100ml de agua en el vaso (1ml=1gr).
- iii. Se marcó el nivel de agua en el vaso y después desecharla.
- iv. Se llevó al nivel marcado, con cada sustrato, apretándolo suavemente, (esto simulo compactación en el recipiente).
- v. Se aplicó con una probeta graduada cuidadosamente agua sobre el sustrato hasta que todos los espacios porosos sean llenados. Se anotó el volumen de agua requerido.
- vi. Con cuidado se vertió el sustrato contenido en el vaso desechable, sobre un papel absorbente y se dejó que el agua filtrara libremente.
- vii. Se obtuvo de este sustrato 10ml, se colocó en un horno a 105°C durante 5 minutos.
- viii. Se sacó y se midió su volumen en una probeta limpia y seca, por regla de tres se determino en porcentaje la pérdida de volumen de los sustratos. Este se comparo con el nivel óptimo permitido.

7.2.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

A. DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES: Los métodos de análisis de los nutrientes asimilables consisten fundamentalmente en equilibrar la muestra del sustrato con una determinada solución extractante (agua, acetato amónico, agua destilada) durante un tiempo normalizado. Una vez alcanzado el equilibrio, se determinaran los nutrientes disueltos o extraídos por dicha disolución. Estos elementos serán; K, Ca, Mg, P y Micro elementos. La metodología para la determinación de esta característica:

- i. Se pesaron 5 gramos del sustrato y agregar 25ml de solución extractora (Carolina del Norte).
- ii. Se agitó durante 10 minutos.
- iii. Se filtró y preparó las diluciones para las lecturas de K, Ca y Mg, P y Micro elementos; de la siguiente manera.
 - a. Se tomaron 2ml del filtrado y agregarón 8ml de agua destilada; esta dilución se utilizó para leer potasio en espectrofotometría atómica.

- b. Se tomó 1ml de la dilución para potasio y agregarle 24 ml de lantano; esta dilución se utilizó para leer Ca y Mg en espectrofotometría atómica.
- c. Se tomó 2ml del filtrado original, más 10 ml de agua destilada y 8 ml de solución de color, esta dilución se utilizó para medir fósforo en espectrofotometría visible.
- d. Se tomó 2ml del filtrado original y se adicionaron 8ml de agua destilada, esta dilución se utilizó para la lectura de microelementos.
- e. Estos valores obtenidos se colocaron en una tabla de resultados.

B. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA: Se refiere a la concentración de sales solubles presentes en la disolución del sustrato. Esta característica se determinara por medio de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación. La metodología para la determinación de esta característica es la siguiente:

- i. Se colocaron en un erlenmeyer, 25 gramos de sustrato más 50ml de agua destilada.
- ii. Se determinó con un conductímetro para medición de concentración de sales.
- iii. Se anotó el valor de la conductividad eléctrica de cada uno de los sustratos.

C. pH: El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilabilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica. Bajo condiciones de cultivo intensivo, se recomienda mantener el pH del sustrato dentro de un intervalo reducido (de 5.5 a 6.8). La metodología para determinar esta característica fue por medio del potenciómetro, en una relación de 10:25 con agua.

7.3 FASE EXPERIMENTAL O DE CAMPO

7.3.1 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

7.3.1.1 DISEÑO EXPERIMENTAL.

El diseño experimental utilizado fue el completamente al azar para cada una de las regiones, estas contaron con tratamientos constituidos por los sustratos y mezclas de sustratos de cada región, un testigo absoluto, el cual será para todas las regiones el sustrato de arena + cascarilla de arroz en una relación 1:1, se realizaron doce repeticiones por tratamiento, estableciéndose las unidades experimentales por ensayo, por región, dependiendo del número de sustratos encontrados en cada una de las regiones, cada unidad experimental contó con una planta. Los sustratos orgánicos, requirieron que se humedecieran con anticipación a la siembra o transplante porque, inicialmente tienen una baja capacidad de retención de

humedad. Luego se desinfectaron con cloro al 1% durante 24 horas. Los sustratos inorgánicos se lavaron de 2 a 3 veces con suficiente agua antes de transplantarse. Cuando éstos se encontraron contaminados, se debieron desinfectar con cloro al 1% por 24 horas. El lavado se tuvo que realizar directamente en el contenedor, para eliminar residuos.

En esta fase de la investigación se observó el efecto de los sustratos y mezclas en el rendimiento y desarrollo morfológico de las distintas hortalizas que se evaluaron de las distintas regiones.

Cada región fue estadísticamente un evento independiente.

Figura 3. Plano del experimento en cada región que se considero.

I	2	7	1	4	3	6	5
II	5	6	3	2	1	4	7
III	1	3	5	6	2	7	4
IV	1	2	7	6	3	5	4
V	6	2	3	5	7	1	4
VI	2	4	7	1	5	6	3
VII	7	6	2	1	3	5	4
VIII	3	5	7	2	4	1	6
IX	4	6	1	3	5	2	7
X	3	5	7	2	1	6	4
XI	4	7	2	6	5	3	1
XII	1	4	3	5	6	7	2

7.3.1.2 TRATAMIENTOS EVALUADOS

Los tratamientos evaluados fueron realizados dependiendo de los materiales encontrados en cada región, los tratamientos constituidos por sustratos y las mezclas de estos de cada región, y teniendo un testigo absoluto, el cual fue para todas las regiones la mezcla de arena blanca + cascarilla de arroz en una relación 1:1.

Entre los sustratos que se evaluaron por región, se describen a continuación en el Cuadro 3.

Cuadro 3 Sustratos evaluados por región.

REGIONES	SUSTRATOS INORGANICOS	SUSTRATOS ORGANICOS	CULTIVOS
REGION I	Escoria volcánica negra (Cuilapa, Santa Rosa), grava con arena (Río Camotán, Chiquimula)	Olote quebrado (Agua Blanca, Jutiapa).	tomate
REGION II	Arena cuarsica (Río Dulce, Izabal)	Aserrín de (<i>Pinus caribaea</i>) (Poptún, Petén).	chile jalapeño
REGION III	Arena volcánica pirolástica (Sálama, Baja Verapaz), arena cuarsica (Salama, Baja Verapaz), roca (serpentinita) (Morazán, Baja Verapaz).	-----	pepino
REGION IV	Escoria volcánica negra (Escuintla), grava y arena pirolástica (San Miguel Panam, Suchitepéquez).	Fibra de coco (Escuintla).	sandia
REGION V	Roca (andesita) (San Pedro, San Marcos), grava de piedra pómez (San Pedro, San Marcos).	-----	lechuga
REGION VI	Roca caliza clara (San Juan Ixcoy, Huehuetenango), roca caliza oscura (San Juan Ixcoy, Huehuetenango).	Viruta de ciprés (Chiantla, Huehuetenango).	brócoli
REGION VII	Grava y arena de ladrillo quebrado (El Tejar, Chimaltenango), escoria volcánica roja (Amátitlan, Guatemala).	Cascarilla de arroz (Guatemala).	repollo

7.3.1.3 HIPÓTESIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Ha: $\tau_i \neq \tau$

Por lo menos uno de los tratamientos evaluados en la misma región, presentará diferencias significativas.

7.3.1.4 MODELO ESTADÍSTICO

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

$$i = 1, 2, 3, \dots, t$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, r$$

Y_{ij} = Rendimiento en kg/ha de la ij-ésima unidad experimental.

μ = Efecto de la media general.

τ_i = Efecto de la i-ésimo sustrato sobre la ij-ésima unidad experimental.

E_{ij} = Efecto del error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental.

7.3.1.5 MANEJO DEL EXPERIMENTO

El área del experimento se delimitó utilizando una planta por cada unidad experimental, teniéndose áreas totales por ensayo desde 6.93m² hasta 15.4m², esto dependió del distanciamiento de siembra de la especie por región a utilizar (ver cuadro 4). Los bloques se distribuyeron en el invernadero, buscando que cada bloque fuese uniforme dentro de el y que todos los tratamientos fueran evaluados bajo las mismas condiciones. Los distintos tratamientos (sustratos y mezclas) fueron manejados con el mismo riego y con la misma solución nutritiva para todas las regiones.

El riego se realizó 3 veces por día, aplicando 1lt de solución diaria por planta (333ml/riego). Una vez por semana se realizó una aplicación únicamente de agua, para el lavado de sales que se hallan acumulado en el sustrato.

Cuadro 4 Distanciamientos de siembra de los cultivos utilizados en la evaluación.

Cultivo	Distanciamiento (mts)	Área Total del Ensayo / Región (m ²)
Tomate, híbrido Tango	0.50 x 0.40	15.4
Chile Jalapeño	0.50 x 0.40	15.4
Pepino, híbrido General Lee	0.40 x 0.40	12.32
Sandía, híbrido Micky Lee	0.50 x 0.25	9.93
Lechuga, híbrido Salinas	0.30 x 0.30	6.93
Brócoli, híbrido Maratón	0.30 x 0.30	6.93
Repollo, híbrido Green boy	0.30 x 0.30	6.93

La solución hidropónica que se utilizó fue del INCAP, la cual presenta las siguientes características:

Solución A: También denominada solución mayor. Es una solución nutritiva concentrada que contiene los tres elementos químicos que la planta consume en mayor cantidad.

Solución B: También denominada solución menor. Es una solución nutritiva concentrada que contiene los elementos químicos que la planta consume en menor cantidad.

Solución de nutrientes: Solución que se aplicó todos los días a la planta, se preparó diluyendo las soluciones **A y B** en una relación 5:2.

Solución nutritiva concentrada: Estas soluciones (A y B) tienen un alto contenido de nutrientes químicos, por lo que si se aplican en forma pura pueden causar intoxicación a la planta.

Los elementos necesarios para preparar 10 litros de solución concentrada A son:

Fosfato Mono Amónico (12-61- 0)	340 gramos
Nitrato de Calcio	2,080 gramos
Nitrato do Potasio	1,100 gramos

Los elementos necesarios para preparar 4 litros de solución concentrada B son:

Nitrato de Magnesio	1242.000 gramos
Sulfato de Magnesio	492.000 gramos
Sulfato de Manganeso	2.000 gramos
Sulfato de Cobre	0.480 gramos
Sulfato de Zinc	1.200 gramos
Sulfato de Cobalto	0.020 gramos
Ácido Bórico	6.200 gramos
Molibdato de Amonio	0.020 gramos
Amoniacal Verde	16.320 gramos

7.3.1.6 VARIABLES DE RESPUESTA

Para responder a los objetivos e hipótesis planteados en la presente investigación se evaluaron las siguientes variables:

A. Rendimiento: de frutos.

Para la evaluación de esta variable de respuesta, fue el peso de frutos obtenidos por tratamiento / área en cada uno de los ensayos que representó a cada una de la regiones en estudio, las regiones que se evaluaron con esta variable son: I, II, III, V. Al final los datos obtenidos en cada corte se acumularon para obtener, el rendimiento en peso fresco de los distintos cultivos (tomate, chile jalapeño, pepino y lechuga) por tratamiento en cada una de las regiones.

B. Rendimiento: materia seca aérea.

El rendimiento de biomasa aérea fue expresado en materia seca a 71°C. Los cultivos evaluados fueron; sandía, brócoli y repollo.

C. Altura de plantas.

Se tomaron las plantas de cada unida experimental, las cuales se midieron desde la superficie del sustrato hasta el ápice de la planta, al momento de la cosecha y se expreso en metros. Los cultivos que se evaluaron fueron; tomate, chile jalapeño, pepino y brócoli.

D. Largo de raíz principal.

Se tomaron las plantas de cada unidad experimental, las cuales se midieron desde la superficie del sustrato hasta el ápice de la raíz principal al momento de la cosecha y se expresó en metros. Los cultivos que fueron evaluados son; tomate, chile jalapeño, pepino, sandía, lechuga, brócoli y repollo.

7.3.1.7 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

A las variables de respuesta: peso fresco o peso de frutos (tomate, chile jalapeño, pepino y lechuga), peso seco o materia seca (sandía, brócoli y repollo), altura de la planta (tomate, chile jalapeño, pepino y brócoli) y largo de la raíz principal (tomate, chile jalapeño, pepino, sandía, lechuga, brócoli y repollo); se les aplicó un análisis de varianza para determinar si existió diferencia significativa entre los tratamientos, al utilizar distintos sustratos o mezclas dentro de una misma región.

En los análisis de varianza en donde si existió diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, se procedió a realizar una prueba múltiple de medias de Tukey con una significancia $\alpha = 0.05$; con el objetivo de conocer el(los) tratamiento(s) que presente(n) mayores rendimientos, expresado en peso fresco por planta ó mayor peso de materia seca por planta, mayor altura de la planta y mayor largo de la raíz principal. Para esto se cosecharon los cultivos en su totalidad (corte total de la planta en distintas fechas)

8. RESULTADOS

Los sustratos estudiados en esta investigación, fueron recolectados en las distintas regiones estudiadas, estos debían presentar ciertas características, en el momento de su recolección como por ejemplo: su abundancia en la región, de fácil acceso, que no tuvieran ningún valor económico en la región, etc. Estos sustratos, presentaron características muy interesantes principalmente, en cuanto a su potencial de fertilidad; según Cadahia 2000, ya que según estudios realizados en otros países (España, Holanda, Suecia) estos pueden proveer elementos nutrimentales de importancia, para el desarrollo de los cultivos; esto ayuda a disminuir el uso de fuentes nutrimentales (Insumos = Fertilizantes) para el ahorro en los costos de producción. En cuanto a las características físicas, principalmente las que se refieren a la retención de humedad y nutrientes, estos presentaron valores que permitían trabajar con un sustrato (no realizando ninguna mezcla) al momento de realizar alguna mezcla de algunos sustratos, estos se complementaban y sus desventajas individuales se mejoraban y en la fase experimental de la investigación se observaron los resultados.

Las características físicas y químicas, determinadas en los sustratos, se presentan a continuación por región.

REGIÓN I

Los resultados de las características físicas obtenidas, en los sustratos de esta región, se presentan en el cuadro 5, la distribución de tamaño de las partículas se presentan en el cuadro 6 y los resultados de las características químicas se presentan en el cuadro 7.

Cuadro 5 Características físicas de los sustratos de la región I.

Sustrato	EP (%)	CA (%)	AFD (%)	D (gr/cm ³)	M (Minutos)	CV (%)
escoria volcánica negra	75	63.9	11.1	0.646	-----	5
grava con arena	40	61.2	11.4	1.854	-----	5
olote quebrado	55	28.6	13.8	0.214	4.30	10
pedra pómez blanca*	54.5	17.4	37.1	0.649	-----	10
cascarilla de arroz*	99	67.00	32.00	0.158	2.00	20
<i>Comparador teórico</i>	<i>> 85</i>	<i>20 - 30</i>	<i>20 - 30</i>	<i>0.15 - 0.5</i>	<i>< 5</i>	<i>< 30</i>

EP = Espacio Poroso.

AFD = Agua Fácilmente Disponible.

M = Mojabilidad (Solamente a sustratos orgánicos).

* = Sustratos utilizados para testigo.

CA = Capacidad de Aireación.

D = Densidad Aparente.

CV = Contracción de Volumen.

El comparador teórico presentado en este cuadro, representa a los valores aconsejables mínimos y máximos permisibles, que deberían tener los sustratos para ser utilizados en los sistemas hidropónicos, provenientes de diversas bibliografías. Las desventajas de las características físicas en los sustratos, se mejoraron al realizar combinaciones entre los sustratos de cada región, esto se expresó en el desarrollo morfológico de la investigación.

Cuadro 6 Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región I.

Medidas	SISTRATOS				
	Escoria volcánica negra (%)	Grava con arena (%)	Olote quebrado (%)	Cascarilla de arroz (%)**	Piedra pómez blanca (%)**
> 12mm	6	15	0	0	10
> 4.6mm a ≤ 12mm	72	24	100	0	20
> 3mm a ≤ 4.6mm	17	12	0	0	15
> 2mm a ≤ 3mm	5	11	0	100	20
< 2mm	0	38	0	0	35

** = Distribución tamaño de partículas para sustratos de testigo.

En cuanto a las características físicas de estos sustratos, se puede mencionar que el sustrato que no presenta una combinación de características adecuadas es la escoria volcánica negra, ya que su porcentaje de agua fácilmente disponible es la más baja, presenta un mayor porcentaje de espacio poroso, por lo tanto, en el tiempo este sustrato drena con mayor facilidad el agua, además, en su distribución de partículas su mayor porcentaje de diámetros se encuentra entre 4.6 a 12 milímetros, lo cual no presenta los mejores valores en dichas características. En cuanto a la arena y el olote quebrado, estos sustratos presentan ciertas desventajas individuales pero, al mezclarlas resultaron ser el mejor tratamiento en cuanto a desarrollo morfológico del cultivo.

Cuadro 7 Características químicas de los sustratos de la región I.

Sustrato	pH	μS/cm	ppm		Meq/100gr		Ppm			
		CE	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
grava con arena	8.9	465	2.74	40.0	21.84	12.02	0.0	6.0	2.5	64.0
escoria volcánica negra	7.6	280	17.55	40.0	3.12	1.13	7.5	250	175	11.0
olote quebrado	6.5	1790	30.28	930	0.64	0.31	3.5	5.5	3.0	2.0
piedra pómez blanca*	6.5	82	156.8	45	2.5	0.31	0.5	1.0	15	5.0
cascarilla de arroz*	6.5	570	18.29	365	0.62	0.31	0.5	2.5	2.5	19.0

* = Sustratos utilizados para testigo.

Todos los sustratos, presentan un potencial de fertilidad aceptable, teniendo cuidado únicamente con el de escoria volcánica negra, por presentar valores muy elevados en cuanto a elementos menores, principalmente hierro y zinc, que podrían ser tóxicos en algún momento, con aplicaciones de soluciones nutritivas con pH bajos ya que estas solubilizarían estos elementos.

En lo que se refiere a el desarrollo morfológico del cultivo en cada una de las regiones estudiadas, se realizó la fase experimental, en donde se trabajaron con 3 variables de respuesta, las cuales son: rendimiento en peso fresco, altura de la planta y largo de raíz principal.

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta, rendimiento en peso fresco, en el cultivo de tomate de la región I (apéndice 1) hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa, entre los tratamientos evaluados, la prueba de medias de Tukey, para la variable rendimiento se presenta en el cuadro 8.

Cuadro 8 Prueba de medias de la variable rendimiento de tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 79 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (grs/planta)	Grupo Tukey	
5	grava con arena + olote quebrado (1:1)	1895.40	A	
1	grava con arena	1417.70	B	
7	Testigo	944.60	C	
2	olote quebrado	859.20	C	
6	olote quebrado + escoria volcánica negra (1:1)	831.30	C	D
4	grava con arena + escoria volcánica negra (1:1)	447.50	D	E
3	escoria volcánica negra	327.50	E	

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; altura de planta, en el cultivo de tomate de la región I (apéndice 2); no existe evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados, por lo cual no se realizó la prueba de medias de Tukey para esta variable de respuesta.

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; largo de raíz principal, en el cultivo de tomate de la región I; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 3), la prueba de medias de Tukey, para la variable largo de raíz principal se presenta en el cuadro 9.

Cuadro 9 Prueba de medias de la variable largo de raíz principal de tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 79 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cms)	Grupo Tukey		
2	olote quebrado	42.27	A		
7	Testigo	40.99	A		
5	grava con arena + olote quebrado (1:1)	38.91	A	B	
1	grava con arena	36.27	A	B	C
6	olote quebrado + escoria volcánica negra (1:1)	28.60		B	C D
4	escoria volcánica negra + grava con arena (1:1)	26.65		C	D
3	escoria volcánica negra	24.07			D

Por los resultados observados con anterioridad; sobre las características físicas y químicas de los sustratos de la región I (que comprende los departamentos de Jutiapa, Jalapa, Santa Rosa, Chiquimula, El Progreso y Zacapa) se puede determinar que el sustrato con las características más deseables es el olote quebrado; pero este sustrato por ser un material orgánico presenta algunas desventajas como lo son: su densidad (muy baja, por lo tanto no representa un buen soporte de anclaje a las plantas) y su contracción de volumen, es mayor que la de arena, por lo que tiende a compactarse con mayor facilidad, según el tamaño de partículas de este sustrato las raíces presentaron un crecimiento radicular normal. Además, de los resultados de distribución de partículas, este sustrato presenta el 100% de sus partículas mayores de 4.6 a menores de 12 milímetros; por lo que deberían existir otros diámetros, esto para ayudar a disminuir la contracción de volumen al mojarse y luego secarse, aunque este sustrato presenta valores altos de agua fácilmente disponible y de espacio poroso. En cuanto a las características químicas de dichos sustratos, existe una diferencia bastante amplia en lo que se refiere a elementos solubles en ácido doble; todos presentan un potencial de fertilidad bastante aceptable, esto podría llegarse a determinar con mayor exactitud al evaluarlos con distintas soluciones nutritivas, para determinar su efecto directo sobre la nutrición vegetal. En cuanto a lo observado en el desarrollo morfológico del cultivo, que en este caso fue tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill.) recolectado en su totalidad (fruto, follaje y raíz) a los 79 días después del transplante, los mejores tratamientos fueron en cuanto a mayor rendimiento en arena y olote quebrado en una relación 1:1 y arena presentando una media de 1895.40 gramos y 1417.70 gramos

respectivamente según la prueba de medias de Tukey realizada. En cuanto a la altura de la planta, esto es muy importante ya que, representa un buen desarrollo y vigorosidad del cultivo, aunque entre todos los tratamientos evaluados no existió una diferencia significativa; por lo tanto, todos los tratamientos son estadísticamente iguales; oscilando una media de altura de 55.07 a 69.04 centímetros. Para la variable de respuesta largo de raíz principal, se observó que los mejores tratamientos son olote quebrado y el testigo, presentando una media de 42.27 y 40.99 centímetros respectivamente, lo que indica, que dichos sustratos presentan las características mas adecuadas, para que el sistema radicular del cultivo se desarrolle sin ningún problema.

REGIÓN II

Las características físicas obtenidas en los sustratos de esta región, se presentan en el cuadro 10, la distribución de tamaño de las partículas se presentan en el cuadro 11 y los resultados de las características químicas se presentan en el cuadro 12.

Cuadro 10 Características físicas de los sustratos de la región II.

Sustrato	EP (%)	CA (%)	AFD (%)	D (gr/cm ³)	M (Minutos)	CV (%)
arena cuársica	48	11.90	36.10	1.541	---	5
aserrín de pino	88	32.80	55.20	0.154	1	10
piedra pómez blanca*	54.5	17.4	37.1	0.649	---	10
cascarilla de arroz*	99	67.00	32.00	0.158	2.00	20
<i>comparador teórico</i>	<i>> 85</i>	<i>20 - 30</i>	<i>20 - 30</i>	<i>0.15 - 0.5</i>	<i>< 5</i>	<i>< 30</i>

EP = Espacio Poroso.

AFD = Agua Fácilmente Disponible.

M = Mojabilidad (Solamente a sustratos orgánicos).

* = Sustratos utilizados para testigo.

CA = Capacidad de Aireación.

D = Densidad Aparente.

CV = Contracción de Volumen.

Cuadro 11 Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región II.

Medidas	SUSTRATOS			
	Aserrín de pino (%)	Arena cuársica (%)	Cascarilla de arroz (%)**	Piedra pómez blanca (%)**
> 12mm	5	0	0	10
> 4.6mm a ≤ 12mm	8	0	0	20
> 3mm a ≤ 4.6mm	5	0	0	15
> 2mm a ≤ 3mm	82	0	100	20
< 2mm	0	100	0	35

** = Distribución tamaño de partículas para sustratos de testigo.

En esta región se encontraron sustratos con muy buenas características físicas, obteniéndose valores adecuados tanto de agua fácilmente disponible, espacio poroso y una capacidad de aireación. Esto se observa reflejado que estos sustratos individuales, presentando resultados en la fase experimental de campo mejores que el testigo, tanto en forma individual como en mezcla.

Cuadro 12 Características químicas de los sustratos de la región II.

Sustrato	pH	$\mu\text{S/cm}$ CE	ppm		Meq/100gr		Ppm			
			P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
arena cuársica	6.6	115	81.59	128	3.12	0.67	0.50	1.50	43.0	5.5
aserrín de pino	6.0	90	2.81	35.0	0.94	0.26	0.0	4.5	4.0	3.0
pedra pómez blanca*	6.5	82	156.8	45	2.5	0.31	0.5	1.0	15	5.0
cascarilla de arroz*	6.5	570	18.29	365	0.62	0.31	0.5	2.5	2.5	19.0

* = Sustratos utilizados para testigo.

Ambos sustratos presentan valores de elementos disponibles, adecuados para ser utilizados en futuras investigaciones o en producciones definitivas. Solamente se tiene que observar la conductividad eléctrica alta que estos sustratos presentan.

Según el análisis de varianza, realizada a la variable de respuesta; rendimiento en peso fresco, en el cultivo de chile jalapeño; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 4), la prueba de medias de Tukey, para la variable rendimiento se presenta en el cuadro 13.

Cuadro 13 Rendimiento de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 78 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (grs/planta)	Grupo Tukey	
1	arena cuársica	340.25	A	
3	arena cuársica + aserrín de (1:1)	259.25	A	B
2	aserrín de	177.17	B	C
4	testigo	89.21	C	

Según el análisis de varianza, realizada a la variable de respuesta; altura de planta, en el cultivo de chile jalapeño de la región II; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 5), la prueba de medias de Tukey, para la variable altura de planta se presenta en el cuadro 14.

Cuadro 14 Altura de planta de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 78 días después del trasplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cms)	Grupo Tukey
1	arena cuársica	84.258	A
3	arena cuársica + aserrín de (1:1)	76.592	A
2	aserrín de	56.500	B
4	testigo	56.250	B

Según el análisis de varianza, realizada a la variable de respuesta; largo de raíz principal, en el cultivo de chile jalapeño de la región II; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 6), la prueba de medias de Tukey, para la variable profundidad de raíz principal se presenta en el cuadro 15.

Cuadro 15 Largo de raíz de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 78 días después del trasplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cms)	Grupo Tukey
1	arena cuársica	38.00	A
4	Testigo	29.29	B
3	arena cuársica + aserrín de (1:1)	28.78	B
2	aserrín de	24.86	B

Por los cuadros de resultados observados con anterioridad; sobre las características físicas y químicas de los sustratos de la región II (que comprende los departamentos de Izabal y El Petén) se puede determinar que el sustrato que presenta las características más deseables es el aserrín de pino, pero este sustrato por ser un material orgánico presenta algunas desventajas: su densidad (muy baja, por lo tanto no representa un buen soporte de anclaje a las plantas) y su contracción de volumen es mayor que la de arena por lo cual tiende a compactarse con mayor facilidad, lo que no permite un crecimiento radicular normal, aunque este sustrato presente valores altos de agua fácilmente disponible y de espacio poroso. En cuanto a las características químicas de dichos sustratos, existe una diferencia bastante amplia en lo que se refiere a

elementos disponibles por parte de ambos sustratos; la arena cuársica presenta un potencial de fertilidad aceptable, esto podría llegarse a determinar con mayor exactitud al evaluarlo con distintas soluciones nutritivas, para determinar su efecto directo sobre la nutrición vegetal. En cuanto a lo observado en el desarrollo morfológico del cultivo, que en este caso, fue, chile jalapeño (*Capsicum annum L.*) recolectado en su totalidad (fruto, follaje y raíz) a los 78 días después de ser transplantado, los mejores tratamientos fueron en cuanto a mayor rendimiento arena cuársica y la mezcla de arena cuársica + aserrín de pino en una relación de 1:1, presentando una media de 340.25 gramos y 259.25 gramos respectivamente, que según la Prueba de Medias de Tukey realizada, existen similitudes en cuanto al rendimiento entre la mezcla y el tratamiento compuesto únicamente por aserrín de pino. En cuanto a la altura de la planta, esto es muy importante; ya que este cultivo a mayor altura tendrá mayores rendimientos, los mejores tratamientos fueron arena cuársica y la mezcla de arena cuársica + aserrín de pino en una relación 1:1, teniendo 84.25 y 76.59 centímetros de altura, existiendo dos grupos bien definidos en la Prueba de medias de Tukey. Para la variable de respuesta largo de raíz principal, se observa que el mejor tratamiento se encuentra la arena cuársica; en donde se obtuvo 38 centímetros, por lo que este sustrato presenta las condiciones mas adecuadas, para que el sistema radicular del cultivo se desarrolle sin ningún problema.

REGIÓN III

Las características físicas obtenidas en los sustratos de esta región, se presentan en el cuadro 16, la distribución de tamaño de las partículas se presentan en el cuadro 17 y los resultados de las características químicas se presentan en el cuadro 18.

Cuadro 16 Características físicas de los sustratos de la región III.

Sustrato	EP (%)	CA (%)	AFD (%)	D (gr/cm ³)	M (Minutos)	CV (%)
arena volcánica piroplástica	50	12.90	37.10	0.706	-----	5
arena cuársica	44	11.50	32.50	1.409	-----	5
roca (serpentinita)	68.50	52.50	16.00	1.422	-----	0
pedra pómez blanca*	54.5	17.4	37.1	0.649	-----	10
cascarilla de arroz*	99	67.00	32.00	0.158	2.00	20
<i>Comparador teórico</i>	<i>> 85</i>	<i>20 - 30</i>	<i>20 - 30</i>	<i>0.15 - 0.5</i>	<i>< 5</i>	<i>< 30</i>

EP = Espacio Poroso.

AFD = Agua Fácilmente Disponible.

M = Mojabilidad (Solamente a sustratos orgánicos).

* = Sustratos utilizados para testigo.

CA = Capacidad de Aireación.

D = Densidad Aparente.

CV = Contracción de Volumen.

El comparador teórico presentado en este cuadro, representa a los valores aconsejables mínimos y máximos permisibles, que deberían tener los sustratos para ser utilizados en los sistemas hidropónicos, provenientes de diversas bibliografías.

Cuadro 17 Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región III.

Medidas	SISTRATOS				
	Arena volcánica piroplástica (%)	Arena cuársica (%)	Roca (serpentinita) (%)	Cascarilla de arroz (%)**	Piedra pómez blanca (%)**
> 12mm	0	0	37	0	10
> 4.6mm a ≤ 12mm	0	0	39	0	20
> 3mm a ≤ 4.6mm	0	0	13	0	15
> 2mm a ≤ 3mm	5	0	5	100	20
< 2mm	95	100	6	0	35

** = Distribución tamaño de partículas para sustratos de testigo.

Los sustratos estudiados de la región III, presentan características físicas, bastante aceptables en cuanto al espacio poroso, agua fácilmente disponible y capacidad de aireación. En esta región no se encontraron sustratos orgánicos, por lo cual, los tres sustratos son inorgánicos. Estos sustratos complementan sus ventajas y se obtuvieron mezclas de grandes características para el desarrollo del cultivo. Sin embargo, el problema de algunas mezclas, es que su contracción de volumen puede presentar algunas desventajas, por ejemplo: alguna compactación de estos. Por el contrario los sustratos mas gruesos ayudan a proveer mayor consistencia a los cultivos y a elevar el espacio poroso de los otros sustratos, mezclados con la arena cuársica y arena volcánica piroplástica.

Cuadro 18 Características químicas de los sustratos de la región III.

Sustrato	pH	μS/m	ppm		Meq/100gr		ppm			
		CE	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
arena volcánica piroplástica	7.0	170	2.88	165	0.94	0.46	0.0	2.0	7.5	3.0
arena cuársica	6.7	140	8.59	40.0	1.25	0.67	0.50	1.0	89.0	13.0
roca (serpentinita)	8.2	285	4.15	390.0	2.50	11.06	0.50	11.5	88.5	36.0
piedra pómez blanca*	6.5	82	156.8	45	2.5	0.31	0.5	1.0	15	5.0
cascarilla de arroz*	6.5	570	18.29	365	0.62	0.31	0.5	2.5	2.5	19.0

* = Sustratos utilizados para testigo.

Los sustratos de esta región, presentan un potencial de fertilidad con muy buenas características, únicamente se debe tener cuidado con las altas concentraciones de hierro, presentes en los sustratos arena cuársica y roca (serpentinita), y con la conductividad eléctrica que estos sustratos presentan. Los tres sustratos presentan grandes cantidades de potasio.

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; rendimiento de peso fresco, en el cultivo de pepino de la región III; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 7), la prueba de medias de Tukey, para la variable rendimiento se presenta en el cuadro 19.

Cuadro 19 Rendimiento de pepino (*Cucumis sativus* L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 80 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (grs/planta)	Grupo Tukey
4	roca (serpentinita) + arena cuársica (1:1)	3256.1	A
1	arena cuársica	2528.3	B
5	roca (serpentinita) + arena volcánica piroplástica (1:1)	2233.5	B
7	Testigo	2175.4	B
3	arena volcánica piroplástica	2041.7	B C
2	roca (serpentinita)	1551.3	C
6	arena cuársica + arena volcánica piroplástica (1:1)	1462.9	C

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; altura de planta, en el cultivo de pepino en la región III; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 8), la prueba de medias de Tukey, para la variable altura de planta se presenta en el cuadro 20.

Cuadro 20 Altura de planta de pepino (*Cucumis sativus* L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 80 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cms)	Grupo Tukey		
7	Testigo	179.9454	A		
4	roca (serpentinita) + arena cuársica (1:1)	172.2750	A		
1	arena cuársica	169.4083	A	B	
5	roca (serpentinita) + arena volcánica piroplástica (1:1)	147.1917	A	B	C
6	arena cuársica + arena volcánica piroplástica (1:1)	138.0667	A	B	C
2	roca (serpentinita)	119.1250	B C		
3	arena volcánica piroplástica	115.8083	C		

Según el análisis de varianza, realizada a la variable de respuesta; largo de raíz principal, en el cultivo de pepino de la región III; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 9), la prueba de medias de Tukey, para la variable largo de raíz principal se presenta en el cuadro 21.

Cuadro 21 Largo de raíz principal de pepino (*Cucumis sativus* L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 80 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cms)	Grupo Tukey		
7	Testigo	27.11	A		
1	arena cuársica	26.92	A		
4	roca (serpentinita) + arena cuársica (1:1)	25.01	A	B	
5	roca (serpentinita) + arena volcánica piroplástica (1:1)	21.28	B C		
3	arena volcánica piroplástica	19.41	C D		
6	arena cuársica + arena volcánica piroplástica (1:1)	19.31	C D		
2	roca (serpentinita)	16.91	D		

En los cuadros de resultados observados con anterioridad, de las características físicas y químicas de los sustratos de la región III (que comprende los departamentos de Baja Verapaz y Alta Verapaz) se puede observar que individualmente, estos sustratos presentan características deseables, a utilizarse en la técnica de cultivos sin suelo, pero sus ventajas se complementaron por medio de las mezclas entre ellos. En cuanto a las características químicas de dichos sustratos, todos presentan un potencial de fertilidad aceptable, que puede ser utilizado en futuras investigaciones; para la disminución de insumos (fuentes nutrimentales) en la preparación de soluciones nutritivas. En cuanto a lo observado en el desarrollo morfológico del cultivo, que en este caso fue pepino (*Cucumis sativus* L.) cosechado en su totalidad (fruto,

follaje y raíz) a los 80 días después del trasplante, los mejores tratamientos fueron en cuanto a mayor rendimiento roca (serpentinita) + arena cuársica en una relación de 1:1 con una media por planta de 3256.1 gramos, teniendo a los tratamientos arena cuársica, roca (serpentinita) + arena volcánica piroplástica en una relación 1:1, testigo y arena volcánica piroplástica, en una segunda posición presentando una media de 2528.3, 2233.50, 2175.40 y 2041.70 gramos por planta., que según la prueba de medias de tukey realizada, existen tres grupos definidos en cuanto a rendimientos obtenidos. Refiriéndonos a la altura de la planta, existieron similitudes en todos los tratamientos, pero los mejores fueron testigo y la mezcla de roca (serpentinita) + arena cuársica en una relación de 1:1, presentando una media de 179.94 y 172.27 centímetros de altura. Para la variable de respuesta largo de raíz principal, se observó que el mejor tratamiento se encuentra el testigo y arena cuársica ya que estos tratamientos no presentan características de compactación, para el crecimiento radicular; presentando una media de 27.11 y 26.92 centímetros de largo de la raíz principal.

REGIÓN IV

Las características físicas obtenidas en los sustratos de esta región, se presentan en el cuadro 22, la distribución de tamaño de las partículas se presentan en el cuadro 23 y los resultados de las características químicas se presentan en el cuadro 24.

Cuadro 22 Características físicas de los sustratos de la región IV.

Sustrato	EP (%)	CA (%)	AFD (%)	D (gr/cm ³)	M (Minutos)	CV (%)
escoria volcánica negra	75	63.9	11.10	0.646	—	5
grava y arena piroplástica	48	26.80	21.20	1.168	—	5
fibra de coco	98	71.00	27.00	0.066	3.00	10
piedra pómez blanca*	54.5	17.4	37.1	0.649	—	10
cascarilla de arroz*	99	67.00	32.00	0.158	2.00	20
<i>Comparador teórico</i>	<i>> 85</i>	<i>20 - 30</i>	<i>20 - 30</i>	<i>0.15 - 0.5</i>	<i>< 5</i>	<i>< 30</i>

EP = Espacio Poroso.

AFD = Agua Fácilmente Disponible.

M = Mojabilidad (Solamente a sustratos orgánicos).

* = Sustratos utilizados para testigo.

CA = Capacidad de Aireación.

D = Densidad Aparente.

CV = Contracción de Volumen.

El comparador teórico presentado en este cuadro, representa a los valores aconsejables mínimos y máximos permisibles, que deberían tener los sustratos para ser utilizados en los sistemas hidropónicos, provenientes de diversas bibliografías.

Cuadro 23 Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región IV.

Medidas	SUSTRATOS				
	Escoria volcánica negra (%)	Grava y arena piroplástica (%)	Fibra de coco (%)	Cascarilla de arroz (%)**	Piedra pómez blanca (%)**
> 12mm	6	8	100	0	10
> 4.6mm a ≤ 12mm	72	12	0	0	20
> 3mm a ≤ 4.6mm	17	8	0	0	15
> 2mm a ≤ 3mm	5	8	0	100	20
< 2mm	0	64	0	0	35

** = Distribución tamaño de partículas para sustratos de testigo.

Los sustratos estudiados en esta región, presentan valores de agua fácilmente disponible, espacio poroso y capacidad de aireación, aceptable; pero estos presentaron mejores resultados al ser combinados, ya que ambos proporcionaban las mejores características para el buen desarrollo del cultivo. Por consiguiente un sustrato que presenta características como la escoria volcánica negra, tiende a no desarrollar un cultivo de la mejor manera, pero lo mantiene vivo, por lo tanto posee características que podrían ser utilizadas y determinar su mejor combinación.

Cuadro 24 Características químicas de los sustratos de la región IV.

Sustrato	pH	μS/cm	ppm		Meq/100gr		Ppm			
		CE	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
grava y arena piroplástica	7.0	220	27.32	160	4.06	1.39	1.0	2.5	33.0	7.5
escoria volcánica negra	7.6	280	17.55	40.0	3.12	1.13	7.5	250	175	11.0
fibra de coco	6.2	28.0	32.58	1225	0.94	0.46	0.5	1.0	2.50	0.50
piedra pómez blanca*	6.5	82	156.8	45	2.5	0.31	0.5	1.0	15	5.0
cascarilla de arroz*	6.5	570	18.29	365	0.62	0.31	0.5	2.5	2.5	19.0

* = Sustratos utilizados para testigo.

En cuanto a las características químicas, presentadas por estos sustratos, tenemos únicamente para los inorgánicos, su alta conductividad eléctrica y para la escoria volcánica negra sus altas concentraciones de hierro y zinc. El sustrato orgánico, es el de mayor potencial ya que además de presentar valores bajos de microelementos, presenta valores altos de macroelementos.

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; rendimiento de materia seca, en el cultivo de sandía de la región IV; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 10), la prueba de medias de Tukey, para la variable rendimiento de materia seca se presenta en el cuadro 25.

Cuadro 25 Rendimiento de materia seca de sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 80 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (grs/planta)	Grupo Tukey
4	escoria volcánica negra + grava y arena piroplástica (1:1)	268.65	A
2	grava y arena piroplástica	249.16	A
3	escoria volcánica negra + fibra de coco (1:1)	222.63	A
5	testigo	140.13	B
1	escoria volcánica negra	39.63	C

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; largo de raíz principal, en el cultivo de sandía de la región IV; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 11), la prueba de medias de Tukey, para la variable largo de raíz principal se presenta en el cuadro 26.

Cuadro 26 Largo de raíz principal de sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 80 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cms)	Grupo Tukey
3	escoria volcánica negra + fibra de coco (1:1)	38.30	A
2	grava y arena piroplástica	33.02	A B
4	escoria volcánica negra + grava y arena piroplástica (1:1)	30.57	B
5	testigo	28.93	B
1	escoria volcánica negra	21.64	C

En los cuadros de resultados observados con anterioridad; sobre las características físicas y químicas de los sustratos de la región IV (que comprende los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu) se puede observar que individualmente, estos sustratos presentan características deseables, a utilizarse en la técnica de cultivos sin suelo, pero que sus ventajas se complementaron por medio de mezclas entre ellos. En cuanto a las características químicas de dichos sustratos, todos presentan un

potencial de fertilidad aceptable, que puede ser bien utilizado en futuras investigaciones, para la disminución de insumos (fuentes nutrimentales), en la preparación de soluciones nutritivas.

En cuanto a lo observado en el desarrollo morfológico del cultivo, que en este caso fue sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.) cosechado en su totalidad (fruto, follaje y raíz) a los 80 días después del transplante, los mejores tratamientos fueron en cuanto a mayor rendimiento de materia seca; la mezcla de escoria volcánica negra + grava y arena pirolástica en una relación 1:1, selecto y la mezcla de escoria volcánica negra + fibra de coco en una relación 1:1 con una media por planta de 268.65, 249.16 y 222.63 gramos respectivamente, según la prueba de medias de tukey realizada, existen tres grupos definidos en cuanto a rendimientos obtenidos. Para la variable de respuesta largo de raíz principal, se observa que el mejor tratamiento se encuentra escoria volcánica negra + fibra de coco en una relación 1:1 y grava y arena pirolástica con una media de 38.30 y 33.02 centímetros de largo de la raíz principal respectivamente. Estos tratamientos no presentan características de compactación, para el crecimiento radicular y excelente propiedades para la retención de la humedad.

REGIÓN V

Las características físicas obtenidas en los sustratos de esta región, se presentan en el cuadro 27, la distribución de tamaño de las partículas se presentan en el cuadro 28 y los resultados de las características químicas se presentan en el cuadro 29.

Cuadro 27 Características físicas de los sustratos de la región V.

Sustrato	EP (%)	CA (%)	AFD (%)	D (gr/cm ³)	M (Minutos)	CV (%)
gravilla (andesita)	61.50	19.10	42.40	0.748	—	5
grava de piedra pómez	58.50	40.70	17.80	1.588	—	10
piedra pómez blanca*	54.5	17.4	37.1	0.649	—	10
cascarilla de arroz*	99	67.00	32.00	0.158	2.00	20
Comparador teórico	>85	20 - 30	20 - 30	0.15 - 0.5	<5	<30

EP = Espacio Poroso.

AFD = Agua Fácilmente Disponible.

M = Mojabilidad (Solamente a sustratos orgánicos).

* = Sustratos utilizados para testigo.

CA = Capacidad de Aireación.

D = Densidad Aparente.

CV = Contracción de Volumen.

Cuadro 28 Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región V.

Medidas	SUSTRATOS			
	Gravilla (Andesita) (%)	Grava de piedra pómez (%)	Cascarilla de Arroz (%)**	Piedra pómez blanca (%)**
> 12mm	0	5	0	10
> 4.6mm a ≤ 12mm	63	23	0	20
> 3mm a ≤ 4.6mm	37	19	0	15
> 2mm a ≤ 3mm	0	22	100	20
< 2mm	0	31	0	35

** = Distribución tamaño de partículas para sustratos de testigo.

Los sustratos que en esta región se estudiaron, presentan valores adecuados para ser utilizados en la técnica de cultivos sin suelo, su densidad es bastante adecuada para trabajarse individualmente, aunque según resultados obtenidos en el desarrollo morfológico del cultivo, el sustrato gravilla (andesita), no representa este desarrollo adecuado, sin embargo sus valores individuales sobre las características físicas son bastante adecuadas. Esto se debió a la distribución de partículas, ya que el 100% de estas se encuentran entre los valores de 3 a 12 milímetros y aunque sus valores de retención eran altos (42.40%), el drenaje de esto era también a gran velocidad. Sin embargo, para el sustrato grava de piedra pómez, presento valores más bajos en cuanto a las características físicas pero sus resultados en cuanto al desarrollo del cultivo fue mejor.

Cuadro 29 Características químicas de los sustratos de la región V.

Sustrato	pH	μS/cm	ppm		Meq/100gr		ppm			
		CE	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
grava de piedra pómez	7.2	165	11.18	368	2.50	1.34	1.0	2.5	17.0	2.5
gravilla (andesita)	8.5	390	124	80.0	8.74	0.77	4.0	17.0	74.0	13.0
piedra pómez blanca*	6.5	82	156.8	45	2.5	0.31	0.5	1.0	15	5.0
cascarilla de arroz*	6.5	570	18.29	365	0.62	0.31	0.5	2.5	2.5	19.0

* = Sustratos utilizados para testigo.

En cuanto a las características químicas de estos sustratos, ambos presentan un potencial de fertilidad adecuado. Teniendo únicamente cuidado con la conductividad eléctrica de ambos, ya que presenta valores altos y con la concentración alta de hierro presente en el sustrato gravilla (andesita).

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; rendimiento de peso fresco, en el cultivo de lechuga de la región V; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 12), la prueba de medias de Tukey, para la variable rendimiento se presenta en el cuadro 30.

Cuadro 30 Rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 69 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (grs/planta)	Grupo Tukey
1	grava de piedra pómez	797.08	A
3	grava de piedra pómez + gravilla (andesita) (1:1)	687.50	A
4	testigo	464.58	B
2	gravilla (andesita)	320.83	B

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; largo de raíz principal, en el cultivo de lechuga de la región V; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 13), la prueba de medias de Tukey, para la variable largo de raíz principal se presenta en el cuadro 31.

Cuadro 31 Largo de raíz principal de lechuga (*Lactuca sativa* L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 69 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cms)	Grupo Tukey
1	grava de piedra pómez	23.79	A
4	testigo	23.33	A
3	grava de piedra pómez + gravilla (andesita) (1:1)	22.81	A
2	gravilla (andesita)	20.30	B

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; diámetro de lechuga, de la región V; hay evidencia suficiente, para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 14), la prueba de medias de Tukey, para la variable diámetro de lechuga se presenta en el cuadro 32.

Cuadro 32 Diámetro de lechuga (*Lactuca sativa* L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 69 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cms)	Grupo Tukey
3	grava de piedra pómez + gravilla (andesita) (1:1)	49.70	A
1	grava de piedra pómez	49.08	A
4	testigo	38.55	B
2	gravilla (andesita)	34.43	B

Por los resultados observados con anterioridad sobre las características físicas y químicas de los sustratos de la región V (que comprende los departamentos de Sóloa, Quetzaltenango y San Marcos) se puede discernir que el mejor sustrato para la elaboración de cultivos hidropónicos es grava de piedra pómez o la mezcla de grava de piedra pómez + gravilla (andesita) en una relación 1:1. Esto, ya que los cultivos necesitan un balance ideal entre aire, agua y estructura para su buen desarrollo, lo cual es encontrado en este sustrato o mezcla.

Lo que se respecta en cuanto a las características químicas de los sustratos, estos presentan un potencial de fertilidad bastante aceptable, esto podría llegarse a determinar con mayor exactitud al evaluar estos sustratos con distintas soluciones nutritivas, para determinar su efecto directo sobre la nutrición vegetal; según Cadahia (2000) en lo que respecta a elemento menores las concentraciones de estos se encuentran elevados para el desarrollo de lechuga y la conductividad eléctrica que se presenta en los sustratos se encuentra sobre lo permitido para el desarrollo del cultivo (colocar rango), aunque esto pudo haber afectado Cadahia también menciona que se puede atenuar los efectos de la salinidad al mantener el sustrato del cultivos permanentemente húmedo, algo que en el ensayo siempre se mantuvo. En cuanto a lo observado en el desarrollo morfológico del cultivo, que en este caso fue lechuga (*Lactuca sativa* L.) cosechado en su totalidad (follaje y raíz) a los 69 días después del transplante, los mejores tratamientos fueron en cuanto a mayor rendimiento grava de piedra pómez y grava de piedra pómez + gravilla (andesita) en una relación 1:1 presentando una media de 797.08 gramos y 687.50 gramos respectivamente, que según la prueba de medias de tukey realizada, existen dos grupos definidos. En cuanto al desarrollo radicular del cultivo, se observa que entre los mejores tratamientos se encuentran los que anteriormente se recomiendan; en donde se obtuvieron grava de piedra pómez, testigo (que esta conformado por piedra pómez blanca + cascarilla de arroz en una relación 1:1) y grava de piedra pómez + gravilla (andesita) en una relación 1:1, presentando una media de 23.79, 23.33 y 22.81 cms de profundidad en la raíz principal; por lo que el sustrato o mezcla presenta condiciones adecuadas para que el sistema radicular del cultivo se desarrolle sin ningún problema.

REGIÓN VI

Las características físicas obtenidas en los sustratos de esta región, se presentan en el cuadro 33, la distribución de tamaño de las partículas se presentan en el cuadro 34 y los resultados de las características químicas se presentan en el cuadro 35.

Cuadro 33 Características físicas de los sustratos de la región VI.

Sustrato	EP (%)	CA (%)	AFD (%)	D (gr/cm ³)	M (Minutos)	CV (%)
roca caliza clara	53.50	46.90	6.60	1.628	—	0
roca caliza oscura	53.00	41.80	11.20	1.760	—	0
viruta de ciprés	98	55.70	42.30	0.112	2.00	15
piedra pómez blanca*	54.5	17.4	37.1	0.649	—	10
cascarilla de arroz*	99	67.00	32.00	0.158	2.00	20
<i>Comparador teórico</i>	<i>> 85</i>	<i>20 - 30</i>	<i>20 - 30</i>	<i>0.15 - 0.5</i>	<i>< 5</i>	<i>< 30</i>

EP = Espacio Poroso.

AFD = Agua Fácilmente Disponible.

M = Mojabilidad (Solamente a sustratos orgánicos).

* = Sustratos utilizados para testigo.

CA = Capacidad de Aireación.

D = Densidad Aparente.

CV = Contracción de Volumen.

El comparador teórico presentado en este cuadro, representa a los valores aconsejables mínimos y máximos permisibles, que deberían tener los sustratos para ser utilizados en los sistemas hidropónicos, provenientes de diversas bibliografías.

Cuadro 34 Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región VI.

Medidas	SUSTRATOS				
	Roca caliza clara (%)	Roca caliza oscura (%)	Viruta de ciprés (%)	Cascarilla de arroz (%)**	Piedra pómez blanca (%)**
> 12mm	49	35	0	0	10
> 4.6mm a ≤ 12mm	51	45	100	0	20
> 3mm a ≤ 4.6mm	0	10	0	0	15
> 2mm a ≤ 3mm	0	5	0	100	20
< 2mm	0	5	0	0	35

* = Sustratos utilizados para testigo.

En los sustratos estudiados en esta región, ambas rocas calizas presentan valores muy bajos de agua fácilmente disponible, esto se pudo observar en los resultados del desarrollo del cultivo, ya que los tratamientos y las mezclas de ambos presentaron los resultados mas bajos en cuanto al desarrollo del

cultivo. Estos sustratos individuales al ser mezclados con el sustrato orgánico en este caso el sustrato viruta, las características mejoraron notablemente.

Cuadro 35 Características químicas de los sustratos de la región VI.

Sustrato	pH	μS/cm	ppm		Meq/100gr		Ppm			
		CE	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
roca caliza clara	9.3	44.1	2.19	15.0	36.82	0.62	0.0	0.0	1.0	1.5
roca caliza oscura	8.9	540	0.22	20.0	38.67	3.13	0.0	1.0	0.50	4.0
viruta de ciprés	6.3	75	1.11	23.0	0.94	0.21	0.50	1.50	3.50	3.50
pedra pómez blanca*	6.5	82	156.8	45	2.5	0.31	0.5	1.0	15	5.0
cascarilla de arroz*	6.5	570	18.29	365	0.62	0.31	0.5	2.5	2.5	19.0

* = Sustratos utilizados para testigo.

En cuanto a las características químicas de estos sustratos, lo importante es que estos no presentan toxicidades por elementos menores, aunque su conductividad eléctrica es muy elevada. Presentan valores altos de calcio. Ambas rocas podrían ser utilizadas como sustratos en futuras investigaciones, pero se debe de trabajar en el diámetro adecuado para realizarlo.

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; rendimiento de materia seca, en el cultivo de brócoli de la región VI; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 15), la prueba de medias de Tukey, para la variable rendimiento de materia seca se presenta en el cuadro 36.

Cuadro 36 Rendimiento de materia seca de brócoli (*Brassica oleraceae* L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 68 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (grs/planta)	Grupo Tukey
7	testigo	66.79	A
5	roca caliza clara + viruta de ciprés(1:1)	60.53	A B
2	viruta de ciprés	55.86	A B
4	roca caliza oscura + viruta de ciprés (1:1)	52.23	A B
6	roca caliza clara + roca caliza oscura (1:1)	33.88	A B
1	roca caliza oscura	28.71	B C
3	roca caliza clara	0	C

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; largo de raíz principal, en el cultivo de brócoli de la región VI, hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 16), la prueba de medias de Tukey, para la variable largo de raíz principal se presenta en el cuadro 37.

Cuadro 37 Largo de raíz principal de brócoli (*Brassica oleraceae* L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 68 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cms)	Grupo Tukey	
7	testigo	20.62	A	
2	viruta de ciprés	19.06	A	B
4	roca caliza oscura + viruta de ciprés (1:1)	17.00	A	B
5	roca caliza clara + viruta de ciprés (1:1)	11.60	B	
6	roca caliza clara + roca caliza oscura (1:1)	11.60	C	
1	roca caliza oscura	9.09	C	
3	roca caliza clara	0.00	D	

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; altura de planta, en el cultivo de brócoli de la región VI; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 17), la prueba de medias de Tukey, para la variable altura de planta se presenta en el cuadro 38.

Cuadro 38 Altura de planta de brócoli (*Brassica oleraceae* L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 68 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cms)	Grupo Tukey	
7	testigo	21.70	A	
2	viruta de ciprés	21.16	A	
5	roca caliza clara + viruta de ciprés (1:1)	20.86	A	
4	roca caliza oscura + viruta de ciprés (1:1)	19.70	A	
6	roca caliza clara + roca caliza oscura (1:1)	18.72	A	
1	roca caliza oscura	11.30	B	
3	roca caliza clara	0.00	C	

En base a los resultados observados en los cuadros anteriores sobre los análisis de varianzas de las distintas variables de respuesta en el cultivo de brócoli (*Brassica oleraceae* L.) se determina que el mejor tratamiento es el testigo (piedra pómez blanca + cascarilla de arroz en una relación 1:1).

En cuanto a lo observado en el desarrollo morfológico del cultivo, que en este caso fue brócoli (*Brassica oleraceae* L.) cosechado en su totalidad (follaje y raíz) a los 68 días después del transplante, el mejor tratamiento en mayor rendimiento de materia seca fue el testigo, piedra pómez blanca + cascarilla de arroz en una relación 1:1 presentando una media de 66.79 gramos y roca caliza clara + viruta de ciprés en una relación 1:1 obtuvo 60.53 gramos que según la prueba de medias de tukey realizada, existiendo tres grupos definidos. En cuanto al desarrollo radicular del cultivo, se observa que entre los mejores tratamientos se encuentran el testigo presentando una media de 20.62 cms y viruta de ciprés presentando una media de 19.06 centímetros definiéndose seis grupos definidos. Los tratamientos que presentan una mayor altura de planta son, testigo, viruta de ciprés, roca caliza clara + viruta de ciprés en una relación de 1:1, roca caliza oscura + viruta de ciprés en una relación de 1:1 y roca caliza clara + roca caliza oscura en una relación de 1:1 presentando una media de 21.70, 21.16, 20.86, 19.70 y 18.72 centímetros respectivamente; teniéndose tres grupos definidos en cuanto a esta variable.

Observando las características físicas de los sustratos de la región VI (que comprende los departamentos de Huehuetenango, Totonicapán y Quiché), se puede mencionar que los sustratos utilizados de esta región, roca caliza clara y roca caliza oscura no presentan valores adecuados, principalmente en lo que se refiere al agua fácilmente disponible (valores bajos), ya que su tamaño de partículas se encuentra en valores mayores de 4.6mm en donde su capacidad de retención de agua es menor. El sustrato llamado viruta de ciprés, es el único sustrato que llena los requisitos mínimos de agua fácilmente disponible para el cultivo, el inconveniente de utilizar únicamente viruta de ciprés como sustrato es que, su densidad es muy baja por lo cual tiende a ser de bajo peso y no proporciona una estabilidad a la planta. Por lo que se puede mencionar que las mezclas de ambas rocas calizas y viruta de ciprés podría utilizarse con partículas de rocas más pequeñas. En cuanto a las características químicas de los sustratos, estos presentan un potencial de fertilidad bueno, que podría ser utilizado en beneficio de los cultivos, teniendo cuidado únicamente con la conductividad eléctrica.

REGIÓN VII

Las características físicas obtenidas en los sustratos de esta región, se presentan en el cuadro 39, la distribución de tamaño de las partículas se presentan en el cuadro 40 y los resultados de las características químicas se presentan en el cuadro 41.

Cuadro 39 Características físicas de los sustratos de la región VII.

Sustrato	EP (%)	CA (%)	AFD (%)	D (gr/cm ³)	M (Minutos)	CV (%)
escoria volcánica roja	53.50	1.40	52.10	0.956	-----	5
grava y arena de ladrillo quebrado	54.50	3.00	51.50	1.442	-----	10
cascarilla de arroz	99	67.00	32.00	0.158	2.00	20
piedra pómez blanca*	54.5	17.4	37.1	0.649	-----	10
cascarilla de arroz*	99	67.00	32.00	0.158	2.00	20
<i>Comparador</i>	<i>> 85</i>	<i>20 - 30</i>	<i>20 - 30</i>	<i>0.15 - 0.5</i>	<i>< 5</i>	<i>< 30</i>

EP = Espacio Poroso.

AFD = Agua Fácilmente Disponible.

M = Mojabilidad (Solamente a sustratos orgánicos).

* = Sustratos utilizados para testigo.

CA = Capacidad de Aireación.

D = Densidad Aparente.

CV = Contracción de Volumen.

El comparador teórico presentado en este cuadro, representa a los valores aconsejables mínimos y máximos permisibles, que deberían tener los sustratos para ser utilizados en los sistemas hidropónicos, provenientes de diversas bibliografías.

Cuadro 40 Distribución del tamaño de las partículas de los sustratos de la región VII.

Medidas	SUSTRATOS				
	Escoria volcánica roja (%)	Grava y arena de ladrillo quebrado (%)	Cascarilla de arroz (%)	Cascarilla de arroz (%)**	Piedra pómez blanca (%)**
> 12mm	4	35	0	0	10
> 4.6mm a ≤ 12mm	20	21	0	0	20
> 3mm a ≤ 4.6mm	20	7	0	0	15
> 2mm a ≤ 3mm	25	5	100	100	20
< 2mm	31	32	0	0	35

** = Sustratos utilizados para testigo.

Los sustratos de esta región, presentan valores adecuados en cuanto a agua fácilmente disponible, espacio poroso y no así en la capacidad de aireación. En estos sustratos se puede observar muy bien que los sustratos individualmente tienen sus ventajas pero estas se pueden mejorar en base a encontrar una relación adecuada de combinación de ambos sustratos. El sustrato grava y arena de ladrillo quebrado, presento los mejores valores de rendimiento en materia seca pero su contracción de volumen no ayudo al buen desarrollo radicular.

Sin embargo la combinación de escoria volcánica roja y grava y arena de ladrillo quebrado, presento el segundo mejor lugar en cuanto a rendimiento de materia seca y a la vez obtuvo el mejor desarrollo radicular del cultivo, esto por haber evitado tanto la compactación del sustrato en el contenedor.

Cuadro 41 Características químicas de los sustratos de la región VII.

Sustrato	pH	$\mu\text{S/cm}$	ppm		Meq/100gr		ppm			
		CE	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
grava y arena de ladrillo quebrado	7.1	310	65.15	160	2.18	0.62	1.50	6.0	26.0	15.50
escoria volcánica roja	6.5	115	99.06	28.0	2.18	0.26	2.0	5.0	47.0	4.0
cascarilla de arroz	6.5	570	18.29	365	0.62	0.31	0.5	2.5	2.5	19.0
piedra pómez blanca*	6.5	82	156.8	45	2.5	0.31	0.5	1.0	15	5.0
cascarilla de arroz*	6.5	570	18.29	365	0.62	0.31	0.5	2.5	2.5	19.0

* = Sustratos utilizados para testigo.

En cuanto a las características químicas de estos sustratos, se debe tener cuidado con la conductividad eléctrica de estos; con las altas concentraciones de hierro en los sustratos inorgánicos y la concentración alta de manganeso en la cascarilla de arroz. Todos los sustratos presentan valores moderadamente altos de macroelementos.

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; rendimiento de materia seca, en el cultivo de repollo de la región VII; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 18), la prueba de medias de Tukey, para la variable rendimiento de materia seca se presenta en el cuadro 42.

Cuadro 42 Rendimiento de materia seca de repollo (*Brassica oleraceae* var. capitata L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 68 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (grs/planta)	Grupo Tukey
1	grava y arena de ladrillo quebrado	148.23	A
4	grava y arena de ladrillo quebrado + cascarilla de arroz (1:1)	128.54	B
6	grava y arena de ladrillo quebrado + escoria volcánica roja (1:1)	126.97	B
7	testigo	72.81	C
2	escoria volcánica roja	70.75	C
5	escoria volcánica roja + cascarilla de arroz (1:1)	45.08	C
3	cascarilla de arroz	14.48	C

Según el análisis de varianza, realizado a la variable de respuesta; largo de raíz principal, en el cultivo de repollo de la región VII; hay evidencia suficiente para afirmar que existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos evaluados (apéndice 19), la prueba de medias de Tukey, para la variable largo de raíz principal se presenta en el cuadro 43.

Cuadro 43 Largo de raíz principal de repollo (*Brassica oleraceae* var. capitata L.) de los tratamientos evaluados y resultados de la comparación a los 68 días después del transplante.

No. Trat.	Tratamiento	Media (cms)	Grupo Tukey
6	grava y arena de ladrillo quebrado + escoria volcánica roja (1:1)	23.33	A
7	testigo	20.30	B
4	grava y arena de ladrillo quebrado + cascarilla de arroz (1:1)	20.30	B
1	grava y arena de ladrillo quebrado	19.06	C
2	escoria volcánica roja	17.00	C
5	escoria volcánica roja + cascarilla de arroz (1:1)	11.60	D
3	cascarilla de arroz	9.09	E

Observando las características físicas de los sustratos de la región VI (que comprende los departamentos de Guatemala, Chimaltenango y Sacatepéquez), se puede mencionar que los sustratos utilizados de esta región; grava y arena de ladrillo quebrado, escoria volcánica roja y cascarilla de arroz no presentan valores adecuados individualmente; lo cual al ser utilizados como mezclas, estos superaron a los tratamientos en donde los sustratos estaban utilizados individualmente.

En cuanto a las características químicas de los sustratos, estos presentan un potencial de fertilidad bueno, que podría ser utilizado en beneficio de los cultivos, teniendo cuidado únicamente con elementos menores, que se encuentran con valores altos, pudiendo crear alguna toxicidad, esto dependiendo con el pH al cual se podría estar aplicando la solución nutritiva.

Sobre la base de los resultados observados en los cuadros anteriores sobre los cuadros resúmenes de las pruebas de medias de tukey de la variable de respuesta rendimiento de materia seca en el cultivo de repollo (*Brassica oleraceae* var. *Capitata* L.) este fue cosechado en su totalidad (follaje y raíz) a los 68 días después de transplantado, se determina que el mejor tratamiento es grava y arena de ladrillo quebrado con una media de 148.23 gramos, para luego obtener valores más bajos en otros tratamientos como, grava y arena de ladrillo quebrado + cascarilla de arroz en una relación 1:1 y grava y arena de ladrillo quebrado + escoria volcánica roja en una relación 1:1 con una media 128.54 y 126.97 gramos respectivamente, esto debido a que la grava y arena de ladrillo quebrado presenta valores altos de agua fácilmente disponible, por lo tanto su retención de agua es mayor que en otros tratamientos. En cuanto a lo observado en el desarrollo morfológico del cultivo, teniéndose profundidad radicular como variable de respuesta, se tuvo como mejor tratamiento, grava y arena de ladrillo quebrado + escoria volcánica roja en una relación 1:1 presentando una media de 23.33 centímetros, para luego obtener valores más bajos de 20.30 centímetros en ambos tratamientos como lo son testigo y grava y arena de ladrillo quebrado + cascarilla de arroz en una relación 1:1, esto a consecuencia de que la escoria volcánica roja proporciona una mayor espacio poroso que el tratamiento grava y arena de ladrillo quebrado como tal, ya que las mezclas de los materiales se realizan para aprovechar las ventajas y disminuir las desventajas que presentan individualmente, esto tiene como finalidad disminuir la contracción de volumen que presenta la grava y arena de ladrillo quebrado contra el de la escoria volcánica roja, lo cual disminuye la comprensión de las raíces. Según la Prueba de Medias de Tukey realizada, a ambas variables; en materia seca existieron tres grupos definidos y en la variable profundidad radicular existieron cinco grupos definidos.

9. CONCLUSIONES

1. Las características químicas de los sustratos: es que estos sean completamente inertes, pero sabiendo de la necesidad que hay de determinar estos para su uso en la técnica de hidroponía, se pueden utilizar aquellos que presente un potencial de fertilidad aceptable, con los menores problemas que estos puedan provocar en cuanto a toxicidades por microelementos y por valores altos de conductividad eléctrica.
2. En la región I, el sustrato más recomendado es la mezcla en una relación 1:1 de olote quebrado y arena, por haberse obtenido un mejor desarrollo morfológico del cultivo de tomate; con una altura de 69.04 centímetros, un largo de raíz principal de 42.27 centímetros y un rendimiento de 1.8 kg/planta a los 79 días después del trasplante.
3. En la región II, el sustrato más recomendado es; arena, por haber obtenido el mejor desarrollo morfológico del cultivo de chile jalapeño; con una altura de 84.25 centímetros, una profundidad de raíz principal de 38.00 centímetros y un rendimiento de 0.34 kg/planta a los 78 días después de trasplantado.
4. En la región III, el sustrato más recomendado es; la mezcla en una relación 1:1 de arena y roca (serpentinita), por haber obtenido un mayor rendimiento con 3.26 kg/planta, en cuanto a las otras características de desarrollo morfológico del cultivo el mejor tratamiento fue el testigo con una altura de 179.94 centímetros, una profundidad de raíz principal de 27.11 centímetros a los 80 días después de trasplantado.
5. En la región IV, el sustrato más recomendado es; la mezcla en una relación 1:1 de roca volcánica y selecto, por haber obtenido el mejor rendimiento de materia seca con una media de 0.268 kg/planta, aunque este tratamientos presento el segundo mejor lugar en cuanto a profundidad de raíz principal con una media de 30.56 centímetros. Los otros sustratos recomendados serían; la mezcla 1:1 de roca volcánica y selecto además de solamente selecto, estos obtuvieron 0.249 y 0.222 kg de materia seca/planta; en cuanto a la profundidad radicular obtuvieron una media de 33.02 y 38.30 centímetros respectivamente a los 80 días después de trasplantado.

6. En la región V, el sustrato más recomendado es; pómez colorada y la mezcla en una relación 1:1 de pómez colorada y gravilla (andesita), por haber obtenido el mejor desarrollo morfológico del cultivo; con un diámetro de lechuga de 49.70 y 49.08 centímetros respectivamente, una profundidad de raíz principal de 23.79 y 22.81 centímetros respectivamente y un rendimiento de 0.71 kg/planta y 0.68 kg/planta respectivamente a los 69 días después de transplantado.
7. En la región VI, el sustrato con mejores resultados fue; el testigo, presentando una altura de 21.70 centímetros, una profundidad de raíz principal de 20.62 centímetros y un rendimiento de materia seca de 0.66kg/planta; el más recomendado a ser utilizado por encontrarse en esa región es; viruta y la mezcla en una relación 1:1 de viruta y roca caliza oscura, por que obtuvieron el mejor desarrollo morfológico del cultivo, con una altura de 21.15 y 19.70 centímetros respectivamente, una profundidad de raíz principal de 19.06 y 18.75 centímetros respectivamente y un rendimiento de materia seca de 0.56 kg/planta y 0.52 kg/planta a los 68 días después de transplantado.
8. En la región VII, El sustrato más recomendado es; ladrillo quebrado y la mezcla en una relación de 1:1 de ladrillo quebrado y cascarilla de arroz, por haber obtenido el mejor desarrollo morfológico del cultivo; con una profundidad de raíz principal de 23.33 y 20.30 centímetros respectivamente y un rendimiento de materia seca de 0.14 kg/planta y 0.12 kg/planta a los 68 días después de transplantado.

10. RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación sugieren que:

- En la región I, evaluar con olote quebrado diversos tamaños en el cultivo de tomate, para determinar con mas exactitud el mas recomendado. Evaluar diversas relaciones entre arena y olote quebrado en el cultivo de tomate.
- Evaluar, diversas relaciones de las mejores mezclas obtenidas, para determinar que combinación es la mas adecuada a utilizar.
- Se recomienda, evaluar el potencial de fertilidad presentado por todos los sustratos estudiados en la presente investigación, para determinar en que porcentaje influye en el desarrollo de los cultivos.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Alpi, A. 1999. Cultivo en invernadero. 3 ed. España, Mundi-Prensa. 347 p.
2. Bautista, M. 2000 Evaluación del rendimiento de cuatro variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en cultivo hidropónico, utilizando como sustrato arena y cascarilla de arroz Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 57 p.
3. Bures, S. 1997. Sustratos. España, Ediciones Agrotécnicas. 340 p.
4. Cadahia, C. 2000. Fertirrigación; cultivos hortícolas y ornamentales. 2 ed. España, Mundi-Prensa. 475 p.
5. Catacora, E. 2001. Alcances de la hidroponía (en línea). Perú, Instituto Nacional de Investigación Agraria. Consultado 17 oct. 2002. Disponible en www.inia.pe/hidroponia
6. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. 1997. Hidroponía; una esperanza para Latinoamérica. In Curso-Taller Internacional de Hidroponía (1996, Perú). Perú, Universidad La Molina. 395 p.
7. De Romero, N. 2002. El agua, su importancia en el riego y el fertirriego. Revista Ceres vol(3) 25-28.
8. González, C. 2000. Bases de la hidroponía (en línea). Perú, Instituto Nacional de Investigación Agraria. Consultado 17 oct. 2002. Disponible en www.inia.pe/hidroponia
9. Juárez, M. 1988. Desarrollo del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) en hidroponía, a partir de plantas propagadas *in vitro*. Tesis M.Sc. Chapingo, México, Colegio de Postgraduados, Centro de Edafología. 142 p.
10. La fertilización combinada con el riego. 1997. Israel, Servicio de Extensión, Departamento de Riego y Suelos. 60 p.
11. Martínez, F. 1994. Manual básico de sustratos. México, UNAM. s.p.
12. Orson, I. 1979. Principios y aplicaciones del riego. Trad. Alberto García Palacios. 2 ed. España, Reverte. 376 p.
13. Reche, J. 1993. Limpieza y mantenimiento de las instalaciones de riego por goteo. Hojas Divulgadoras no. VI, 34 p.
14. Reche, J. 1995. Poda de hortalizas en invernadero (calabacín, melón, pepino y sandía). Hojas Divulgadoras no. IX, 34 p.
15. Resh, H. 2001. Cultivos hidropónicos, nuevas técnicas de producción. 5 ed. España, Mundi-Prensa. 558 p.

16. Rodríguez, A. 2001. Manual practico de hidroponía. 2 ed. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina, Centro de Investigación Hidroponía. 100 p.
17. Rodríguez, A. 2001. Soluciones nutritivas en hidroponía. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 100 p.
18. Salas, M. 2001. Técnicas de fertirrigación en cultivo sin suelo. España, Universidad de Almería. 280 p.
19. Sánchez, F. 1981. Hidroponía, un sistema de producción. México, UNAM. 176 p.
20. Sandoval, J. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. 313 p.
21. Urrestarazu, M. 2000. Manual de cultivo sin suelo. 2 ed. España, Mundi-Prensa. 648 p.



Rolando Barrios

12. APENDICES

Apéndice 1 Resumen del Análisis de Varianza para la variable rendimiento de tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill.) de los tratamientos evaluados en la región I a los 79 días después del trasplante

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	6	21289870.29	3548311.71	35.98**	4.282	32.69
Error	77	7593752.42	98620.16			
Total	83	28883622.70				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 2 Resumen del Análisis de Varianza para la variable altura de planta en tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill.) en los tratamientos evaluados en la región I a los 79 días después del trasplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	6	1758.5961	293.0993	2.80**	4.282	17.01
Error	77	8070.2566	104.8085			
Total	83	9828.8528				

** = No existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 3 Resumen del Análisis de Varianza para la variable largo de raíz principal de tomate (*Lycopersicon sculentum* Mill.) en los tratamientos evaluados en la región I a los 79 días después del trasplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	6	3939.6030	656.6005	8.08**	4.282	26.54
Error	77	6259.9125	81.2975			
Total	83	10199.5155				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 4 Resumen del Análisis de Varianza para la variable rendimiento de chile jalapeño (*Capsicum anuum* L.) en los tratamientos evaluados en la región II a los 78 días después del trasplante

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	3	418702.8073	139567.6024	9.07**	3.776	57.30
Error	44	676981.8958	15385.9522			
Total	47	1095684.7031				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 5 Resumen del Análisis de Varianza para la variable altura de planta de chile jalapeño (*Capsicum anuum* L.) en los tratamientos evaluados en la región II a los 78 días después del trasplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	3	7293.8716	2431.2905	14.35**	3.776	19.03
Error	44	7455.7483	169.4488			
Total	47	14749.62				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 6 Resumen del Análisis de Varianza para la variable largo de raíz principal de chile jalapeño (*Capsicum anunum* L.) en los tratamientos evaluados en la región II a los 78 días después del trasplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	3	1106.8908	368.9636	9.39**	3.776	20.73
Error	44	1729.3216	39.3027			
Total	47	2836.2125				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 7 Resumen del Análisis de Varianza para la variable rendimiento de pepino (*Cucumis sativus* L.) de los tratamientos evaluados en la región III a los 80 días después del trasplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	6	26529949.48	4421658.25	18.77**	4.282	22.28
Error	77	18139855.33	235582.54			
Total	83	44669804.81				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 8 Resumen del Análisis de Varianza para la variable altura de planta de pepino (*Capsicum anunum* L.) de los tratamientos evaluados en la región III a los 80 días después del trasplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	6	47412.1574	7902.0262	4.31**	4.282	28.83
Error	77	139284.9664	1832.6969			
Total	83	186697.1238				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 9 Resumen del Análisis de Varianza para la variable largo de raíz principal de pepino (*Capsicum anunum* L.) de los tratamientos evaluados en la región III a los 80 días después del trasplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	6	1166.8994	194.4832	17.30**	4.283	15.08
Error	77	854.2221	11.2397			
Total	83	2021.1216				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 10 Resumen del Análisis de Varianza para la variable rendimiento en materia seca de sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.) de los tratamientos evaluados a los 80 días después del trasplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	4	428046.64	107011.66	34.51**	3.989	30.25
Error	55	170532.30	3100.58			
Total	59	598578.94				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 11 Resumen del Análisis de Varianza para la variable largo de raíz principal de sandía (*Citrullus lanatus* Thunb.) en los tratamientos evaluados en la región IV a los 80 días después del transplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	4	1777.73	444.43	11.48**	3.989	20.40
Error	55	2129.74	38.72			
Total	59	3907.47				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 12 Resumen del Análisis de Varianza para la variable rendimiento en peso fresco de lechuga (*Lactuca sativa* L.) de los tratamientos evaluados en la región V a los 69 días después del transplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	3	1662537.50	554179.167	13.85**	3.77	35.24842
Error	44	1760612.50	40013.920			
Total	47	3423150.00				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 13 Resumen del Análisis de Varianza para la variable largo de raíz principal de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en los tratamientos evaluados en la región V a los 69 días después del transplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	3	87.462	29.154	15.52**	3.77	6.074380
Error	44	82.632	1.878			
Total	47	170.094				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 14 Resumen del Análisis de Varianza para la variable diámetro de lechuga (*Lactuca sativa* L.) de los tratamientos evaluados en la región V a los 69 días después del transplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	3	2100.883	700.294	18.60**	3.77	6.135
Error	44	1656.193	37.640			
Total	47	3757.076				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 15 Resumen del Análisis de Varianza para la variable materia seca en brócoli (*Brassica oleraceae* L.) de los tratamientos evaluados en la región VI a los 68 días después del transplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	6	39102.769	6517.128	8.78**	4.282	63.996
Error	77	57148.753	742.191			
Total	83	96251.522				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 16 Resumen del Análisis de Varianza para la variable largo de raíz principal en brócoli (*Brassica oleraceae* L.) de los tratamientos evaluados en la región VI a los 68 días después del transplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	6	3871.0404	645.1734	139.47**	4.282	15.754
Error	77	351.5668	4.6258			
Total	83	4222.6072				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 17 Resumen del Análisis de Varianza para la variable altura de planta en brócoli (*Brassica oleraceae* L.) de los tratamientos evaluados en la región VI a los 68 días después del transplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	6	4552.550	758.758	59.85**	4.282	22.054
Error	77	963.534	12.678			
Total	83	5516.085				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 18 Resumen del Análisis de Varianza para la variable rendimiento en materia seca de repollo (*Brassica oleraceae* var. capitata L.) de los tratamientos evaluados en la región VII a los 68 días después del transplante.

Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	6	174644.228	29107.371	12.17**	4.282	56.418
Error	77	184211.134	2392.352			
Total	83	358855.362				

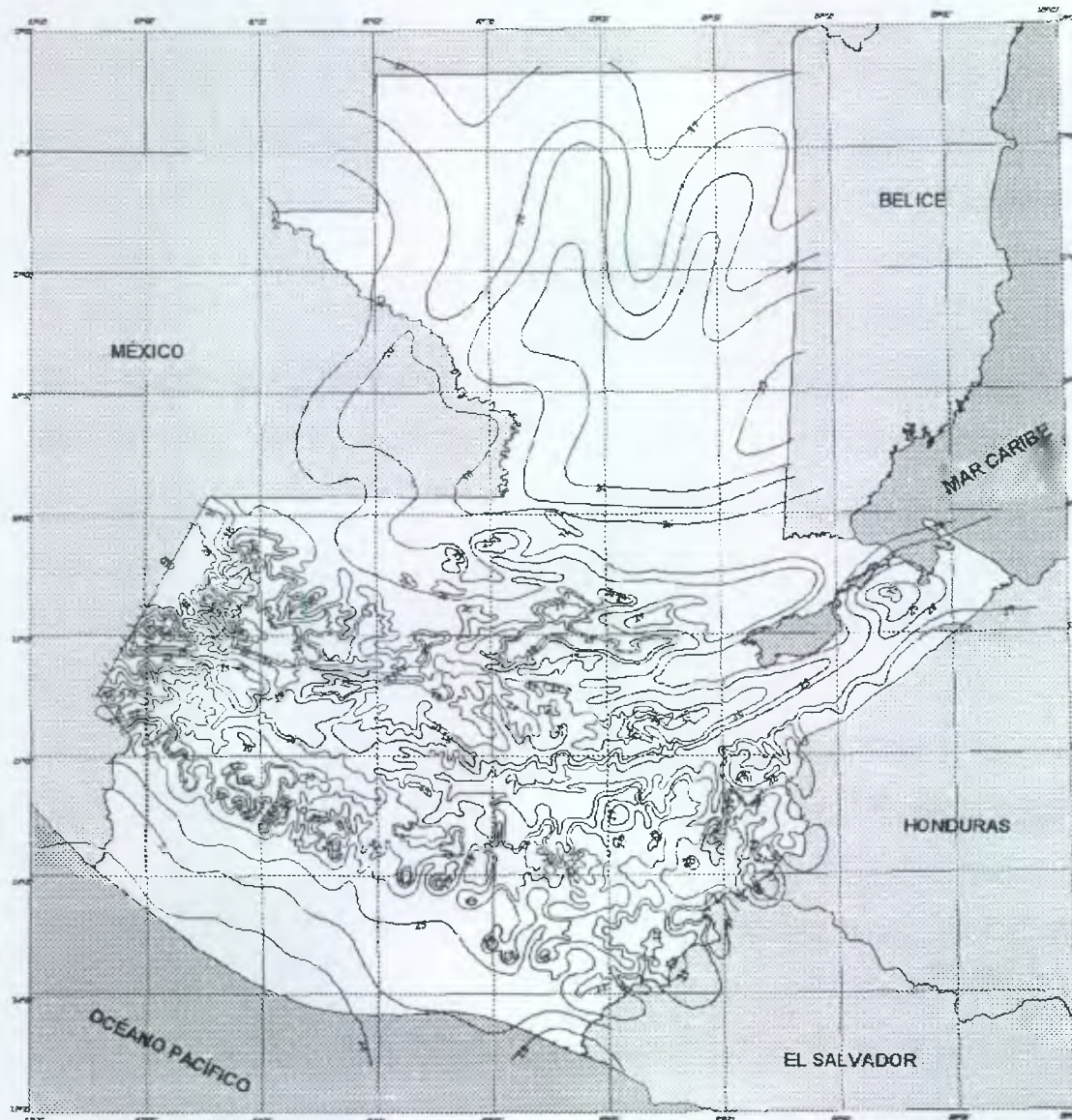
** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Apéndice 19 Resumen del Análisis de Varianza para la variable largo de raíz principal en repollo (*Brassica oleraceae* var. capitata) de los tratamientos evaluados en la región VII a los 68 días después del transplante.

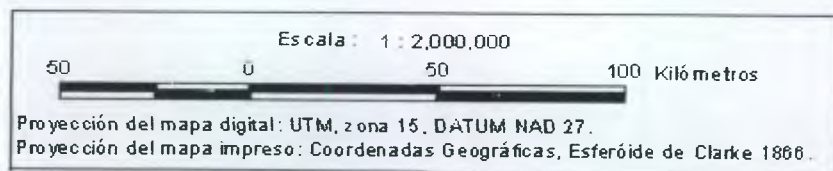
Fuente de Variación	GL	SC	CM	FC	FT	CV
Tratamientos	6	1889.461	314.91	89.09**	4.282	10.90
Error	77	272.182	3.534			
Total	83	2161.644				

** = Existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados.

Mapa de Temperatura Media Anual República de Guatemala

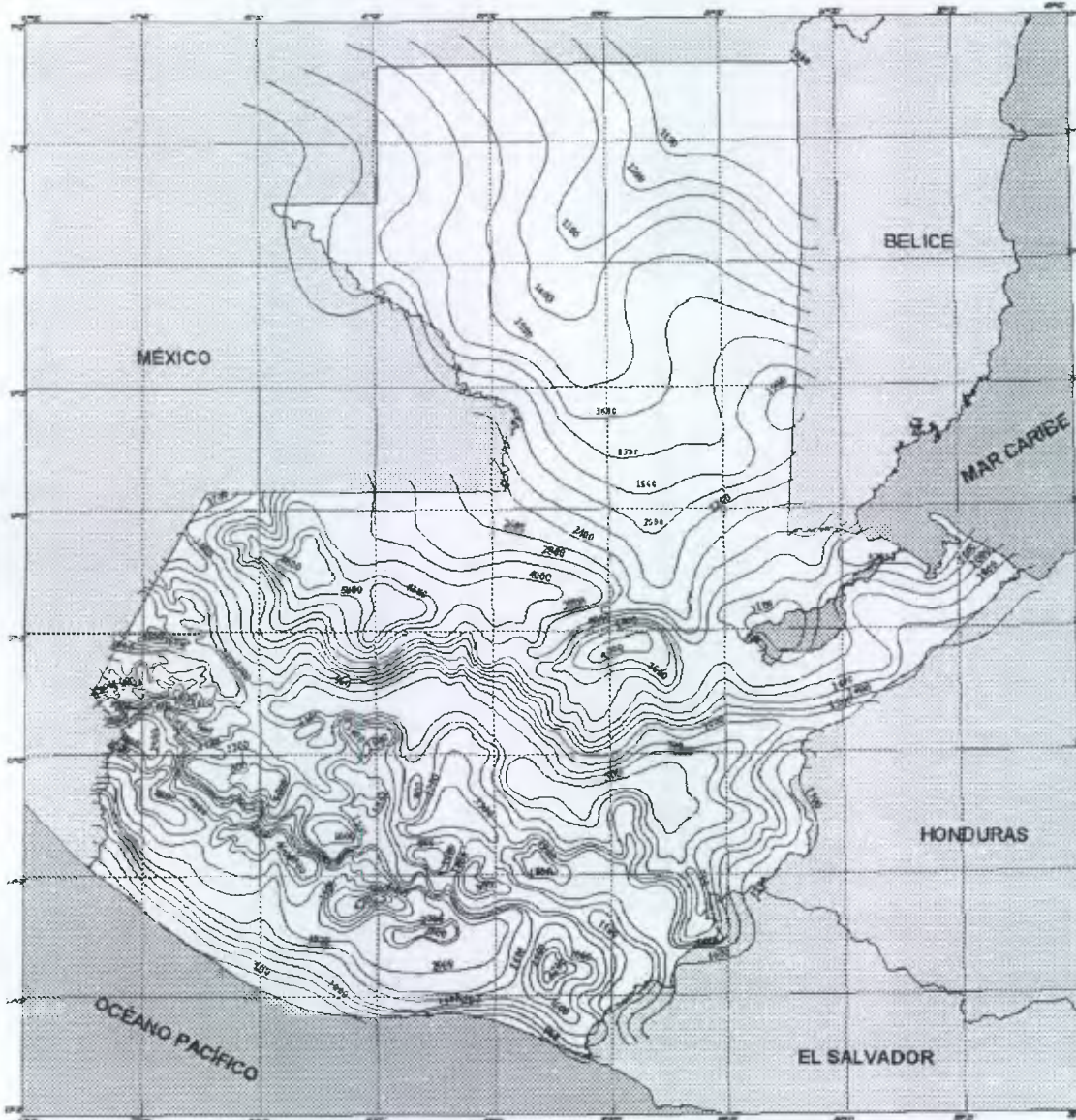


Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (Maga), Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE). Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica. Guatemala, Agosto del 2001.

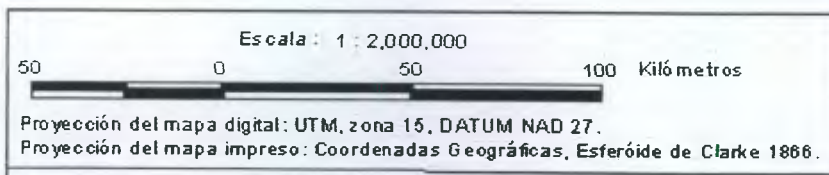


Apéndice 20 Mapa de Temperatura Media Anual en °C, para el año 2001.

Mapa de Precipitación Promedio Anual República de Guatemala



Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE). Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica. Guatemala, Agosto del 2001.



Apéndice 21 Mapa de Precipitación Promedio Anual en mm, para el año 2001.

Apéndice 22 Cuadro de procedimiento, para determinar las características, densidad, % de porosidad, agua disponible y capacidad de aireación en la región I.

SUSTRATOS REGIÓN I	Paso 1 Peso del vaso de papel (g)	Paso 5 Peso del vaso más medio (g)	Paso 6 Peso del medio (g)	Paso 7 Peso del medio/100 (Densidad)	Paso 8 Vol. Agua requerida = Espacio Poroso Total	Paso 10 Peso drenado (g)	Paso 11 Peso drenado menos Peso del medio (paso 6) = Agua fácilmente disponible	Paso 12 Espacio Poroso Total (paso 8) – El agua retenida (paso 11) = Capacidad de aireación
Roca Volcánica	2.5	67.1	64.6	0.646	75	75.7	11.1	63.9
Arena	2.3	187.7	185.4	1.854	40	196.8	11.4	28.6
Olote quebrado	2.4	23.8	21.4	0.214	85	34.2	13.8	61.2

Apéndice 23 Cuadro de procedimiento, para determinar las características, densidad, % de porosidad, agua disponible y capacidad de aireación en la región II.

SUSTRATOS REGIÓN II	Paso 1 Peso del vaso de papel (g)	Paso 5 Peso del vaso más medio (g)	Paso 6 Peso del medio (g)	Paso 7 Peso del medio/100 (Densidad)	Paso 8 Vol. Agua requerida = Espacio Poroso Total	Paso 10 Peso drenado (g)	Paso 11 Peso drenado menos Peso del medio (paso 6) = Agua fácilmente disponible	Paso 12 Espacio Poroso Total (paso 8) – El agua retenida (paso 11) = Capacidad de aireación
Arena	2.40	156.50	154.10	1.541	48	190.20	36.10	11.90
Aserrín	2.30	17.70	15.40	0.154	88	70.60	55.20	32.80

Apéndice 24 Cuadro de procedimiento, para determinar las características, densidad, % de porosidad, agua disponible y capacidad de aireación en la región III.

SUSTRATOS REGIÓN III	Paso 1 Peso del vaso de papel (g)	Paso 5 Peso del vaso más medio (g)	Paso 6 Peso del medio (g)	Paso 7 Peso del medio/100 (Densidad)	Paso 8 Vol. Agua requerida = Espacio Poroso Total	Paso 10 Peso drenado (g)	Paso 11 Peso drenado menos Peso del medio (paso 6) = Agua fácilmente disponible	Paso 12 Espacio Poroso Total (paso 8) – El agua retenida (paso 11) = Capacidad de aireación
Tierra Blanca	2.40	73.00	70.60	0.706	50	107.70	37.10	12.90
Arena	2.20	143.10	140.90	1.409	44	173.40	32.50	11.50
Roca	2.70	144.90	142.20	1.422	68.50	158.20	16.00	52.50

Apéndice 25 Cuadro de procedimiento, para determinar las características, densidad, % de porosidad, agua disponible y capacidad de aireación en la región IV.

SUSTRATOS REGIÓN IV	Paso 1 Peso del vaso de papel (g)	Paso 5 Peso del vaso más medio (g)	Paso 6 Peso del medio (g)	Paso 7 Peso del medio/100 (Densidad)	Paso 8 Vol. Agua requerida = Espacio Poroso Total	Paso 10 Peso drenado (g)	Paso 11 Peso drenado menos Peso del medio (paso 6) = Agua fácilmente disponible	Paso 12 Espacio Poroso Total (paso 8) – El agua retenida (paso 11) = Capacidad de aireación
Roca Caliza	2.60	165.40	162.80	1.628	53.5	169.40	6.60	46.90
Roca	2.80	178.80	176.00	1.760	53	187.20	11.20	41.80
Viruta	2.70	13.90	11.20	0.112	98	53.50	42.30	55.70

Apéndice 26 Cuadro de procedimiento, para determinar las características, densidad, % de porosidad, agua disponible y capacidad de aireación en la región V.

SUSTRATOS REGIÓN V	Paso 1 Peso del vaso de papel (g)	Paso 5 Peso del vaso más medio (g)	Paso 6 Peso del medio (g)	Paso 7 Peso del medio/100 (Densidad)	Paso 8 Vol. Agua requerida = Espacio Poroso Total	Paso 10 Peso drenado (g)	Paso 11 Peso drenado menos Peso del medio (paso 6) = Agua fácilmente disponible	Paso 12 Espacio Poroso Total (paso 8) – El agua retenida (paso 11) = Capacidad de aireación
Roca Volcánica	2.50	67.10	64.60	0.646	75	75.70	11.10	63.90
Selecto	2.30	119.10	116.80	1.168	48	138.00	21.20	26.80
Fibra de Coco	2.90	9.50	6.60	0.066	98	33.60	27.00	71.00

Apéndice 27 Cuadro de procedimiento, para determinar las características, densidad, % de porosidad, agua disponible y capacidad de aireación en la región VI.

SUSTRATOS REGIÓN VI	Paso 1 Peso del vaso de papel (g)	Paso 5 Peso del vaso más medio (g)	Paso 6 Peso del medio (g)	Paso 7 Peso del medio/100 (Densidad)	Paso 8 Vol. Agua requerida = Espacio Poroso Total	Paso 10 Peso drenado (g)	Paso 11 Peso drenado menos Peso del medio (paso 6) = Agua fácilmente disponible	Paso 12 Espacio Poroso Total (paso 8) – El agua retenida (paso 11) = Capacidad de aireación
Roca Volcánica	2.50	98.10	95.60	0.956	53.50	147.70	52.10	1.40
Ladrillo quebrado	2.80	147.00	144.20	1.442	54.50	195.70	51.50	3.00
Cascarilla de Arroz	2.80	18.60	15.80	0.158	99	47.80	32.00	67.00

Apéndice 28 Cuadro de procedimiento, para determinar las características, densidad, % de porosidad, agua disponible y capacidad de aireación en la región VII.

SUSTRATOS REGIÓN VII	Paso 1 Peso del vaso de papel (g)	Paso 5 Peso del vaso más medio (g)	Paso 6 Peso del medio (g)	Paso 7 Peso del medio/100 (Densidad)	Paso 8 Vol. Agua requerida = Espacio Poroso Total	Paso 10 Peso drenado (g)	Paso 11 Peso drenado menos Peso del medio (paso 6) = Agua fácilmente disponible	Paso 12 Espacio Poroso Total (paso 8) – El agua retenida (paso 11) = Capacidad de aireación
Gravilla	2.70	77.50	74.80	0.748	61.50	117.20	42.40	19.10
Pómez Colorada	2.70	161.50	158.80	1.588	58.50	176.60	17.80	40.70



FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGRONOMICAS

LA TESIS TITULADA:

" CARACTERIZACION DE SUSTRATOS ORGANICOS
E INORGANICOS A NIVEL DE REGION EN GUATE-
MALA Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO DE -
HORTALIZAS EN CULTIVO HIDROPONICO".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE:

RUBEN EVERALDO ESTRADA ALARCON

CARNE:

9610900

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES:

Ing. Agr. Ervin Maxdelio Herrera de León
Ing. Agr. Marco Tulio Aceituno Juárez
Ing. Agr. Ovidio Anibal Sachajá Galindo

El Asesor y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ing. Agr. Domingo Amador Pérez
A S E S O R


Dr. David Monterroso
DIRECTOR DEL



I M P R I M A S


Dr. Ariel Abderraman Ortiz López
D E C A N O



AOL/nm

c.c. Archivo

IIA

Control Académico

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.

TEL/FAX (502) 476-9794

e-mail: ilusac.edu.gt § <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomfa.htm>