

T-VES
1304
R173e
2000
Ej. 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



**EVALUACION BIOECONOMICA DE DIFERENTES
COMBINACIONES DE SUSTRATO HUMUS – PIEDRA POMEZ EN
EL CULTIVO HIDROPONICO DE LECHUGA (Lactuca sativa L.)**

POR:

JULIO CESAR RAMÍREZ
ILEANA PATRICIA ALVARADO TENNANT
ANTONIO OBISPO BARRERA ESCALANTE

PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO AGRONOMO



SAN SALVADOR,

EL SALVADOR,

OCTUBRE DE 2000.

Recibidos 11/01/2000



JEFE DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

Ing. Msc. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla

ASESOR:

Ing. Agr. José Ricardo Tiberio Vilanova

JURADO CALIFICADOR:

Ing. Agr. Manuel de Jesús Hernández Juárez

Ing. Agr. Balmore Martínez Sierra

Ing. Agr. Mario Alfredo Pérez Ascencio

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó con la técnica de cultivo hidropónico, utilizando mezclas de sustrato humus – piedra pómez. Este sistema de producción permite cosechar orgánicamente hortalizas de hoja de buena calidad y libre de posibles residuos químicos provenientes de los fertilizantes sintéticos.

En este sistema el humus actúa con doble propósito; por un lado como complemento del sustrato piedra pómez y por el otro como fertilizante natural, proporcionándole los nutrientes necesarios al cultivo.

El objetivo del ensayo, fue evaluar bioeconómicamente diferentes combinaciones de sustrato humus–piedra pómez para la producción hidropónica de lechuga (*Lactuca sativa*).

La investigación se realizó durante los meses de marzo a julio de 1998, en la ciudad de chalchuapa, departamento de Santa Ana, llevándose a cabo en dos periodos continuos de siembra de lechuga variedad Grand Rapid, en los mismos sustratos.

Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: 100% piedra pómez (T0), 20% humus + 80% piedra pómez (T1), 40% humus + 60% piedra pómez (T2), 60% humus + 40% piedra pómez (T3), 80% humus + 20% piedra pómez (T4) y 100%humus (T5).

Se empleó un diseño estadístico irrestricto al azar, con 6 tratamientos y 4 repeticiones , haciendo un total de 24 unidades experimentales de aproximadamente 1m² cada una. Las variables medidas fueron altura de planta (cm), número de hojas por planta, área foliar (dm²), peso fresco y seco de hoja, tallo y raíz (g).

En el primer periodo del ensayo que coincidió con la época seca la combinación de 20% humus + 80% piedra pómez presentó los mejores resultados en cada una de las variables



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR: Dra. Maria Isabel Rodriguez

SECRETARIO GENERAL: Lic. Lidia Margarita Muñoz Vela

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO: Ing. Agr. Msc. Francisco Lara Ascencio

SECRETARIO: Ing. Agr. Jorge Alberto Ulloa Erroa

analizadas; las demás combinaciones de humus – piedra pómez presentaron problemas de inhibición del crecimiento y desarrollo en las variables analizadas posiblemente debido a las altas concentraciones de sustancias cafeínicas y tanínicas que presenta el humus de pulpa de café.

En la segundo periodo que coincidió con la época lluviosa, estas sustancias inhibidoras presentes en los tratamientos que contenían mayores proporciones de humus (T3, T4, T5), pudieron haberse lavado, permitiendo así el desarrollo normal de las plantas de lechuga.

Al realizar el análisis económico por tratamiento se observó que el tratamiento T1(20% humus + 80% piedra pómez) presentó los menores costos de producción de lechuga, con mayor beneficio/costo. En el análisis de dominancia este tratamiento (T1) dominó a los demás y presentó una mayor tasa de retorno marginal.

En general se observa que a medida que aumentan las proporciones de humus hay una disminución de los indicadores de rentabilidad antes mencionados, llegando a valores negativos en aquellos tratamientos arriba del 20% humus. Lo anterior nos confirma que es posible pasar de la tecnología tradicional de cultivo hidropónico (fertilización química) a una tecnología de cultivo hidropónico con fertilización orgánica (humus de lombriz) utilizando una combinación de 20% humus + 80% piedra pómez como sustrato.



AGRADECIMIENTOS

A DIOS TODO PODEROSO:

Por iluminarnos y habernos dado la oportunidad de alcanzar nuestra meta y estar en cada momento de nuestras vidas.

A NUESTRO ASESOR:

Ing. Agr. José Ricardo Tiberio Vilanova Arce

Quien con mucha paciencia, voluntad y esmero nos brindó su colaboración y conocimientos en todo el proceso de desarrollo del presente trabajo, para cumplir con éxito nuestra carrera.

A LOS MIEMBROS DEL JURADO EXAMINADOR

Ing. Agr. Manuel de Jesus Hernández Juárez

Ing. Agr. Balmore Martínez Sierra

Ing. Agr. Mario Alfredo Pérez Ascencio

Por sus observaciones y sugerencias hechas para el presente trabajo.

A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR: y en especial a todo el personal administrativo de la facultad de ciencias agronómicas (Bibliotecarios y Administración académica) quienes nos brindaron información durante nuestro proceso educativo.

A LOS DOCENTES:

Ing. Msc. Francisco Lara Ascencio

Por su colaboración incondicional en el procesamiento de la información estadística.

Ing. Agr. Jorge Alberto Ulloa Erroa

Por su orientación en la parte económica.

Y a todo el personal docente de la facultad de ciencias agronómicas que nos brindaron sus conocimientos durante todo nuestro proceso de formación académica.

A LA FAMILIA ARIAS – RAMIREZ

Por su colaboración, al facilitarnos terreno y equipo para el desarrollo de la presente investigación.

DEDICATORIA

A DIOS

Por iluminarme en cada momento de mi vida.

A MI MADRE:

ANA CELIA RAMIREZ

Por sus innumerables sacrificios, desvelos y consejos que me permitieron lograr hoy esta meta. Por que ha sido nuestro ejemplo para salir adelante ignorando los sacrificios y a quien vi luchar incansablemente por formar no solo a un profesional sino a un hombre de futuro.

A MI PADRE:

JOSE ALVARO ARIAS (Q. D. D. G.)

Quien siempre ha estado conmigo apoyándome desde algún lugar del cielo.

A MIS HERMANOS

Xiomara Jeanett Ramirez Arias, Olga Alicia Arias Ramirez, Alvaro Ernesto Ramirez Arias. Por los momentos difíciles que compartimos, por sus consejos, por su apoyo y comprensión durante mi proceso de formación.

A MI FAMILIA - ARIAS

Tíos, primos y primas, por su apoyo y sus consejos, quienes a pesar de la distancia han estado siempre conmigo. A todos mis otros tíos y abuela que desde algún lugar del cielo me han estado acompañado y apoyando.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS

Por los buenos momentos que compartimos por llevar acabo nuestra meta.

JULIO CESAR RAMIREZ ARIAS

DEDICATORIA

A DIOS TODOPODEROSO

Por haberme dado sabiduría, persistencia e iluminarme el camino a seguir para poder haber alcanzado este triunfo académico.

A MIS PADRES

En especial a Carlos Ramón Alvarado Martínez por su cariño y sacrificio que ha dado durante toda mi vida, y que has permitido coronar mi carrera y seguir siempre adelante.

A Ana Lilian Tennant que en cualquier parte del cielo que estés este triunfo también te lo dedico a ti.

A MIS HERMANAS

Lidia Geraldina, Ana Lilian y en especial a Cinthya de los Angeles por ser siempre ese gran apoyo en mi estudio y en mi vida.

A MIS DEMAS FAMILIARES

En especial a mi tía Lidia Alvarado Sluder, con todo cariño.

A MIS AMIGOS(AS):

Por su aprecio y cariño que siempre me han demostrado desde que nos conocimos en la facultad.

A MIS COMPAÑEROS DE TESIS:

Por los momentos satisfactorios y difíciles que pasamos para lograr este triunfo.

ILEANA PATRICIA ALVARADO TENNANT

DEDICATORIA

A DIOS:

Dedico este momento de mi vida principalmente a DIOS TODOPODEROSO por haberme permitido terminar con éxito mi carrera y formarme como profesional.

A MI MADRE:

Clara Luz Escalante quien ante la adversidad se mostró siempre dispuesta a ayudarme, con sacrificios y consejos hacia mi persona.

A MI PADRE

Alonzo Barrera (Q.D.D.G.) que me inició en el camino de mi superación y que hasta el final de sus días me dio buenos consejos.

A MIS AMIGOS

Compañeros de tesis, Dr. Carlos Ramón Alvarado Martínez, Walter Mejía y otros que de alguna u otra manera me apoyaron en mi formación.

ANTONIO OBISPO BARRERA ESCALANTE

INDICE

• RESUMEN.....	iv
• AGRADECIMIENTOS.....	vi
• INDICE DE CUADROS.....	xv
• INDICE DE FIGURAS.....	xxi
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	2
2.1 Reseña historica.....	2
2.2 Concepto de hidropónia.....	3
2.3 Hidroponía social.....	4
2.4 Concepto y características de los sustratos.....	4
2.4.1 Sustratos de origen orgánico.....	5
a) cascarilla de arroz.....	5
b) turba.....	6
c) aserrín.....	6
d) humus de lombriz.....	6
2.4.2 Sustratos de origen mineral.....	7
a) Ladrillo o teja molida.....	7
b) Arena.....	7
c) Piedra pómez.....	8
d) Grava.....	8
e) Vermiculita.....	8
f) Perlita.....	9
2.5 Influencia del humus sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del Sustrato.....	10
2.5.1 Importancia del humus en la agricultura.....	11
2.5.2 Usos del humus en la agricultura.....	12
2.5.3 Composición química del humus de lombriz.....	13
2.5.4 Importancia ecológica del humus de lombriz.....	14

2.6	Módulos o contenedores	15
2.7	Necesidades hídricas de los cultivos hidropónicos.....	16
2.8	Nutrición en los sistemas hidropónicos.....	16
2.8.1	Formulaciones líquidas.....	17
2.8.2	Formulaciones sólidas	17
2.9	Clasificación de los cultivos hidropónicos con relación a sistemas de drenaje.....	17
2.9.1	Sistema abierto.....	18
2.9.2	Sistema Cerrado.....	18
2.10	Influencia de los factores ambientales en los cultivos hidropónicos.....	19
2.10.1	Temperatura.....	19
2.10.2	Radiación solar.....	19
2.10.3	Concentración de oxígeno.....	20
2.11	Generalidades del cultivo de la lechuga.....	21
2.11.1	Importancia.....	21
2.11.2	Tipos y variedades de lechuga.....	22
2.11.3	Características botánicas.....	23
2.11.4	Requerimientos del cultivo de la lechuga.....	24
2.11.4.1	Altitud.....	24
2.11.4.2	Agua.....	24
2.11.4.3	Suelo.....	25
2.11.4.4	Fertilización.....	25
2.11.4.5	Cosecha	25
2.12	Principales plagas y enfermedades.....	25
2.12.1	Plagas.....	25
2.12.2	Enfermedades.....	26
2.13	CONTAMINACIÓN DE LOS ALIMENTOS POR FERTILIZANTES QUÍMICOS SINTÉTICOS.....	26
2.13.1	Aspectos generales.....	26
2.13.2	Contaminación por nitratos, nitritos y compuestos de N – nitroso.....	28
2.13.3	Contaminación por fosfatos y \ o sulfatos.....	30

2.13.4 Contaminación por flúor.....	31
2.13.5 Contaminación por metales pesados.....	31
2.13.5.1 Arsénico.....	31
2.13.5.2 Cadmio.....	32
2.13.5.3 Selenio.....	33
2.13.6 Toxicidad por micronutrientes.....	33
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.1 Localización.....	35
3.2 Características climáticas del lugar durante el experimento.....	35
3.3 Preparación de módulos.....	35
3.4 Preparación de sustratos.....	35
3.5 Establecimiento y manejo del cultivo.....	37
3.5.1 Preparación del semillero.....	37
3.5.2 Trasplante.....	37
3.5.3 Riego.....	38
3.5.4 Fertilización.....	38
3.5.5 Control de plagas y enfermedades.....	38
3.5.6 Cosecha.....	41
3.6 Metodología Estadística.....	43
3.6.1 Diseño estadístico.....	43
3.6.2 Tratamientos en estudio.....	43
3.6.3 modelo estadístico.....	44
3.6.4 Unidad Experimental.....	44
3.6.5 Distribución Estadística (ANVA).....	44
3.6.6 Hipótesis a demostrar.....	45
3.6.7 Prueba Estadística.....	45
3.6.8 Variables Evaluadas.....	46
3.6.8.1 Altura de planta.....	46
3.6.8.2 Número de Hojas.....	46
3.6.8.3 Area foliar (cm).....	46
3.6.8.4 Peso fresco de hoja (g).....	47

3.6.8.5	Peso fresco de tallo (g)	47
3.6.8.6	Peso fresco de raíz (g)	47
3.6.8.7	Peso seco de hoja (g)	47
3.6.8.8	Peso seco de tallo (g)	48
3.6.8.9	Peso seco de raíz (g)	48
3.7	Evaluación económica	48
3.7.1	Presupuesto parcial	48
3.7.2	Análisis de dominancia	49
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	50
4.1	Características climáticas durante el ensayo	50
4.2	Aspectos generales del cultivo	52
4.2.1	Etapa de establecimiento	52
4.2.2	Etapa de crecimiento vegetativo	53
4.2.3	Presencia de plagas y su control	54
4.3	Variables analizadas	54
4.3.1	Altura de planta(cm)	54
4.3.2	Número de Hojas	59
4.3.3	Area foliar (dm ²)	62
4.3.4	Peso fresco de hoja (g)	67
4.3.5	Peso fresco de tallo (g)	71
4.3.6	Peso fresco de raíz (g)	75
4.3.7	Peso seco de hoja (g)	79
4.3.8	Peso seco de tallo (g)	83
4.3.9	Peso seco de raíz (g)	87
4.4	Evaluación económica	91
4.4.1	Presupuesto parcial	91
4.4.2	Análisis de dominancia	93
4.4.3	Curva de beneficio neto	94
4.4.4	Tasa de retorno marginal	95

5. CONCLUSIONES	97
6. RECOMENDACIONES.....	98
7. BIBLIOGRAFIA.....	99
8. ANEXOS.....	105

INDICE DE CUADROS

CUADRO	Pag
1. Composición química del humus de lombriz	14
2. Composición química de la parte comestible de la lechuga (100g)	22
3. Descripción de algunas variedades que pueden cultivarse en nuestro país	33
4. Mezcla de sustratos mineral y orgánico por tratamiento, para la producción Hidropónica de lechuga. Chalchuapa , 1998	36
5. Dosis de fertilizante químico sólido y líquido aplicando al cultivo hidropónico de lechuga. Chalchuapa , 1998.....	39
6. Composición química del fertilizante Blaukorn.	40
7. Composición química del Bayfolán	40
8. Análisis químico del humus de lombriz utilizando en los tratamientos que contenían Combinaciones de humus – piedra pómez.	41
9. Control de plagas y enfermedades utilizados en el cultivo hidropónico de lechuga. Chalchuapa, 1998.....	42
10. Descripción de los tratamientos evaluados (humus – piedra pómez).....	43
11. Distribución estadística de las fuentes de variación separadas con un diseño irrestringido al azar.	45

12. Promedio mensual de las variables meteorológicas registradas durante el periodo de realización del ensayo (Marzo – Julio de 1998) del cultivo hidropónico de lechuga en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa, 1998	50
13. Altura promedio de plantas de lechuga (cm) en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998	53
14. Análisis de varianza para altura de plantas de lechuga (cm) a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa, 1998	55
15. Prueba de contrastes ortogonales para altura de plantas de lechuga en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998	55
16. Altura promedio de plantas de lechuga (cm) a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustratos humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.....	57
17. Análisis de varianza para el número de hojas de lechuga, en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa, 1998	59
18. Prueba de contrastes ortogonales para el número de hojas en los periodos I, en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez . Chalchuapa, 1998	60
19. Número de hojas promedio de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998	61

20. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de lechuga (dm ²) a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez Chalchuapa, 1998	63
21. Prueba de contrastes ortogonales para el área foliar de plantas de lechuga, en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus piedra pómez. Chalchuapa, 1998	64
22. Area foliar promedio (dm ²) de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus –piedra pómez. Chalchuapa, 1998	65
23. Análisis de varianza para el peso fresco (g) de hoja de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa, 1998.	68
24. Prueba de contrastes ortogonales para el peso fresco de hoja de lechuga en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998	68
25. Peso fresco promedio (g) de hojas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa , 1998.....	70
26. Analisis de varianza para el peso fresco (g) de tallo de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa, 1998	72
27. Prueba de contrastes ortogonales para el peso fresco de tallo de plantas de lechuga en el periodo I en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa, 1998.....	73

28. Peso fresco promedio (g) de tallo de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa, 1998	74
29. Análisis de varianza para el peso fresco (g) de raíz de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa , 1998.....	75
30. Prueba de contrastes ortogonales para el peso fresco de raíz de plantas de lechuga en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998	76
31. Peso fresco de raíz promedio (g) de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.	78
32. Análisis de varianza para el peso seco (g) de hojas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa, 1998	79
33. Prueba de contrastes ortogonales para el peso seco de hoja de lechuga para el periodo I en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa , 1998.	80
34. Peso seco de hojas promedio (g) de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa , 1998.	81
35. Análisis de varianza para el peso seco (g) de tallo de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus piedra pómez . Chalchuapa, 1998.....	83

36. Prueba de contrastes ortogonales para el peso seco de tallo de plantas de lechuga en el periodo I en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa , 1998. 84
37. Peso seco promedio (g) de tallo de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa, 1998..... 86
38. Análisis de varianza para el peso seco (g) de raíz de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa, 1998. 87
39. Prueba de contrastes ortogonales para el peso seco de raíz de plantas de lechuga en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa , 1998..... 88
40. Peso seco promedio (g) de raíz de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa , 1998..... 89
41. Presupuesto parcial para los periodos I y II en el cultivo hidropónico de lechuga en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa , 1998 92
42. Análisis de dominancia para los tratamientos alternativos en el cultivo hidropónico de lechuga en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa, 1998..... 94
43. Tasa de retorno marginal / M2 para los tratamientos alternativos en el cultivo hidropónico de lechuga en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez . Chalchuapa , 1998. 95

INDICE DE FIGURAS

Figuras	Pág.
1. Altura promedio (cm) de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa , 1998.....	57
2. Número de hojas promedio de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa , 1998.	61
3. Area foliar promedio (dm 2) de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez . Chalchuapa, 1998	65
4. Peso fresco promedio (g) de hojas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa, 1998.....	70
5. Peso fresco promedio (g) de tallo de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa , 1998	74
6. Peso fresco promedio (g) de raíz de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa. 1998	78
7. Peso seco promedio (g) de hojas de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.	81

8. Peso seco promedio (g) de tallo de plantas de lechuga a la cosecha en los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.....	86
9. Peso seco promedio (g) de raíz de plantas de lechuga a la cosecha para los periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus- piedra pómez. Chalchuapa, 1998.	89
10. Curva de beneficio neto en el cultivo hidropónico de lechuga en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.....	95
A-1 Diseño de tarimas de bambú para montaje de los módulos	108
A-2 Distribución de los tratamientos bajo el diseño irrestricto al azar.....	109
A-3 Altura promedio de plantas de lechuga (cm) para el periodo I en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez	110
A-4 Altura promedio de plantas de lechuga (cm) para el periodo II en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez	111

INTRODUCCION

La técnica de cultivo hidropónico es un medio importante para producir hortalizas en los países que tengan poca tierra cultivable y además una densidad poblacional alta.

Debido al aumento de la población y cambio del uso agrícola de la tierra por urbanización se hace necesario orientar esta técnica hacia investigaciones con miras de carácter comercial.

En nuestro país, la lechuga es una de las hortalizas de hoja de gran importancia económica debido a la demanda que tiene a lo largo de todo el año; sin embargo, esta demanda no es satisfecha con la producción nacional, por lo que se hace necesario importar dicha hortaliza, principalmente de Guatemala, ocupando el segundo lugar en importaciones de hortalizas de hoja.

En la presente investigación se ha trabajado con una técnica de hidroponía relativamente diferente a los métodos tradicionalmente conocidos. Esta diferencia radica en la no utilización de soluciones líquidas o sólidas sintéticas como fuente de nutrición, sino que se utiliza una nueva forma de fertilización de las plantas, con una fuente de alimentación más completa y no contaminante que es el humus de lombriz. Esta es una alternativa sostenible para mejorar la producción orgánica de hortalizas en forma sana y en consecuencia mejorar las condiciones alimenticias, de salud y económicas de las familias salvadoreñas y de la sociedad en general.

El objetivo de este trabajo es determinar la mejor combinación de humus – piedra pómez como sustrato que permita mejorar la producción de lechuga con el menor costo, y a la vez demostrar el efecto fertilizante que el humus puede tener en el crecimiento y desarrollo del cultivo.



2. REVISION DE LITERATURA

2.1 RESEÑA HISTÓRICA

Los primeros ensayos en hidroponía se iniciaron aproximadamente hace tres siglos, a partir de los descubrimientos llevados a cabo por Van Helmont; no obstante las plantas fueron cultivadas sin tierra mucho antes (58). Se sabe de casos como los jardines colgantes de Babilonia, los flotantes de los aztecas y los de China Imperial (34,46). El Belga Van Helmont en 1600 trabajó con esquejes de sauce sobre tiestos rellenos con tierra y agua. Después de regarlos durante cinco años el sauce alcanzó ciento setenta libras de peso, mientras que el suelo apenas perdió dos onzas, concluyendo que las plantas obtuvieron sustancias para su crecimiento a partir del agua (34, 44). En 1699 el inglés John Woodward, cultivó plantas en agua conteniendo diversos tipos de suelo, y encontró que el mayor desarrollo ocurrió donde había la mayor cantidad de suelo; concluyendo que el crecimiento de las plantas era el resultado del efecto de ciertas sustancias presentes en el agua arrastrada del suelo (34,46,58).

En 1804, de Saussure expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, suelo y aire. Mas tarde, el francés Boussinguet (1851) cultivó plantas en arena, cuarzo, carbón vegetal, añadiéndoles una solución química de composición determinada que le permitió llegar a la conclusión que el agua le suministraba hidrógeno y que la materia seca de estas esta formada de hidrógeno, carbono y oxígeno provenientes del aire (44).

Sach (1860) y Knop (1861) impulsaron las técnicas de cultivo con soluciones acuosas que contenían los minerales requeridos por las plantas dando origen a la nutricultura.

En 1929 se comenzó en los Estados Unidos el uso de cultivos hidropónicos a nivel agroindustrial con claveles sembrados en arena y en invernaderos (34,58).

A comienzos de los años treinta, Gericke de la Universidad de California, puso los ensayos de laboratorio de nutrición vegetal a escala comercial denominando a este sistema de cultivo en nutrimentos "hydroponics" (46,63). Él cultivó remolacha, rábanos, tomates, zanahorias y

patatas. En Europa, el desarrollo hidropónico se produjo después de la segunda guerra mundial (44,58,63).

En 1955 se desarrollo el circulo internacional de trabajos en cultivos hidropónicos, que permitió un acelerado desarrollo del crecimiento científico en esta área (34).

En América Latina, desde hace unos 20 años se comenzó a trabajar en el campo a nivel experimental y en la última década a nivel de producción (34). Es así como en El Salvador Ibarra, Zelaya y Martínez (1922) citados por Andrade(6), evaluaron y compararon tres soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos y concluyeron que la solución a base del fertilizante foliar XL-320 fue mejor.

Arreaga, Ramos y Vasquez (1996), citados por Andrade(6), evaluaron la respuesta del cultivo hidropónico de pepino y cuatro programas de fertilización y dos densidades de siembra; de sus resultados recomendaron el distanciamiento de 0.25 m x 0.25 m y un programa de fertilización a base de abono azul + Nitromag + Bayfolan por ser la más rentable.

2.2 CONCEPTO DE HIDROPONÍA

El término hidroponía etimológicamente se compone de las raíces griegas “hidro” que significa agua y “ponos” trabajo, es decir, trabajo en agua o cultivo de las plantas en agua (34,46,74).

En la actualidad se define como cultivos hidropónicos aquellos en los cuales no se utiliza suelo, sino algún tipo de material o soporte de las raíces de las plantas al que se le da el nombre de sustrato (1).

Cultivo hidropónico en su acepción más amplia, engloba todo cultivo que completan su ciclo vegetativo sin la necesidad de emplear suelo suministrando la nutrición mediante una solución que contiene los nutrientes esenciales para su desarrollo. El concepto es equivalente al de cultivos sin suelo y supone un sustrato de naturaleza líquida o sólida.

Ultimamente se comienza a utilizar el concepto de cultivos semihidroponicos en los que se emplean sustratos no inertes como; turba, fibra de coco, corteza, humus de corteza, compost etc (2).

2.3 HIDROPONÍA SOCIAL

La técnica de cultivos hidropónicos es un medio excelente para producir hortalizas en los países que tengan poca tierra cultivable o con una gran densidad de población (49).

La hidroponia social permite, con reducido consumo de agua y pequeños trabajos físicos pero con mucha dedicación y constancia, producir hortalizas frescas, sanas y abundantes en pequeños espacios de vivienda, aprovechando en muchas ocasiones materiales de desecho que de no ser utilizados causarían contaminación (49).

Con esta tecnología de agricultura se aprovecha productivamente parte del tiempo libre del que siempre disponen algunos miembros de la familia urbana y rural que por lo general es desaprovechado en actividades que poco contribuyen al desarrollo y a la proyección del núcleo familiar. La productividad potencial de los cultivos hidropónicos, cuando son realizados bajo técnicas sencillas y simplificadas es superior a las obtenidas mediante el sistema tradicional de cultivo hortícola (49).

2.4 CONCEPTO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SUSTRATOS

Un sustrato es el medio material donde se desarrolla el sistema radicular del cultivo y que además reemplaza al suelo (2).

Los sistemas hidropónicos presentan un volumen físico limitado, deben encontrarse aislados del suelo y tienen las funciones de mantener la adecuada relación del aire y solución nutritiva para proporcionar a la raíz el oxígeno y los nutrientes necesarios(2).

El sustrato apto para los cultivos hidropónicos es aquel que por su composición estructural estabilidad y granulometría proporciona una buena aireación (52). Entre las principales características de los sustratos se mencionan los siguientes:

- No deben desintegrarse ni reaccionar químicamente.
- Su descomposición debe ser mínima y rectificable
- Tener una buena capacidad de retención de agua
- El tamaño de los gránulos del sustrato debe ser de 2 mm hasta 5 mm, para evitar la compactación.
- Debe ser química y biológicamente inerte
- Tener una granulometría uniforme y de fácil desinfección
- De fácil disponibilidad y bajos costos (34,46,58,75).

La mayoría de sustratos empleados en hidroponía son de origen natural y se clasifican en orgánicos e inorgánicos (2,3,63).

2.4.1 Sustratos de origen orgánico

Entre los sustratos de origen orgánico más utilizados en nuestro medio por su facilidad de manejo y disponibilidad se tiene cascarilla de arroz, turba, aserrín y humus de lombriz (2,58).

a) Cascarilla de Arroz

La cascarilla de arroz es un sustrato liviano que permite buen drenaje y aireación. Presenta una tasa de descomposición baja a pesar de su origen biológico, debido a su alto contenido de silicio y además posee buena inercia química.

Sin embargo puede presentar problemas de residuos de contaminantes químicos principalmente de herbicidas. También se ha observado dificultad para su humedecimiento inicial y para conservarlo húmedo homogéneamente cuando se utiliza como sustrato único.

De utilizar la cascarilla de arroz es necesario lavarla y dejarla fermentar bien para evitar problemas de residuos contaminantes (34,49).

b) Turba

La turba, de estructura carbonácea blanda está constituida por restos vegetales variados en diversos grados de descomposición; se forma en el seno de las aguas pantanosas con poco oxígeno. Posee alta capacidad de retención de humedad, acidez elevada, es relativamente estéril y ligera de peso (34).

Existen tres tipos de turba: de musgo, de cañaveral y de humus (44,58,75).

c) Aserrín

Es un material de bajo costo, ligero y es frecuente encontrarlo en zonas forestales. El origen de éste debe de conocerse muy bien, ya que puede proceder de maderas rojizas que contienen sustancias tóxicas que pueden afectar el desarrollo de las plantas. Si solo es posible conseguir este material debe lavarse con abundante agua y dejarlo fermentar durante algún tiempo antes de utilizarlo.

Cuando el aserrín se utiliza como sustrato único presenta un drenaje deficiente que puede causar problemas de encharcamiento; por lo que se debe mezclar con viruta. El aserrín tiene la tendencia a formar áreas secas y ahí no llegan los nutrimentos (1,34,44,49).

d) Humus de lombriz

El humus de lombriz es la síntesis de la materia orgánica y/o nutrientes minerales que se encuentran en las deyecciones de la misma. Es un producto bio-orgánico de estructura coloidal, desmenuzable, ligero e inodoro, similar a la borra de café. Es un producto terminado muy estable, imputrecible y no fermentable (55, 59).

Posee una altísima carga microbiana del orden de los 20,000 millones por gramo seco, protegiendo a la raíz de otros tipos de bacterias patógenas, aún de nemátodos contra los cuales esta indicando especialmente (55).

El humus cuando se utiliza en hidroponía cumple un rol transformante al corregir y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos con los que se combina (15, 30).

2.4.2 Sustrato de origen mineral

Entre los sustratos de origen mineral que se pueden utilizar en hidroponía y que se encuentran con facilidad en nuestro medio están: Ladrillo o teja molida, escoria volcánica, arena, piedra pómez, grava, vermiculita y perlita.

a) Ladrillo o tejas molidas

Estos materiales poseen una adecuada porosidad y retienen bien la humedad pero son muy pesados y difíciles de manejar. Para su utilización se recomienda una granulometría que oscile entre 0.5 a 2 mm y evitar la presencia de elementos calcáreos una desventaja de estos materiales es que tienden a degradarse fácilmente y su duración se restringe gradualmente (1,34,58).

b) Arena

El uso de este sustrato es particularmente recomendable para los principiantes y aficionados, es barato, fácil de conseguir y no presenta dificultad para su manejo. Debido al tamaño menor de las partículas, permite una mayor retención de agua y solamente son precisos algunos riegos diarios (63). La granulometría es un factor que se debe tomar en cuenta en este sustrato, ya que cuando es homogénea y fina tiende a presentar compactaciones, encharcamiento y asfixia radicular (63, 75).

Se puede encontrar este material en una diversidad de tamaños y clases pudiendo ser de playa de ríos, de construcción, de desiertos; u otra (44, 58, 63).

Cualquiera sea la procedencia de la arena, esta debe ser lavada y desinfectada. Si procede de río no debe presentar partículas de limo fino y arcilla ya que puede causar problemas de fijación iónica, si es de playa debe quedar libre de exceso de sales (44). Conviene evitar aquellas de origen calcáreo por el exceso de algunos de sus elementos y alteraciones de pH (34).

c) Piedra pómez

La piedra pómez, pumita o lava vítrea, constituye un sustrato de gran potencial de uso, debido a su naturaleza esponjosa y cavernosa que le permite hasta flotar en el agua. Es un material de origen volcánico, muy parecido a la escoria de carbón mineral y se encuentra disponible en diversas zonas volcánicas. Posee muy buena retención de humedad y muy buenas condiciones físicas de estabilidad y durabilidad. A veces puede presentar problemas químicos por exceso de azufre y boro, pero estos pueden ser eliminados mediante el uso de agua caliente.

Desde el punto de vista biológico es completamente estéril, siempre que se extraiga de partes profundas y no contenga mezclas de tierra. En la actualidad este sustrato ha dado buenos resultados en el cultivo de orquídeas (1,58).

d) Grava

La grava en general son buenos materiales para hidroponía de subirrigación, debido a que por el tamaño de las partículas no presentan buena distribución horizontal del agua. La capilaridad y absorción de agua son bajas, por lo que se requiere regar mas veces al día (44,63).

Es un sustrato económico, con eficaz aireación para la planta, brindando un firme agarre y sujeción a las raíces, aunque presenta la desventaja de que por lo afilado e irregular de sus partículas puede presentar problemas a los cultivos de bulbo y de raíces y a los tallos de las plantas (34, 63).

Al usar la grava se debe procurar que ésta esté formada por un granito fino cuyas partículas tengan un diámetro que oscile entre 5 a 12 mm (34, 44).

e) Vermiculita

Mineral que se forma a temperaturas próximas a los 1,100 °C, logrando así una completa esterilidad. químicamente, la vermiculita es un silicato hidratado de aluminio, magnesio y

hierro y al expandirse toma un peso muy ligero con reacción neutra y buenas propiedades tampón. Posee alta absorción de humedad y de intercambio catiónico (44).

Tiene la propiedad de contener una reserva de nutrimentos que cede poco a poco. Contiene bajas cantidades de magnesio y potasio, fácilmente disponibles para las plantas. En horticultura se utiliza vermiculita con una granulometría que oscila entre 0.75 a 8.0 mm (34, 44).

f) Perlita

La perlita es un material de origen volcánico extraído de los rios de lava. El material recién sacado se muele y cierne, calentándose a continuación en hornos a unos 769 °C. Las altas temperaturas del proceso dan un material estéril. En horticultura el tamaño más utilizado es de 1.3 a 1.5 mm; la perlita absorbe gran cantidad de agua, es neutra y útil para incrementar la aireación de las mezclas, ya que tiene una estructura muy rígida que mientras dura, da lugar a que el tamaño de las partículas vaya disminuyendo conforme estas se parten con el uso (34, 44).

En general se puede decir que no existe el sustrato ideal debido a que cada uno representa ventajas e inconvenientes y su elección dependerá de la disponibilidad de los mismos, de las características del cultivo a sembrar, de los factores ambientales y características de la instalación (2, 3).

Sin embargo, existen aproximaciones que nos permiten definir un buen sustrato, como es el hecho de que posea:

- ✓ Una porosidad superior a 85 %
- ✓ Una retención de agua superior a 200 – 250 ml/kg de sustrato
- ✓ Un contenido de aire superior al 20 % (3).

2.5 INFLUENCIA DEL HUMUS SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUSTRATO.

Físicas

- a) Los sustratos que contienen humus presentan una mejor estructura debido a que este actúa como cemento de unión entre las partículas del sustrato. De esta forma se mejora la estructura granular que permite un mejor desarrollo radicular (64).
- b) Ayuda a atenuar los fenómenos erosivos hídricos que se producen en sustratos desnudos o con poco contenido de materia orgánica, este efecto se logra por la mejora en la capacidad de la retención de agua (64).
- c) Actúa indirectamente mejorando la textura producida por los organismos vivos en el suelo (30).
- d) Mejora la permeabilidad y aireación facilitando la liberación de CO₂ de la zona radicular, debido a la activa formación de agregados (15).
- e) Confiere un color oscuro a los sustratos ayudando a la retención de la energía calórica (15). Esta misma característica hace que eleve la temperatura del sustrato, eliminando de esta forma más rápidamente el exceso de agua en épocas húmedas (30).

Químicas

- a) Su riqueza en oligoelementos lo convierte en un fertilizante completo que aporta las sustancias necesarias para el metabolismo en razón de que su pH es cercano a 7.0 pudiendo utilizarse sin contraindicaciones ya que no quema las plantas aún las más delicadas (15,38,54,73). Además produce hormonas como el ácido indól acético, el giberélico, auxinas, sustancias reguladoras de crecimiento y promotoras de funciones vitales de las plantas (24,55).

- b) Por presentar un efecto homeostático (tampón), modera cambios de acidez y neutraliza los compuestos orgánicos tóxicos que llegan al sustrato (24,64).
- c) El humus incrementa la capacidad de intercambio catiónico, superando significativamente al que presentan un sustrato inorgánico.
- d) La materia orgánica en forma de humus posee entre 30 y 400 meq/100 gr.
- e) Incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, y azufre (N, P, S) fundamentalmente el N, a través del proceso de mineralización, haciéndolo asimilable por las plantas (15).
- f) Por su baja relación C/N (9 – 13 : 1), evita que al ser usado se presenten fenómenos de competencia por nutrientes (especialmente nitrógeno) entre los microorganismos del suelo y los cultivos (24,64).
- g) La presencia de ácidos húmicos y fúlvicos actúan como estimulantes del crecimiento facilitando la asimilación de los macro y micronutrientes (54,68)

Biológicas

- a) El humus aumenta la capacidad biológica del sustrato, ya que aporta millones de microorganismos que transforman la materia orgánica hasta elementos que las plantas necesitan (19).
- b) La acción microbiana del humus de lombriz hace asimilable por las plantas minerales como el fósforo, calcio y magnesio, así como micro y oligoelementos, fijando además a los microorganismos simbióticos el nitrógeno atmosférico (30).

2.5.1 Importancia del humus en la agricultura

El humus de lombriz constituye un abono rico en elementos biológicos, energéticos y minerales, que aportan un equilibrio indispensable para la fertilidad natural del suelo y para el rendimiento de los cultivos (30,73).

Este humus posee características muy propias que le hacen prácticamente insuperable, ya que puede incrementar hasta en un 300 % la producción de hortalizas y otros productos vegetales. Además favorece la formación de micorrizas, acelera el desarrollo radicular y los procesos fisiológicos de brotación, floración, madurez, sabor y color (19,24).

Su acción antibiótica aumenta la resistencia de las plantas al ataque de plagas y patógenos como también la resistencia a heladas (19). Científicos Canadienses han demostrado que ciertas bacterias del suelo son eficaces protectoras de cultivos contra las enfermedades fungosas; las bacterias retienen el hierro en la zona radicular y éste es un elemento muy importante para el control de ciertos hongos (64).

2.5.2 Usos del humus en la agricultura

El humus puede ser usado como un excelente sustrato de germinación (64). Como sustrato para almácigos de forestales, viveros de café y otras plantas; puede emplearse en partes iguales con tierra negra y arena (8,30).

También puede emplearse para cultivar plantas ornamentales; en este caso se ha usado una mezcla de partes iguales de humus y de tierra agrícola, obteniéndose buenos resultados (24,30).

En la producción de frijol y maíz abonados con humus de lombriz se ha obtenido rendimientos de 5,500 y 1,200 kg/ha respectivamente (30).

En la Escuela de Horticultura de Minoprio, Lombardia, se han experimentado distintos tipos de humus de lombriz en plantas horticolas.

Se han obtenido muy buenos resultados con tomate, apio y albahaca en cultivos protegidos hasta el trasplante. Con este lombricompuesto se consiguió un rápido desarrollo acortando notablemente el tiempo de cultivo.

En ensayos efectuados con tomate en invernadero, las plantas se han desarrollado en muchos casos hasta dos veces más altas que el patrón, usándose un 20% de compuesto de lombriz (35).

Con albahaca los resultados más satisfactorios se han obtenido empleando compuestos mixtos; se ha doblado la altura de las plantas, la longitud del limbo foliar y se incremento el número de hojas, En apio también, se ha duplicado la longitud de las hojas (24).

En el Campo Experimental las Animas del Departamento de Producción Agrícola y Animal de Xochimilco, se realizó un proyecto de investigación de producción orgánica de Jitomate obteniéndose como resultado más de una tonelada de jitomates de excelente calidad (43).

En Cangrejera, Bauta, La Habana, se realizó un experimento con el objetivo de evaluar el efecto del humus de lombriz utilizado como abono orgánico sobre la fertilidad del suelo y el crecimiento, estado nutricional y rendimiento de la yuca (Manihot esculenta crantz), cultivada en condiciones de secano. Los resultados obtenidos mostraron que el humus de lombriz incrementa los contenidos de materia orgánica, fósforo y potasio asimilables del suelo hasta un 23, 118 y 22 % respectivamente, y tuvo un efecto favorable en el crecimiento, estado nutricional y los rendimientos de cultivos. Las mayores producciones de raíces comerciales se alcanzaron con las aplicaciones de 6, 9 y 12 ton/ha de humus, los cuales superaron en 17 % el rendimiento obtenido con el fertilizante químico, pero la mayor eficiencia económica se observa con la dosis de 6 ton/ha con una rentabilidad de 308 % (35).

En el Instituto de Suelo, Cadevila, C. de la Habana, se ejecutaron dos experimentos con mezclas de humus de lombriz, zeolita y suelo como sustratos en las especies de helechos (Nephrolepis exalta) y cactus (Echinocactus grusonii). La variante testigo fue el sustrato que tradicionalmente se emplea para cada especie de planta versus los tratamientos que contenían humus más zeolita.

La mayor producción de hojas en los helechos se obtuvo con el sustrato formado por 40 % humus + 60 % zeolita. En el cactus no hubo diferencia significativa en el diámetro, aunque se observó una tendencia a ser mayor con la presencia de humus y zeolita (36).

2.5.3 Composición química del humus de lombriz

Los componentes químicos del humus son proporcionados tanto por el proceso digestivo de las lombrices, como por la actividad microbiana que se lleva a cabo durante el período de

reposo que éste tiene dentro del lecho . Se ha investigado que el 50 % del total de los ácidos húmicos que contiene el humus son proporcionados durante el proceso digestivo y otro 50 % durante el período restante o maduración (24, 38).

El lombricompuesto ha demostrado, algunas veces, que es tres veces más fértil que cualquier otro abono ya sea químico, natural o la mezcla de ambos (20).

En el cuadro 1 se describe la composición química del humus de lombriz.

Cuadro 1. Composición Química del Humus de Lombriz

DETALLE	OBSERVACION
Humedad	40 - 60 %
Materia orgánica	30 - 45 %
PH	6.8 - 7.2
Nitrógeno	1 - 3 %
Fósforo (P ₂ O ₅)	1 - 3 %
Potasio (K ₂ O)	1 - 3 %
Calcio	4 - 11 %
Magnesio	0.5 - 1.5 %
Hierro	0.5 - 1.5 %
Manganeso	500 - 800 ppm
Cobre	100 - 400 ppm
Zinc	200 - 1500 ppm
Cobalto	10 - 50 ppm
Carga bacteriana	3 x 10 ⁶ colonias/gr

Fuente: Centro de investigaciones y desarrollo, Ecuador. 1999.

2.5.4 Importancia ecológica del humus de lombriz

El humus de lombriz contribuye enormemente a reducir el impacto producido por los contaminantes del ambiente y ayuda a conservar el medio ambiente natural, por lo que puede ser una alternativa para el manejo de recursos naturales , reciclaje de desechos orgánicos, control ecológico y la contaminación ambiental (55).

La Lombriz convierte los desperdicios orgánicos e industriales (estiércol, cartón, papel, pulpa de café y barro de las estaciones depuradoras de desagüe entre otras) en un sustrato biológico muy rico en bacterias no patógenas. Este sustrato es rico en N, P, K y

microelementos y sobre todo rico en enzimas que actúan en la recuperación de la microflora del suelo (8, 9,55).

El humus constituye uno de los materiales que posee el suelo para protegerse de la contaminación puesto que retiene químicamente a una gran variedad de sustancias como iones metálicos, pesticidas y otras de origen orgánico (33).

2.6 MÓDULOS O CONTENEDORES

El contenedor es cualquier recipiente en que se depositará el sustrato, la fuente de nutrimentos y en definitiva, la planta que se va a cultivar (63).

Si el cultivo es doméstico o pequeño, bastara con macetas, cubetas, cacerolas, ollas de barro o metálicas, piletas, bandejas, cajas de madera o de durapax, cajones de concreto, ladrillo o fibra de vidrio, etc. pero siempre y cuando estos recipientes estén debidamente impermeabilizados para evitar que la solución o los nutrimentos reaccionen con los materiales de que están hechos (63).

Las dimensiones de los contenedores son variables y dependen del espacio y los propósitos que tenga el productor. Sin embargo, el ancho puede variar desde 0.10 a 1.0 m y el largo depende del espacio, recursos y objetivos que se tengan. La profundidad puede variar de 0.10 a 0.25 m de acuerdo con el tipo de hortaliza que se cultive (49).

También se aconseja colocar a los lados del módulo ladrillos, tablas de madera o bambú, etc, a fin de limitar el área del contenedor (49).

En el caso de cultivo hidropónico comercial es preferible sustituir el uso de contenedores, por una forma más económica, como seria emplear zanjas o rectángulos sobre el suelo pero cubiertas de cemento o plástico. El modulo a construir debe tener un desnivel del 3 al 5 % a fin de facilitar que el agua drene (63).

2.7 NECESIDADES HÍDRICAS DE LOS CULTIVOS HIDROPÓNICOS

Las plantas cultivadas en hidroponía consumen menos agua que los huertos horticolas tradicionales, debido a que no la comparten con las partículas del suelo, las malezas y otros organismos. La cantidad de agua necesaria está determinada por el tipo de sustrato, la especie y estado fenológico del cultivo, las condiciones climáticas existentes y por el tipo de drenaje del módulo o contenedor(3).

En los sistemas hidropónicos no se puede permitir que las plantas sufran estrés hídrico o despilfarros de solución nutritiva que afecte su rendimiento final. Es necesario que las plantas reciban el agua necesaria y en el momento que la precisan. La programación horaria de los riegos no es actualmente un método válido por muy ajustados que estos sean; un día nublado puede implicar exceso de la cantidad de agua aportada y un día excepcionalmente caluroso se traduciría en déficit hídrico temporal para la plantación (2). En general el consumo diario de agua oscila entre 2 y 3 litros/m² (58).

2.8 NUTRICIÓN EN LOS SISTEMAS HIDROPÓNICOS

La nutrición en los sistemas hidropónicos es un aspecto muy importante pues se trata justamente del alimento que se aportará a las plantas para que germinen, crezcan vigorosas, se desarrollen y den frutos abundantes (63). En el anexo 1 se presentan las funciones de los diferentes elementos esenciales para la nutrición de las plantas. Los requerimientos de nutrientes por la planta disminuyen con el desarrollo de las estructuras de éstas; sobretodo de las reproductivas; además los nutrientes deben guardar proporción con el sustrato utilizado y el microclima del lugar (34).

En hidroponía comúnmente se suministran los nutrientes en forma de soluciones nutritivas o fertilizantes sólidos.

De acuerdo al grado de absorción de los nutrientes por las plantas, los elementos N, P, y K son absorbidos más fácilmente en comparación con el resto de los nutrientes secundarios y

micronutrientes, lo cual no implica que sean menos importantes para el desarrollo de las plantas (63).

2.8.1 Formulaciones líquidas

Las formulaciones líquidas constituyen las llamadas soluciones nutritivas y pueden ser: estáticas y dinámicas.

Las formulaciones estáticas, son aquellas que no cambian su composición a lo largo del proceso productivo del cultivo. En cambio las formulaciones dinámicas, cambian la proporción de sus componentes para reforzar las funciones en sus distintos períodos (63).

2.8.2 Formulaciones sólidas

Entre los componentes nutritivos sólidos están considerados los fertilizantes de uso tradicional, clasificados según la composición en fertilizantes simples y complejos.

Entre los fertilizantes sólidos popularmente utilizados en hidroponía se encuentra el abono azul o Blaukor (49).

2.9 CLASIFICACIÓN DE LOS CULTIVOS HIDROPÓNICOS DE ACUERDO AL SISTEMA DE DRENAJE.

El sistema de drenaje preferible en hidroponía es aquel que inunde y drene intermitentemente. Los sustratos orgánicos como la cascara de arroz, viruta de madera y otros, requieren de un excelente drenaje, pues de lo contrario entran rápidamente en descomposición.

Los sustratos minerales como arcilla, piedra pómez, escoria volcánica y escoria de carbón, son más resistentes a la inundación, garantizando el suministro de oxígeno a las raíces (1).

Entre los sistemas de drenaje se tienen: abiertos y cerrados (1,2).

2.9.1 Sistema abierto

El sistema abierto es aquel en el que la solución nutritiva que se aplica a las plantas es justamente lo necesario y el drenaje no es reutilizado, la cantidad que drena es mínima, por lo tanto se evita el desperdicio de nutrimentos (1).

Una de las ventajas que presenta este sistema es que evita acumulación de elementos fitotóxicos indeseables en la solución del sustrato, que puede provenir de una mala calidad del agua de riego o de la solución nutritiva (2).

En este sistema si no se controla el aporte de agua de riego puede haber problemas de lixiviación, sin embargo, con la aplicación de fertilizante de liberación gradual, el problema de lixiviación de nutrimentos se ve reducido (1).

2.9.2 Sistema cerrado

En el sistema cerrado la solución nutritiva circula a través del cultivo y va a parar a un tanque desde el cual puede ser reutilizado.

Esta solución puede ser utilizada indefinidamente siempre y cuando se reponga el agua y los nutrientes que vaya consumiendo las plantas (1).

Este sistema es ventajoso en lugares donde el agua es escasa y además con su aplicación se evita la contaminación ambiental.

En algunos países europeos como Holanda y España hay normativas para la reutilización de estos drenajes.

La recirculación total de los lixiviados exige partir de aguas de riego de alta calidad exenta o con mínimas cantidades de elementos que puedan resultar fitotóxicos tales como el sodio, cloro y boro (2, 3).

2.10 INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES EN LOS CULTIVOS HIDROPONICOS

Los principios hidropónicos que se deben tener en cuenta para lograr el máximo desarrollo de un cultivo hortícola, tiene que ver con la influencia o incidencia de los factores ambientales.

Entre los elementos más importantes a considerar se tiene la temperatura, radiación solar, humedad y concentración de oxígeno (34,58,63).

2.10.1 Temperatura

La temperatura influye de maneras diferentes según la clase de cultivo. Las plantas hortícolas disminuyen la absorción de nutrimentos y agua a temperaturas bajas, llegando al marchitamiento o clorosis, pero también se ven afectadas por la elevación de la misma (34,58); por ejemplo se conoce que en lechuga las temperaturas elevadas estimulan la formación de tallos florales, resultando las plantas poco compactas, con sabor amargo, facilitándose además el ataque de plagas y enfermedades y aparición de trastornos fisiológicos (61).

Generalmente las plantas de lechuga se desarrollan bien en lugares con temperaturas de 15 a 21 °C. En algunos países es posible cultivar y producir lechuga durante todo el año, mientras que en otros, solo pueden obtenerse buenas cosechas en ciertas épocas del año (4). La lechuga crece mejor en climas frescos, sin embargo, a temperaturas menores de 10°C ocurre formación deficiente (4,61).

2.10.2 Radiación solar

La energía solar es uno de los factores indispensables para el buen desarrollo de las plantas, pues la necesitan para realizar la fotosíntesis (49).

Las plantas requieren diferentes cantidades de energía solar según el tipo y su estado de desarrollo (58).

Las plantas de lechuga exigen mucha luz, pues la escasez de esta provoca que las hojas sean delgadas y que en múltiples ocasiones las cabezas se suelten (4).

Por otro lado, la velocidad de la fotosíntesis depende de la intensidad de la luz que incide sobre las plantas; sin embargo, en las plantas enteras aún en pleno sol no pueden alcanzar la tasa máxima de fotosíntesis, ya que las hojas superiores pueden estar saturadas de luz, mientras que las inferiores, estarán sometidas a un nivel de luz limitada. Una planta al producir nuevas hojas modifica sus requerimientos de intensidad de radiación solar, afectando así sus propias hojas maduras localizadas en la parte inferior (39).

En cuanto a la luminosidad mensual, se sabe que en los primeros meses del año la luminosidad va aumentando hasta llegar a mayo, junio y julio, y comienza a disminuir en agosto hasta llegar a su menor luminosidad en diciembre.

En los cultivos de follaje, para que haya abundante producción de hojas se necesitan de 10 a 12 horas de luz durante el día, en forma constante hasta la cosecha (63).

2.10.3 Concentración de oxígeno

La oxigenación es muy importante para las plantas ya que a través de la energía liberada en este proceso se realizan las funciones de transporte y acumulación de nutrimentos dentro del sistema celular (63).

Para la disponibilidad del oxígeno es necesario que el sustrato sea poroso de tal forma que el aire circule adecuadamente; además, con ciertas prácticas de manejo como el escardado, se garantiza una oxigenación óptima en la zona radicular, avalando así el éxito del cultivo (34, 58).

La insuficiencia de oxígeno alrededor de la raíz retarda el crecimiento de las plantas, lo cual da como resultado una reducción de la cosecha, pudiendo incluso motivar la muerte de la misma (44).





2. 11 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE LA LECHUGA (Lactuca Sativa L.)

2.11.1 Importancia.

La lechuga se originó en Asia Central y Asia Menor y es uno de los cultivos más antiguos; en Egipto se ha encontrado pinturas de lechuga que datan de 4500 años a. C. Actualmente se halla extendida por todo el mundo (7).

La lechuga es una de las hortalizas más cultivadas. En América, principalmente, es objeto de cultivo en grandes extensiones por ser una hortaliza de múltiples beneficios, teniéndose algunas variedades que se cultivan para la obtención de lactucarium, que es un extracto de la lechuga espigada y desecada, que puede utilizarse como calmante y somnífero, especialmente para los niños (16).

Además, la influencia de la lechuga en el organismo humano es beneficiosa por su alto valor nutritivo, rica en calcio, fósforo, hierro, vitamina A, B y ácido ascórbico (cuadro 2), también posee propiedades refrescantes, por eso es recomendable para los enfermos de gota (61).

En la industria, el jugo de lechuga entra en la composición de algunos productos de perfumería (16).

El consumo de lechuga está en función de los hábitos del consumidor, y varía según los países; así en El Salvador en 1998 se demandó un promedio de 87,812 kg mensuales que fue importado de Guatemala por un valor de \$ 123,528.99 (31).

CUADRO 2. Composición química de la parte comestible de la lechuga (100 g).

ANALISIS	CONTENIDO
Agua	95.10 g
Proteínas	1.10 g
Carbohidratos	1.90 g
Grasas	0.20 g
Fibras	0.00 g
Cenizas	0.70 g
Otros componentes (mg)	
Calcio	44.0
Fósforo	42.00
Hierro	1.00
Vitamina A	260.00 u
Tiamina	0.10
Riboflavina	0.06
Niacina	0.50
Acido ascórbico	20.00
Calorías	13.00

FUENTE : Tisconia, J.R. (70).

2.11.2 Tipos y variedades de lechuga.

Variedades Botánicas:

Capitata : cabeza

Longifolia : romana o cos

Crespa : hoja

Las lechugas desde el punto de vista comercial y de acuerdo a la forma en que crecen se pueden clasificar en tres tipos principales: cabeza, hoja suelta e intermedias.

Las lechugas que forman cabeza, en muchos países son conocidas como lechugas "arrepolladas".

Las de hojas sueltas no forman cabeza y sus manojos de hojas son útiles en los huertos caseros, porque permite aprovechar algunas hojas exteriores sin arrancar la planta ; por último

las lechugas intermedias llamadas lechugas de oreja, que forma una cabeza ovalada suave, de tipo intermedio entre la lechuga de cabeza y la de hoja suelta (16,22).

En el cuadro 3 se describen las características de algunas variedades representativas de cada tipo y que pueden cultivarse en El Salvador.

CUADRO 3. Descripción de algunas variedades de lechuga que pueden cultivarse en nuestro país.

VARIEDAD	DIAS A COCECHA	TIPO Y FORMA	TAMAÑO	COLOR	RESISTENCIA TOLERANCIA
Salinas	65-80 dds	Cabeza Achatada firme	Grande	Verde suave	Mildiú lactuca
Great Lake	90	Cabeza	Grande	Verde y suave	Tizón y necrosis marginal
Grand Rapid	40-45 dds	Hoja suelta colocha	Verde amarillo		
Lollo Rosa	60 dds	Hoja suelta colocha	mediana	Verde de bordes púrpura	
Paris Island	54 dds	Hoja suelta tipo romana manojo de hojas semi-cerrada	Grande	Verde intenso	Quechado apical

Fuente : Semillas S.A (66)

2.11.3 Características Botánicas

La lechuga es una planta herbácea anual y cuando joven contiene en sus tejidos un látex que disminuye con la edad de la planta (7).

La raíz es pivotante, con ramificaciones finas y cortas; aunque pueden llegar a unos 60 cm de profundidad, la mayor parte de las raíces se desarrollan en los primeros 25 cm del suelo. El tallo es pequeño y no se ramifica y de él salen las raíces y las hojas.

Las hojas son muy grandes, lisas y el extremo puede ser redondeado o rizado. Su color va del verde, verde amarillo hasta el morado claro, dependiendo del tipo y el cultivar.

La lechuga no exige periodos fríos para florecer. Emite un tallo floral, con agrupaciones florales de 15 a 25 cm. Las flores son hermafroditas con cinco pétalos y cinco estambres y su ovario es monocular; el fruto es un aquenio, seco, simple e indehiscente y las semillas miden de 4 a 5 mm de largo (4,7).

2.11.4 Requerimientos del cultivo de la lechuga

2.11.4.1. Altitud

Se desarrolla bien en altitudes de 1000 a 2800 msnm, pero en El Salvador es cultivada en zonas arriba de los 750 msnm, obteniendo producciones de calidad aceptables (66).

2.11.4.2 Agua

Es un cultivo que requiere humedad permanente del suelo, pero con un buen drenaje. El cultivo demanda unos 400 a 500 mm de agua durante el ciclo vegetativo (4,16).

En la práctica se ha observado que los periodos críticos ocurren en la germinación y cuando empieza a formarse la cabeza (var. capitata), por lo que se recomienda humedad constante en el suelo para obtener lechugas de buen peso y comercializables. En un suelo orgánico se requiere una lámina de riego de 2.5 cm (1 pulgada) cada 10 a 14 días antes de formar cabeza, y cada 7 a 10 días durante la formación de la cabeza (16).

2.11.4.3 Suelo

La adaptación de esta hortaliza a diferentes tipos de suelo es muy amplia. Tompson y Kelly (1939) mencionan que el mejor desarrollo se obtiene en suelos franco-arenosos con suficiente contenido de materia orgánica y buen drenaje (72). El ph óptimo está comprendido entre 6.8 y 7 (4,7,16).

2.11.4.4 Fertilización

La lechuga es especialmente exigente en nitrógeno y potasio. Por lo que es conveniente proporcionarle materia orgánica ya que esta mejora la estructura y aporta al suelo o sustrato nutrimentos tales como N, P, K, Mg, oligoelementos, agua e incluso CO₂, todos esenciales para el desarrollo adecuado de la planta (16).

2.11.4.5 Cosecha

La recolección se realiza de acuerdo al ciclo vegetativo de la variedad. La lechuga se cosecha cortando toda la planta a ras del suelo y tanto en las variedades de hoja suelta, el tipo cos y el arpeollado, se dejan algunas hojas exteriores en buen estado que protegen la parte comestible y comercial del centro de la planta. La operación de cosecha se hace a mano, planta por planta, haciendo un corte limpio y final en el mismo campo para no llevar hojarasca innecesaria. La lechuga se transporta en canastos o cajas de cartón (7,16,61,70).

2.12 PRINCIPALES PLAGAS Y ENFERMEDADES

2.12.1 Plagas

Entre los insectos más importantes de la lechuga están:

- a) Chicharrita (Empoasca sp), que trasmite el virus del amarillamiento.

- b) Pulgones. Estos áfidos atacan menos a las variedades que poseen algún tono rojizo en sus hojas (7, 16).

2.12.2 Enfermedades

Entre las principales enfermedades que afectan el cultivo de la lechuga están:

- a) Pudrición de Rhizoctonia.

Causada por el hongo Rhizoctonia solani , la cual ocasiona podredumbre en las hojas de la base.

- b) Mildiú.

Enfermedad causada por el hongo Bremia lactucae. Las hojas más viejas son las primeras en presentar el daño. Adquieren primero, una tonalidad pálida, recubriéndose por el envés de unas zonas blancas (16, 22).

2.13 CONTAMINACION DE LOS ALIMENTOS POR FERTILIZANTES QUIMICOS SINTETICOS.

2.13.1 Aspectos Generales

Poco se ha hablado de la contaminación de los alimentos por fertilizantes químicos sintéticos y muchos estudios solo se han limitado a la contaminación por pesticidas; a pesar de las denuncias y rechazos que los movimientos ecologistas han manifestado sobre el progresivo empleo de productos sintéticos y los diversos métodos artificiales de agricultura existentes(5).

El rechazo de algunos métodos modernos de cultivo se justifica por los numerosos inconvenientes que lleva consigo y entre los cuales se pueden mencionar: la alteración de la composición de los alimentos y la contaminación de los mismos.

Se relaciona el mal uso de estas técnicas de cultivo con el desarrollo de las modernas enfermedades de la civilización, con una alimentación inadecuada, atribuibles a la producción de alimentos contaminados.

Se ha sustituido la fertilización orgánica tradicional por el abono químico soluble, como único medio para nutrir a la planta (17).

La agricultura biológica rechaza absolutamente los abonos químicos por considerarlos causantes de alterar la composición de las cosechas agrícolas; además, se sabe que el uso excesivo de abonos químicos, trae como consecuencia la obtención de productos que son de menor calidad nutritiva y en algunos casos están contaminados a un nivel peligroso para la salud de quienes los consumen (5).

La llamada " Revolución verde " de los años 50/60 y la teoría de Liebig de la nutrición mineral, verdad a medias, que reducía la alimentación de las plantas a nitrógeno, fósforo y potasio (17, 19), olvidando restituir al suelo otros minerales y oligoelementos, que no por ser necesarios en pequeñas cantidades dejan de ser imprescindibles, dio lugar al desaforado desarrollo de la industria de fertilizantes químicos y abandono progresivo del abono orgánico (19).

Los fertilizantes químicos tienen un efecto quelante, bloqueando la utilización por la planta de oligoelementos como es el cobre, magnesio, hierro, zinc, etc., que produce vegetales que son pobres en estos elementos, imprescindibles para la salud humana. Además de estos efectos, por defecto, el exceso de otros elementos también es nocivo para la salud de las personas sobre todo por el efecto acumulativo que muchos contaminantes presentan (5, 17).

Se sabe que hay una relación entre el nacimiento de niños mentalmente retardados y el aumento en el uso de fertilizantes y otros químicos. En 1952, nacieron en Estados Unidos 20,000 niños retrasados mentalmente, cifra que ha aumentado con los años, reportándose para 1968 retardos mentales arriba de 500,000. En general existen temores de que todo este envenenamiento químico esta ocasionando problemas de tipo tumorogénico, carcinogénico y teratogénico (8).

El informe FOESSA de 1975, publica una lista de fraudes mas frecuentes que han sido detectados en España, con relación a la presentación y calidad de las cosechas hortícolas. Así se cita por ejemplo, las verduras, en donde se emplea el sulfato de cobre para teñir judías verdes y guisantes(5). Al respecto se conoce que el sulfato de cobre, también es utilizado para formular soluciones nutritivas en hidroponía, y se recomienda en distintos periodos de crecimiento y principios de la floración (63).

2.13.2 Contaminación por nitratos, nitritos y compuestos n- nitroso

La toxicidad por nitratos y nitritos , tanto en animales como en seres humanos se conoce desde fines del siglo pasado; la fuente natural es una consecuencia del ciclo del nitrógeno y la antropogénica (producto de la actividad humana) se relaciona con los fertilizantes (57,67). Las distintas aminas, aminoácidos y proteínas que se encuentran en los alimentos pueden reaccionar con nitritos para formar nitrosaminas (67). Se sabe que las nitrosaminas tienen efectos tóxicos y a veces letales en embriones animales (56).

La excesiva exposición a los nitratos y nitritos trae como consecuencia la enfermedad conocida como metahemoglobinemia (con efectos comprobados sobre la salud y su relación con la contaminación de los alimentos), que es hemoglobina cuyo átomo de hierro ha sido oxidado del estado ferroso (Fe ++) al estado férrico (Fe +++). En estas condiciones la molécula ligará de manera irreversible el oxígeno, produciendo déficit de oxígeno en la sangre (56).

La metahemoglobinemia es causada por nitritos que son los productos de la reducción de los nitratos. La reducción por lo común se realiza mediante la acción microbiana en el organismo. Los lactantes son el grupo mas vulnerable (17, 56, 67).

La concentración tóxica es de 0.5 g. de metahemoglobina por 100ml. de sangre (67).

En el caso de los compuestos N-nitrosos, pueden llegar a desarrollar cirrosis hepática y tener un efecto cancerígeno, también afectan el sistema nervioso periférico y central, y los

órganos del sistema gastrointestinal. Los límites máximos de nitratos para el consumo son de 45mg/lit (67).

Al parecer los nitratos y nitritos no son cancerogénicos, si bien, se ha demostrado la mutagenidad por nitritos en varios sistemas experimentales(56). Sin embargo, algunos autores informan que al ingerirse los nitratos, una vez en la boca se transforman a nitritos por medio de ciertas bacterias presentes en el estómago y en la vejiga urinaria. Los nitritos son muy reactivos y dan lugar a la formación de compuestos nitroorgánicos, algunos de los cuales son supuestamente cancerígenos. En principio estos compuestos producen principalmente cáncer de estómago y del hígado. De hecho, el cáncer tiene más probabilidad de producirse si en la dieta falta vitamina C, que inhibe la formación de compuestos nitrosos(33).

Sulfato de amonio: Su fórmula química es $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$. Es una fuente de nitrógeno y azufre para los sistemas agrícolas. Es totalmente soluble. En el suelo sufre inicialmente un proceso de hidrólisis (es iónicamente separado en medio acuoso), “liberando” el nitrógeno en forma amoniacal de NH_4^+ y el SO_4^{--} . El nitrógeno en la forma de NH_4^+ es oxidado a nitrógeno en la forma de nitrato (NO_3^-) la cual es mayormente absorbido por las plantas.

Urea: Su fórmula química es $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Es una fuente de nitrógeno para los sistemas agrícolas. en el suelo sufre inicialmente el proceso de hidrólisis, formando carbonato de amonio, el cual es químicamente inestable. Este producto se descompone casi inmediatamente dando origen a $\text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{agua}$. El nitrógeno en la forma de NH_3 , es oxidado a nitrógeno en la forma de NO_3^- , y absorbido por las plantas (57).

La utilización de nitrógeno oscila de 25 a 85% según el cultivo y las técnicas agrícolas; a fin de obtener una máxima producción el agricultor está aplicando un exceso de fertilizante nitrogenado al suelo (56), razón por la cual aumenta sustancialmente el contenido de nitratos presentes en suelo que pueden acumularse en los alimentos (5).

Brown y Smith en 1967, observaron que la fertilización con nitrógeno tendía a aumentar el contenido de nitratos de las hortalizas, y se han realizado tentativas por correlacionar las dosis de aplicación de nitrógeno con el contenido de nitratos en lechuga, rábano y espinaca (56).

Estos mismos investigadores, observaron niveles mas elevados de nitritos en espinaca en tierra fertilizadas, que podrían llegar a valores excepcionalmente elevados de 3600 mg/kg de peso seco, en casos de fertilización excesiva.

Debido a la capacidad de la espinaca para acumular grandes cantidades de nitrato y los casos notificados de intoxicación asociados con el consumo de esta planta, se han realizado varios estudios sobre la conversión de nitratos a nitritos en la espinaca (56).

Se han observado casos de metahemoglobinemia, algunos de ellos de carácter fetal, por el consumo de espinaca (56).

Según estudios realizados por varias instituciones en el país, el 65% de los agricultores utilizan sulfato de amonio y el 35% usan urea en sus cultivos (69). Esto podría explicar la razón por la que se han encontrado concentraciones de nitritos por arriba de lo permisible en distintos ríos (12 en total) que desembocan en el río Lempa. Según las normas internacionales, el nitrito tiene un limite permisible de 0.1 miligramos por litro de agua; sin embargo, en muestras de agua de dicho río se han encontrado 30 miligramos por cada litro (41).

Actualmente, la cantidad de fertilizantes utilizadas por los agricultores a nivel nacional es de 6 a 10 quintales por manzana por cosecha (69).

2.13.3 Contaminación por fosfatos y/o sulfatos

Se tienen efectos comprobados de que los fosfatos y sulfatos presentes en los alimentos causan hipermotilidad gastrointestinal a las personas que consumen alimentos contaminados con estas sustancias o cultivos que se hayan fertilizado excesivamente con ellos (5, 25).



2.13.4 Contaminación por flúor

Se ha demostrado que en la elaboración de fertilizantes fosfatados se utiliza como materia prima la roca fosfórica ($3Ca_3(PO_4)_2 \cdot CaF_2$), la cual contiene residuos de flúor que ha ocasionado en bovinos fluorosis dentaria, hipoplasiado en el esmalte, desgaste dentario, hipoplasia gengival y osteoporosis debido a intoxicación por dicho elemento (47).

El flúor es tóxico al organismo humano en concentraciones por encima de 1ppm, ya que precipita el calcio de la sangre e inhibe las enzimas que promueven la conversión del ácido - 2 - fosfoglicérido en ácido piruvato (47).

2.13.5 CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Los metales pesados son aquellos cuya densidad supera cinco veces la densidad del agua y se encuentran en pequeñas cantidades en los organismos vivos (45).

Aunque los metales tienen muchas propiedades físicas en común, su reactividad química es muy diversa como lo es su efecto tóxico sobre sistemas biológicos; pueden perjudicar la salud humana si se permite que alcancen concentraciones excesivas en los alimentos. Una de las fuentes principales de contaminación con metales pesados es a través de los fertilizantes (67).

Entre los metales pesados más comunes, que pueden ser ingeridos en pequeñas cantidades con los alimentos y que son tóxicos cuando superan ciertos niveles críticos se tienen el arsénico, cadmio y selenio (20, 67).

2.13.5.1 Arsénico

El contenido de arsénico en la mayoría de los alimentos es inferior a 1ppm(nutrición); sin embargo en las regulaciones españolas se admiten niveles de arsénico que superan las 3.5 ppm. Esta sustancia tiene efectos cancerígenos y mutagénicos (11).

El arsénico es inhibidor enzimático que se combina con los grupos sulfídricos(-SF) interfiriendo en el metabolismo celular. Aunque el arsénico no queda retenido en grandes cantidades, se aceptan que las dosis repetidas originan una acumulación de efectos (11).

En las especificaciones para la elaboración de sulfato de amonio, se establece que este debe contener 0.01% p/p de arsénico (As_2O_3), lo cual implica que este fertilizante podría ser un medio de contaminación de los alimentos con dicha sustancia (64).

2.13.5.2 Cadmio

Se encuentra en los minerales de zinc, plomo y cobre, introduciéndose en el ambiente en los procesos de refinamiento de estos metales (67).

Muchos productos agrícolas, como los fosfatos de los abonos, poseen cadmio, que es absorbido por las plantas. Hasta la fecha las investigaciones científicas no han podido encontrar función biológica alguna de este metal; pero se ha constatado que el cadmio produce alta presión sanguínea, disfunciones metabólicas en los riñones, lesiones en el hígado y anemia(45); también ocasiona riesgo de cáncer en la próstata y osteomalasia (67).

La capacidad de las plantas para absorber el cadmio del suelo, varía según la especie, pero las gramíneas, el trigo, y la lechuga lo absorben rápidamente. También varía la sensibilidad de la planta, la espinaca, lechuga y soya son resistentes a niveles de 3-4 mg/g. De igual forma los superfosfatos que se utilizan en la agricultura pueden contaminar el suelo a niveles que pueden alcanzar los 100 mg. de cadmio por kilogramo de peso (67).

Se han encontrado concentraciones muy elevadas de cadmio en vegetales como el arroz y el trigo, introducido a través de los fertilizantes compuestos de fosfatos (5).

Es notorio que una de las formas de contaminación por cadmio, se debe al uso de fertilizantes cuya materia prima es la roca fosfórica y entre estos se tienen el superfosfato triple, superfosfato simple y superfosfato enriquecido (45, 65).

2.13.5.3 Selenio

Este es otro metal que está presente en muchos vegetales (5), puede encontrarse en concentraciones tóxicas en cereales cultivados en ciertas regiones de los Estados Unidos. En la práctica comercial, el grano procedente de esas regiones puede mezclarse con grano exento de selenio que llega de otras regiones donde el suelo no contiene este elemento y causar algún tipo de toxicidad en animales y humanos (20).

En general se puede decir que tanto los cultivos como el ganado pueden resultar dañados por los metales pesados presentes o añadidos al suelo. Las cantidades que pueden causar daño son muy pequeñas y por lo tanto no se deben emplear fertilizantes que aporten dichos elementos (26).

2.13.6 TOXICIDAD POR MICRONUTRIMENTOS

Los micronutrientes son elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo, al emplear estos elementos debe tenerse cuidado ya que si se usan con demasiada frecuencia se pueden volver tóxicos. El boro y el cobalto son tóxicos aún en cantidades relativamente bajas (62).

El riesgo de las aplicaciones innecesarias de microelementos debe enfatizarse, debido a que en general resulta más difícil remediar la toxicidad que la deficiencia. Por ejemplo si se añade molibdeno en forma indiscriminada a los fertilizantes, el contenido de ese elemento en el suelo puede elevarse hasta el punto en que existe el riesgo de que el aumento de su absorción en los pastos ocasione desórdenes en los animales (26). Este elemento afecta a los animales de pastoreo, cuando el forraje tiene de 10 – 20 ppm de molibdeno (40). El molibdeno se ha encontrado como trazas o impurezas en los fertilizantes. También se sabe que el superfosfato contiene cantidades significativas de cobre, zinc y cobalto, como producto de las impurezas que tiene la roca fosfórica de donde se extrae (26).

Del cobre se sabe que la fertilización de los pastizales con este elemento aumenta su contenido en las plantas. Al aplicar cobre a los suelos se debe tener el cuidado de no llegar a niveles tóxicos ya que los animales monogástricos y los humanos son más sensibles al bajo contenido de cobre en los alimentos (26).

Otro de los elementos que puede ser perjudicial para la salud es el aluminio(23, 28); aunque puede ser importante en trazas en los cultivos, existen evidencias científicas de que este metal es el principal causante de la enfermedad de alzheimer (23).

Una de las formas de contaminación con aluminio puede ser a través de alimentos que son producidos a base de fertilizantes químicos, ya que se conoce que uno de los procesos de fabricación de fertilizantes fosfatados da origen a la formación de sulfato cálcico, al cual se le une la sílice, aluminio, cal y magnesio que se genera en el proceso (48).

En el cuadro A-2 se presenta un resumen de algunos de los minerales o sustancias consideradas peligrosas y que además tienen relación con los fertilizantes químicos sintéticos (28).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 LOCALIZACION

El estudio se realizó en la ciudad de Chalchuapa, ubicada a 16 Km. de la carretera que conduce de Santa Ana a Ahuachapán, departamento de Santa Ana, con una altitud de 710 m.s.n.m. y coordenadas de 13° 58' 59" L N y 89° 40' 45" L W.

El ensayo se realizó durante los meses de Marzo a Julio de 1998.

3.2 CARACTERISTICAS CLIMATICAS DEL LUGAR DURANTE EL EXPERIMENTO.

En el lugar donde se realizó el ensayo se presentaron promedios anuales de temperaturas de 22.8 °c, una precipitación de 1919 mm, y una humedad relativa de 62% registradas por la estación meteorológica El Palmar, Santa Ana.

3.3 PREPARACION DE MODULOS

Los módulos que se utilizaron para contener el sustrato y el cultivo fueron cajas de durapax con dimensiones de 0.46 x 0.30 x 0.11 m. Si cada caja tenía un área de 0.14 m², entonces 6 cajas aproximadamente constituían un área de 1 m² y ésta fue la unidad experimental (fig. A-1).

Se construyeron 4 tarimas de bambú con dimensiones de 6.5 m de largo por 0.80 m de ancho por 0.60 m de altura (fig. A-1), se colocaron las cajas. La separación entre tarimas fue de 0.60 m.

3.4 PREPARACION DE SUSTRATOS

Los sustratos utilizados fueron mezclas de piedra pómez más humus de lombriz.

La piedra pómez se tamizó para obtener una granulometría de 3mm y luego se desinfecto con agua caliente antes de realizar la mezcla.

El humus de lombriz se obtuvo en el beneficio Socra de la Ciudad de Chalchuapa y proviene de pulpa de café procesada por la lombriz. Al igual que el sustrato mineral, el humus se tamizó para lograr granulación homogénea.

Para calcular las cantidades de sustrato en cada tratamiento se procedió a llenar una caja de durapax al 100% con humus y se pesó el contenido obteniéndose 9.10 kg.

Tomando como base este dato se calcularon los demás niveles por regla de tres así: el tratamiento de 20% humus + 80% pómez contenía 1.82 kg. de humus y el resto se complementó con pómez; el de 40% humus + 60% pómez contenía 3.64 kg. de humus y el resto de pómez; el de 60% humus + 40% pómez contenía 5.45 kg. de humus y el resto de pómez; y el de 80% humus + 20% pómez contenía 7.27 kg. de humus y el resto de pómez.

Una vez establecidas las proporciones por tratamiento, se depositaron los sustratos en los módulos, se mezclaron y se homogeneizaron (cuadro 4).

CUADRO 4. Mezcla de sustratos mineral y orgánico por tratamiento, para la producción hidropónica de lechuga. Chalchuapa, 1998.

Tratamiento	Humus de lombriz (orgánico)		Piedra Pómez (mineral)
	%	kg.	%
Mezcla (T0)	0	-	100
Mezcla (T1)	20	1.82	80
Mezcla (T2)	40	3.64	60
Mezcla (T3)	60	5.45	40
Mezcla (T4)	80	7.27	20
Mezcla (T5)	100	9.10	0

3.5 ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DEL CULTIVO

El ensayo se realizó en dos periodos, en el primero se hizo una primera siembra de lechuga y en el segundo se volvió a sembrar el mismo cultivo utilizando los mismos módulos y sustratos de la primera siembra. Esto con el propósito de determinar el poder residual nutricional que posee el humus.

En ambos periodos de cultivo de lechuga, estas recibieron el mismo manejo agronómico. El primer período se realizó de Marzo a Abril y el segundo de Mayo a Julio del mismo año 1998.

3.5.1 Preparación de semillero

En ambos periodos se utilizó semilla de lechuga de la variedad "Grand Rapid", de hoja suelta y acolochada.

La siembra se realizó en forma directa en cada una de las mezclas o tratamientos y en forma simultanea se realizó un semillero en sustrato de piedra pómez. En la siembra directa se distribuyeron 5 posturas por caja, dejando tres semillas por postura. En el semillero se dejaron 3 surcos por caja, y la semilla se colocó a chorro seguido, dejando 50 semillas por surco.

El manejo de las cajas-semillero y los módulos de siembra directa, consistió en riegos diarios durante 3 semanas que duró esta etapa.

3.5.2 Traslante

Este se realizó a los 21 días después de la siembra cuando las plantas tenían de 3 a 4 hojas verdaderas y una altura aproximada de 12 a 14 cm. Esta actividad se realizó en horas frescas de la tarde, y se humedeció adecuadamente el sustrato para evitar el estrés de las plántulas.

Se sembraron 5 plántulas por caja, de manera que por metro cuadrado quedaron 30 plántulas (fig. A-1).

3.5.3 Riego

Debido a que el ensayo se realizó en la época seca, se estimó conveniente determinar la capacidad de almacenaje de agua de las diferentes combinaciones de sustrato humus- pómez. En primer lugar se estableció el punto de saturación de cada combinación de sustrato y luego, diariamente, se repuso el agua perdida.

Se determinó que el sustrato de piedra pómez es el que absorbe más agua para llegar a su punto de saturación, pero mantenía la humedad por más tiempo. Las combinaciones humus pómez e incluso el sustrato de humus tuvieron el mismo comportamiento, absorbiendo aproximadamente un 12% menos de agua que el sustrato de piedra pómez para llegar a su punto de saturación. Sin embargo, para mantener el contenido de agua hubo que aplicar diariamente un 33% más de manera que el sustrato de piedra pómez, en forma absoluta, se le aplicaron 4.5 lt. de agua/ caja para llegar a su punto de saturación y para el resto de combinaciones, incluyendo el sustrato de humus, se aplicaron 4.0 lt / caja.

Para mantener el contenido ideal de agua se aplicó, diariamente al primero 1.0 lt. de agua y para el resto 1.5 lt.

En el segundo periodo del ensayo no fue necesario controlar el riego, debido a que coincidió con el inicio de la época lluviosa.

3.5.4 Fertilización

La fertilización química convencional se realizó de acuerdo a un programa previamente establecido y solo se hizo al tratamiento testigo TO, o sea, 100% de piedra pómez, dicha fertilización consistió en aplicar Blaukorn (formula granulada) al sustrato complementada con la aplicación de Bayfolán que es un fertilizante foliar. La dosis de cada uno de estos fertilizantes aparecen en el cuadro 5.

CUADRO 5. Dosis de fertilizante químico sólido y líquido aplicado al cultivo hidropónico de lechuga. Chalchuapa, 1998.

APLICACIONES	FERTILIZANTE BAYFOLAN	LIQUIDO	dds
1	4 cc/lit de agua		25
2	7.5 " " " "		29
3	7.5 " " " "		32
4	7.5 " " " "		36
5	7.5 " " " "		39
APLICACIONES	FERTILIZANTE BLAUKORN	SÓLIDO	dds
1	3.5 gr / planta		25
2	3.5 gr / planta		32
3	3.5 gr / planta		39

dds = días después de siembra

La composición química del Baukorn y Bayfolan aparecen en el cuadro 6 y cuadro 7 respectivamente.

Para el caso de los tratamientos que contenían combinaciones de humus más piedra pómez no se aplicó fertilización química, pues se consideró que el contenido de humus de cada tratamiento sería la fuente de nutrimentos para las plantas de lechuga. El análisis químico del humus utilizado se expresa en el cuadro 8.

Para la fertilización foliar de estos tratamientos se aplicó un lixiviado obtenido del mismo humus de lombriz dos veces por semana coincidiendo con la fecha de aplicación del foliar químico. La cantidad de aplicación fue de 0.5 lit. /m²



CUADRO 6 Composición química del fertilizante Blaukorn.

NUTRIMENTOS	CANTIDAD (%)
ELEMENTOS MAYORES:	
Nitrógeno (N)	12
Fósforo (P205)	12
Potasio (k20)	17
ELEMENTOS MENORES:	
Magnesio	2
Azufre	6
Calcio	4.2
OLIGOELEMENTOS:	
Boro	0.02
Cobre	0.04
Manganeso	-
Molibdeno	0.0005
Zinc	0.01

Fuente : Bayer de El Salvador S.A.; Burton, B. T. (14, 21).

CUADRO 7 Composición química del Bayfolán.

ELEMENTO	CANTIDAD
SALES	P/ v
Nitrógeno	11 %
Fósforo	8 %
Potasio	6 %
QUELATOS	
Hierro (Fe)	0.0185 %
Cobre (Cu)	0.008 %
Cobalto (Co)	0.0004 %
Manganeso (Mn)	0.016 %
Zinc (Zn)	0.006 %
Molibdeno (Mo)	0.00095 %
Boro (B)	0.0113 %

Fuente: Química Hoechst de El Salvador (60)

CUADRO 8. Análisis químico del humus de lombriz utilizado en los tratamientos que contenían combinaciones de humus- piedra pómez.

ELEMENTO	COMPOSICION
TEXTURA	FINA
PH	6-7
MATERIA ORGANICA	32.00 %
HUMEDAD	45.00 %
NITROGENO	17.23 % s.s
FOSFORO	44.00 ppm
POTASIO	5900 ppm
CALCIO	3528 ppm
MAGNESIO	1.030 ppm
COBRE	0.1 ppm
HIERRO	46.4 ppm
MANGANESO	62.0 ppm
ZINC	6.7 ppm
SODIO	79.5 ppm
C.I.C.*	41 meq

Fuente : Laboratorio de FUSADES

* capacidad de intercambio catiónico

3.5.5 Control de Plagas y Enfermedades

El control de plagas y enfermedades también se realizó de acuerdo a un programa preestablecido y utilizando los métodos que se presentan en el cuadro 9.

CUADRO 9. Control de plagas y enfermedades utilizados en el cultivo hidropónico de lechuga. Chalchuapa, 1998..

CONTROL	DESCRIPCION	OBSERVACION
Cultural	-Uso de semilla certificada -Limpieza de malezas -Escardado del sustrato -Construcción de tarimas	-Prevención hongos y virus. -Evitar hospedero de plagas. -Evitar encharcamiento. -Evitar plagas del suelo y contaminación con suelo.
Físico	-Desinfección de piedra pómez con agua hirviendo	-Evitar enfermedades que se puedan propagar por medio del sustrato.
Natural	-Siembra intercalada de cebolla con la lechuga.	-Repelente de insectos.
Manual	-Eliminación manual de plagas.	-Evitar poblaciones altas de insectos.
Químico	-Desinfección de módulos de siembra con lejía. -Aplicación de folidol en madrigueras de zompopos.	-Evitar hongos y bacterias -Evitar ataques de zompopos en los primeros días de crecimiento de la lechuga.

3.5.6 Cosecha

La cosecha se realizó a los 24 días después del transplante o sea cuando las plantas tenían 45 días; a esa edad las plantas habían alcanzado su máximo desarrollo y estaban en su punto óptimo.

En total se cosecharon 10 plantas por cada tratamiento y repetición, y se seccionaron en raíz, tallo y hojas, para medir las variables.

3.6 METODOLOGIA ESTADISTICA

3.6.1 Diseño Estadístico

El diseño estadístico utilizado fue el completamente al azar, con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Se utilizó este diseño porque las condiciones ambientales (viento, luz, temperatura, precipitación, etc.) donde se estableció el experimento eran homogéneas, es decir, que actuaban uniformemente sobre las unidades experimentales; además, solo se tenía una fuente de variación que eran los tratamientos, es decir, las combinaciones de sustrato humus - piedra pómez.

3.6.2 Tratamientos en estudio

Estos consistieron en las combinaciones de seis niveles de sustratos (humus – piedra pómez) y el que tenía solo piedra pómez se consideró como testigo, tal como se describe en el cuadro 10.

CUADRO 10. Descripción de los tratamientos evaluados (humus - piedra pómez).

Tratamientos	Sustratos (%)		Cantidad de humus (kg.)	Descripción
	Humus-	piedra pómez		
T0(0%h + 100% pp)	0	100		Fert. química
T1(20%h + 80% pp)	20	80	1.82	Fert. orgánica
T2(40%h + 60% pp)	40	60	3.64	“ “
T3(60%h + 40% pp)	60	40	5.45	“ “
T4(80%h + 20% pp)	80	20	7.27	“ “
T5(100%h + 0% pp)	100	0	9.10	“ “

Donde T0 = Tratamiento Testigo

3.6.3 Modelo Estadístico

El modelo estadístico para un diseño completamente al azar se representa con la siguiente fórmula matemática: $Y_{ij} = u + t_i + E_{ij}$

Donde:

Y_{ij} = Característica bajo estudio observado en la parcela "j" y donde se aplicó
El tratamiento "i".

u = Media experimental

t_i = Efecto de tratamiento i

E_{ij} = Error experimental de la celda (i, j)

i = 1, 2, a = número de tratamientos

j = 1, 2, r = número de repeticiones de cada tratamiento.

3.6.4 Unidad experimental

Cada unidad experimental consistió de 6 cajas de durapax, las cuales hacían un área aproximada de 1 m². En total fueron 24 unidades experimentales, que se manejaron de igual forma asegurándose que la variación del experimento se debiera únicamente a los tratamientos en estudio. El área total del experimento fue de 24 m², con 6 m de largo y 5.8 m de ancho (fig. A-2).

3.6.5 Distribución estadística (ANVA)

Las fuentes de variación involucradas en el experimento, y que fueron separadas a través de la técnica del análisis de varianza, se presentan en el cuadro 11.

CUADRO 11. Distribución estadística de las fuentes de variación separadas con un diseño irrestricto al azar.

FUENTE DE VARIACION	GL	SC	CM	FC
TRATAMIENTO	a - 1	$1/n \sum y_i^2 - y^2/na$	S.C. Trat /a-1	C.M. Trat/ C.M.E.
ERROR EXPERIMENTAL	a (n-1)	S.C.Total - S.C.Trat.	<u>S.C. Error experimental</u> a (n-1)	
TOTAL	an-1	$\sum \sum y^2_{ij} - y^2/ra$		

YI = Representa el total para el tratamiento

y = Representa el gran total

3.6.6 Hipótesis a demostrar

Las hipótesis a demostrar, para cada variable respuesta fueron:

$H_0 = U_1 = U_2 \dots \dots \dots = U_n = 0$; lo que indica que no existe diferencia de efecto, se espera que los tratamientos que contienen las diferentes proporciones de humus tengan el mismo efecto que el testigo en el desarrollo de la lechuga.

$H_0 = U_1 \neq U_2 \dots \dots \dots \neq U_n \neq 0$; lo que indica que existen diferencias de efecto; se espera que los tratamientos con las diferentes proporciones de humus tengan efectos diferentes al testigo en cuanto al desarrollo de la lechuga.

Para determinar la diferencia entre los tratamientos a evaluar se trabajó con un nivel de significancia del 5% de probabilidad.

3.6.7 Prueba Estadística

Para establecer comparaciones entre medias de tratamiento se hizo la prueba de contrastes ortogonales, ya que ésta permite comparar un tratamiento contra un grupo de tratamientos y un

grupo de tratamientos contra otro grupo de tratamientos; además, es una prueba mas precisa.

3.6.8 Variables Evaluadas

3.6.8.1 Altura de las Plantas (cm)

La altura se midió a partir de la primera semana después del transplante, hasta el momento de la cosecha y se realizó con cinta métrica desde la superficie del sustrato hasta el ápice del par de hojas mas altas.

Para las dos periodos de experimentación, se procedió a la toma de datos de altura a los 7, 14, 21 y 24 días después del transplante.

La altura se tomó semanalmente a 6 plantas por repetición en cada tratamiento, al llegar el día de la cosecha se eligieron 10 plantas por repetición. Todas las plantas fueron muestreadas al azar.

3.6.8.2 Número de hojas

La determinación del número de hojas se realizó semanalmente a partir de la primera semana después del transplante hasta el momento de cosecha, contando el número de hojas de 6 plantas por repetición, al llegar a la cosecha se incrementó el número a 10 plantas por repetición y tratamiento. Todas las plantas fueron elegidas al azar.

3.6.8.3 Area foliar (dm²)

El área foliar se tomó al momento de la cosecha a las 10 plantas seleccionadas, y se obtuvo un promedio por planta. La medición se hizo con regla graduada tomando el largo por

el ancho de cada hoja. Se eligió este método por ser la lechuga de hojas simples, además, es un método de fácil aplicación en el campo. Este método también ha sido recomendado para estimación del área foliar en batata por ser también de hojas simples.

3.6.8.4 Peso fresco de hojas (g)

El peso fresco de las hojas se tomó al momento de cosechar. Se tomaron 10 plantas por repetición, o sea, 40 plantas por tratamiento, y enseguida se obtuvo el promedio por tratamiento. Antes de pesar las hojas se secaron con papel toalla para eliminar partículas de agua presentes.

3.6.8.5 Peso fresco de tallos (g)

Se tomaron 10 tallos por tratamiento y repetición. Antes de pesar las muestras se secaron con papel toalla para eliminar partículas de agua presentes en los mismos.

3.6.8.6 Peso fresco de raíz (g)

Para calcular el peso fresco se tomaron las raíces de 10 plantas por tratamiento y repetición. las raíces fueron cuidadosamente lavadas con agua para eliminar partículas de sustrato y se secaron con papel toalla antes de pesarlás.

3.6.8.7 Peso seco de hojas(g)

El peso seco de hojas se obtuvo de las 10 plantas cosechadas por tratamiento y repetición; las hojas fueron picadas e introducidas en bolsas de papel, perforadas y rotuladas., y luego se llevaron a estufa durante 48 horas a 70 °C, obteniéndose al final el peso seco promedio por tratamiento, utilizando para ello balanza semi-analitica.



3.6.8.8 Peso seco de tallo (g)

Para obtener el peso seco se fraccionaron los tallos de 10 plantas por tratamiento y repetición y se depositaron en bolsas de papel perforadas con sus respectivas identificaciones; luego se introdujeron en estufa por 48 horas a 70 ° C y posteriormente se pesaron y se obtuvo un peso promedio por tratamiento.

3.6.8.9 Peso seco de raíz (g)

Las mismas raíces utilizadas para el peso fresco se colocaron en bolsas perforadas con sus respectivas identificaciones y se mantuvieron en estufa por 48 horas a 70 °C, luego se pesaron y se obtuvo un promedio por tratamiento.

3.7 Evaluación económica

Uno de los principales criterios de evaluación de proyectos de investigación agrícola, es evaluar la producción desde el punto de la agregación de valor económico, para determinar la rentabilidad tomando en cuenta los costos y los precios de campo.

En la evaluación del ensayo de diferentes combinaciones de sustratos humus - piedra pómez, para la producción hidropónica de lechuga, el análisis permitirá elegir aquellos tratamientos que con menores costos que varían dejen una mejor rentabilidad.

El análisis económico de resultados comprenderá el presupuesto parcial, el análisis de dominancia, la curva de beneficio neto y la tasa de retorno marginal, tomando en cuenta los costos que varían a nivel de precio de campo en los dos periodos del ensayo.

3.7.1 Presupuesto parcial

El presupuesto parcial es el método que se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los costos y los beneficios de los tratamientos alternativos (diferentes

combinaciones de sustratos humus - piedra pómez). El análisis de este comprenderá determinar el beneficio bruto de campo, el total de costos que varían y el beneficio neto de campo.

3.7.2 Análisis de dominancia

El análisis de dominancia es la operación que se realiza ordenándose en un cuadro los tratamientos de menores a mayores costos que varían con su respectivo beneficio neto, con el propósito de determinar los tratamientos que con mayores costos tienen beneficio neto igual o menor a los de aquellos que con costos que varían mas bajos; es decir determinar que tratamientos resultan ser dominados.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 CARACTERISTICAS CLIMATICAS DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO

El lugar donde se realizó el ensayo esta ubicado a una altura de 710 m.s.n.m, por lo que las variables meteorológicas a los que estuvo sujeta la investigación fueron tomadas de la estación agroclimatológica El Palmar en el departamento de Santa Ana, que es la mas cerca a donde se realizó el ensayo.

Se obtuvieron los datos promedios mensuales de precipitación pluvial(mm), humedad relativa(%), luz solar (horas/luz), velocidad del viento (Km / h), el rumbo y la temperatura ambiental(°C) (cuadro 12).

CUADRO 12. Promedio mensuales de las variables meteorológicas registradas durante el periodo de realización del ensayo (Marzo - Julio de 1998) del cultivo hidropónico de lechuga en diferentes combinaciones de sustrato: humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

ELEMENTO METEOROLOGICO	UNIDAD	MESES					
		MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	PROMEDIO
Temperatura máxima	°C	33,2	33,2	31,8	30,1	30,4	31,74
Temperatura mínima	°C	17,2	17,6	19	19,5	18,5	18,36
Temperatura media	°C	24,3	25,1	24,6	23,7	23,8	24,3
Humedad relativa	%	63	66	72	81	70	70,4
Luz solar	horas/luz	9.33	8.14	6.89	6.80	6.42	7.51
Velocidad del viento	Km/ h	9,3	8,6	6,8	5,7	5,6	7,38
Precipitación	mm	11,9	67,7	197,4	338,3	301,1	183,28

Fuente: Almanaque meteorológico,1999 (51)

La lechuga es una hortaliza de climas frescos y requiere para el desarrollo apropiado de la parte aérea una temperatura óptima de 15°C a 18°C, con máximas de 24°C y mínimas de 7°C. En general puede decirse que la lechuga crece mejor cuando la temperatura se mantiene entre los 15°C y 21°C.

Para el primer periodo del ensayo que se realizó de marzo a abril se tuvo una temperatura media de 24.3 y 25.1°C.

Estas temperaturas están sobre el límite de los requerimientos óptimos para el buen desarrollo de la lechuga y fluctuaciones arriba de 21°C hacen que las plantas se vuelvan de textura débil y de sabor amargo (16).

En este período las lechugas del tratamiento T0 (100%PP) y T1(20%H+80PP) presentaron una conformación mas compacta y mayor desarrollo del área foliar, a pesar de que la temperatura fue ligeramente superior, lo mismo que la iluminación; por lo que se considera que la iluminación es un factor determinante en el desarrollo de la planta.

Para el segundo período, la evaluación se realizó de finales de mayo a principios de julio. En esa época se tuvo una temperatura media de 24.9°C con una máxima de 30.8°C y una mínima de 18.5°C. aunque hubo una menor temperatura así como la iluminación también fue menor, debido a la nubosidad, la conformación de las plantas fue menos compacta, teniendo a la vez un menor desarrollo foliar. Este comportamiento corrobora lo expresado anteriormente con relación a la iluminación (12, 16).

En general, se puede afirmar que bajo condiciones de temperatura relativamente elevada y con reducida iluminación, hay una tendencia de las plantas de lechuga a crecer en longitud(16)

La humedad relativa, aunque no se sabe como influye en el desarrollo de la lechuga, se aceptan valores de 60 a 80 %, aunque es conveniente que esté cerca de 60% (16); durante el primer período del ensayo tuvo un promedio de 64.5%, lo que pudo favorecer el crecimiento y desarrollo de las plantas en los tratamientos T0 y T1, coincidiendo este comportamiento con otros estudios en los que se menciona como valor óptimo 60%(16). En el segundo período la humedad relativa excedió del 60% llegando hasta 80%, por lo que se mantuvo en un valor aceptable para el cultivo, sin afectar su desarrollo. Sin embargo, no se presentaron problemas fitosanitarios bajo ninguna de las dos situaciones.

La velocidad del viento aparentemente no afectó el desarrollo del cultivo en ninguno de los dos períodos, aunque pudo favorecer el crecimiento al facilitar el intercambio de gases entre las plantas y el medio circundante.

La precipitación posiblemente haya sido un factor determinante en el segundo período del ensayo que presentó variaciones de 197.4 a 338.3 mm, ya que pudo haber contribuido al lavado de los inhibidores que estaban presentes en los sustratos que contenían las

mayores proporciones de humus, por lo que las plantas de lechuga presentaron un desarrollo normal en estos tratamientos. Sin embargo, en el primer periodo del ensayo, la precipitación mínima que se presentó no fue suficiente para lavar los inhibidores y por lo tanto los sustratos que contenían las mayores proporciones de humus (arriba del 20%) podrían haber provocado que el crecimiento y desarrollo de las plantas de lechuga fuera limitado.

4.2. ASPECTOS GENERALES DEL CULTIVO

4.2.1 Etapa de establecimiento

Pasados 10 días se observó que en los tratamientos testigo T0 (100% PP + FQ) y T1 (20% humus + 80% PP) se había logrado una buena emergencia, en cambio en el tratamiento T2 (40% h+ 60% PP) sólo se obtuvo una emergencia del 40%. En los demás tratamientos la emergencia fue nula.

En vista de este comportamiento se eliminaron las plántulas que habían emergido en las unidades experimentales y se trasplantaron las plántulas de las cajas semilleras.

En el segundo periodo el comportamiento fue similar pero menos marcado. Se observaron porcentajes de emergencia diferentes, notándose nuevamente, que a medida aumentaba la proporción de humus, la germinación era inhibida, aunque no en la misma magnitud que ocurrió en el primer periodo; Por lo que se procedió a trasplantar plántulas de las cajas semilleras a las unidades experimentales.

Esta inhibición de la germinación puede atribuirse a que el humus provenía de pulpa de café y la presencia de alcaloides como cafeína y taninos podrían haber funcionado como inhibidores de germinación. En el segundo periodo el porcentaje de germinación se incrementó, aunque esta fue desuniforme. Este incremento pudo deberse a que los sustratos habían recibido riego y lluvia, y como consecuencia la concentración de sustancias inhibitoras pudieron haber disminuido.

4.2.2 Etapa de Crecimiento Vegetativo

En el primer periodo del ensayo la altura de las plantas fue diferente en todos los tratamientos (cuadro 13, fig. A-3); el mayor crecimiento se obtuvo con el tratamiento T1 (20% H + 80% PP), superando en un 28% al testigo T0 (100%PP+ FQ) que en su orden fue el segundo. Los demás tratamientos fueron inferiores a éste ultimo en un 88%. Este comportamiento observado durante el primer periodo, fue el mismo para las demás variables analizadas.

Las diferencias de crecimiento que presentó la lechuga para el primer periodo pueden estar relacionadas con la composición del humus de lombriz, ya que a medida que se aumentó la proporción de éste, el crecimiento en altura fue cada vez menor. Tal como ocurrió con la germinación, las sustancias que contiene el humus, por su proveniencia, podrían en alguna forma influir en el crecimiento.

En el segundo periodo, las plantas de lechuga mostraron crecimiento bastante homogéneo en los tratamientos de mezcla de humus - piedra pómez; posiblemente debido al lavado de sustancias inhibidoras de crecimiento, por efecto del riego y la lluvia. Este comportamiento, lo mostraron a los 7,14, 21 y 24 días en que se midió la altura promedio de planta y al final de este periodo los tratamientos no presentaron diferencia en el crecimiento; sin embargo, el testigo(100% pp), mostró un menor crecimiento de las plantas, aproximadamente un 17% menos respecto a las combinaciones de humus - pómez, comportamiento que también se aprecia en las demás variables.

Cuadro 13. Altura promedio de plantas de lechuga (cm) en periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus - pómez. Chalchuapa, 1998.

TRATAMIENTO		PERIODO I				PERIODO II			
		7DDT	14DDT	21 DDT	24 DDT	7DDT	14DDT	21DDT	24 DDT
T0	0%H+100%PP	6.27	10.66	15.50	17.65	8.70	12.13	15.75	22.26
T1	20%H+80%PP	7.86	13.30	19.98	22.63	10.48	14.79	18.66	26.21
T2	40% H+60%PP	5.46	8.63	12.19	15.49	9.89	15.10	19.75	25.65
T3	60%H+40%PP	5.0	7.41	10.59	12.93	10.54	16.27	20.60	26.28
T4	80%II+20%PP	4.68	6.26	9.54	11.22	11.22	15.96	21.41	26.68
T5	100%H+0%PP	4.10	5.54	7.02	8.40	8.48	15.31	20.37	25.89

DDT = Días después del transplante

H = Humus

PP = Piedra pómez

4.2.3 Presencia de Plagas y su Control

Las plagas que se detectaron durante el ciclo del cultivo de la lechuga, durante el primer periodo del experimento fueron: zompopos (*Atta* sp), tortugilla (*Diabrotica valteata* y *D. Viridula*) y mosca blanca (*Bemisia tabaci*). Los zompopos se observaron en los alrededores de los módulos, pero no afectaron el ensayo. Su control se realizó aplicando folidol en polvo a las madrigueras. Las tortuguillas y mosca blanca se presentaron en forma aislada y sin causar ningún daño económico al cultivo. Las primeras aparecieron durante la segunda y tercera semana después del transplante, y se eliminaron manualmente. La mosca blanca se controló eliminando las plantas silvestres que estaban en los alrededores.

En el segundo periodo solamente se detectaron tortuguillas y pulgones (*Aphis* sp). Las tortuguillas no ocasionaron ningún daño al cultivo, e igual que en el primer periodo se controlaron manualmente. Los pulgones aparecieron en la última semana del cultivo afectando solamente a las plantas del tratamiento testigo, por lo que no se aplicó ningún control.

Las bajas poblaciones de insectos que se presentaron pudieron deberse a que se sembró cebolla intercalada con la lechuga, lo que pudo haber repelido a los insectos durante los dos periodos del ensayo.

4.3 VARIABLES ANALIZADAS

4.3.1 altura de planta.

El análisis de varianza para la altura de planta al momento de la cosecha (cuadro 14), tanto en el primero como en el segundo periodo del experimento, determina que existe diferencia significativa entre los tratamientos, lo que significa que en ambos periodos existe uno o más tratamientos que ejercen efectos diferentes.

Cuadro 14. Análisis de varianza para Altura de plantas de lechuga (cm) a la cosecha, en periodos I y II, con diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998

ANVA PERIODO I						ANVA PERIODO II			
F de V	G.L	S.C	C.M	F cal	F tab 5%	S.C	C.M	F cal	F tab 5%
TRATAMIENTOS	5	508.2140333	101.6428067	17.75*	2.71	52.57093750	10.51418750	3.48 *	2.71
ERROR EXPERIMENTAL	18	103.0833500	5.726828			54.44062500	3.02447917		
TOTAL	23	611.2973833				107.01156250			

Para determinar los tratamientos que resultaron mejores estadísticamente, se realizó el análisis de contraste ortogonales (cuadro 15).

Cuadro 15. Prueba de contraste ortogonales para la altura de plantas de lechuga para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustratos Humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

PERIODO I						PERIODO II			
F de V	G.L	S.C	C.M	F cal	F tab 5%	S.C	C.M	F.C	F tab 5%
Tratamientos	5	508.214333	101.6428067	17.75*	2.71	52.50937	105.1418750	3.48 *	2.71
C1 T0 - T1T2T3T4T5	1	41.2309633	41.2309633	7.20 *	4.41	50.1166873	50.11668750	16.57 *	4.41
C2 T1 - T2T3T4T5	1	360.5703200	360.5703200	62.96 *	4.41	0.0628125	0.02628125	0.01 n.s	4.41
C3 T2 - T3T4T5	1	64.6816333	64.6816333	11.29*	4.41	1.18755708	1.18755208	0.39 ns	4.41
C4 T3 - T4T5	1	25.854504	25.854504	4.51*	4.41	0.00010417	0.00010417	0.00 ns	4.41
C5 T4 - T5	1	15.8766125	15.8766125	2.77ns	4.41	1.2431250	1.2431250	0.41 n.s	4.41
ERROR EXP.	18	103.0833500	5.726828			54.440625	3.02447917		
TOTAL	23	611.2973833				107.011562			

En el cuadro 15, el contraste C1 para el primer periodo muestra que existe diferencia significativa del tratamiento testigo T0(100% PP + FQ) contra el resto de los tratamientos, lo cual significa que los tratamientos con las diferentes proporciones de humus – piedra pómez ejercieron efectos diferentes al testigo respecto a la altura de planta

Al analizar los contrastes C2, C3 y C4 también existe diferencia significativa lo cual indica que los tratamientos T1, T2, T3 Y T4 (20, 40, 60 Y 80% humus respectivamente) ejercen efectos diferentes entre si y entre los tratamientos T4 Y T5(80% H y 100% H).

Para el Contraste C5 que contiene los tratamientos T4 y T5 estos no presentaron diferencia significativa, es decir que dichos tratamientos ejercen efectos estadísticamente iguales.

Para el segundo periodo se observa que el contraste C1 presentó diferencia significativa, lo cual indica que el tratamiento testigo resultó estadísticamente diferente contra los demás tratamientos. Sin embargo los contrastes desde C2 a C5 resultaron no significativos, por lo cual los tratamientos que contenían las diferentes proporciones de humus resultaron estadísticamente iguales.

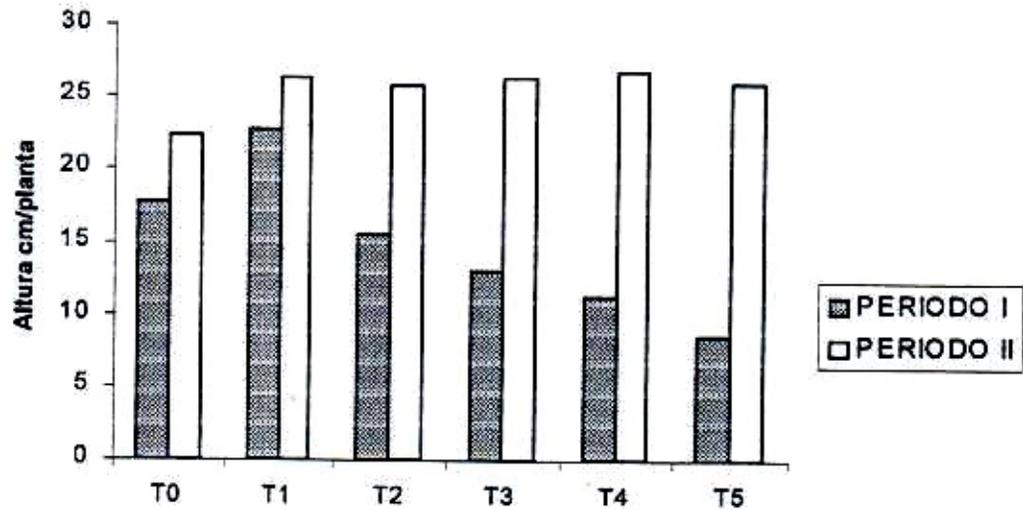
Al analizar la altura promedio por planta (cuadro 16 y figura 1.) para el primer periodo, se ve que el tratamiento donde se obtuvo mayor altura fue el de 20% humus + 80% piedra pómez(T1) con 22.63 cm, sobrepasando en un 28% al testigo o sea el de 100% piedra pómez (T0) que presentó una altura de 17.65 cm.

Al analizar la altura promedio de planta por tratamiento en el segundo periodo (cuadro 16), se ve que los tratamientos que contenían las proporciones de 20%, 60% y 80% de humus (T1, T3 y T4 respectivamente) fueron similares en altura; donde el tratamiento T4:(80% H), tuvo una altura promedio de 26.68 cm / planta, el cual le siguen el tratamiento T3: con una altura de 26.28 cm / planta y el tratamiento T1 con una altura de 26.21 cm / planta.

El tratamiento T1 mostró un 18% de altura más que el tratamiento testigo T0 (100% PP + FQ), el cual presento una altura promedio de 22.26. cm/ planta.

Cuadro 16. Altura promedio de plantas de lechuga (cm) a la cosecha en periodos I y II, en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

TRATAMIENTO	PERIODO I	TRATAMIENTOS	PERIODO II
Combinaciones (%) Humus (H) – Piedra Pómez (PP)	Altura (cm)	Combinaciones (%) Humus (H) – Piedra Pómez (PP)	Altura (cm)
T1 (20% H – 80% PP)	22.63	T4 (80% H – 20% PP)	26.68
T0 (0% H – 100% PP)	17.65	T3 (60% H – 40% PP)	26.28
T2 (40% H – 60% PP)	15.49	T1 (20% H – 80% PP)	26.21
T3 (60% H – 40% PP)	12.93	T5 (100% H – 0% PP)	25.89
T4 (80% H – 20% PP)	11.22	T2 (40% H + 60% PP)	25.65
T5 (100% H – 0% PP)	8.40	T0 (0% H – 100% PP)	22.26



Tratamientos Humus -Piedra pómez
Fig. 1 Altura promedio (cm) de plantas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato: humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.



Tanto en la fig. 1 como en el cuadro 16 anterior se observa que los tratamientos donde se obtuvieron los mejores resultados para el primer periodo del experimento son el tratamiento T1 (20%H) y el tratamiento testigo T0 (100% PP+FQ) observando que los tratamientos que contenían las mayores proporciones de humus mostraron un comportamiento decreciente en el crecimiento, este comportamiento posiblemente pudo deberse a que el humus utilizado pudo haber contenido sustancias inhibitoras del crecimiento ya que la procedencia de este era de pulpa de café. Muchos trabajos de análisis químicos que se han realizado con la pulpa de café demuestran que en este residuo orgánico existen varias sustancias como la cafeína, taninos, ácidos caféicos y otros, pero que actúan como inhibidores del crecimiento (18, 53); es posible que estos compuestos, como la cafeína y los taninos principalmente inhibieron el crecimiento de las plantas de lechuga y al aumentar la proporción de humus se potencializaba la acción de estas sustancias.

En el segundo periodo que coincidió con la época lluviosa, el crecimiento de las plantas en altura fue uniforme y no significativo en los tratamientos que contenían las diferentes proporciones de humus; sin embargo todos éstos superaron al testigo. Este comportamiento pudo deberse al lavado de los compuestos inhibitoras del crecimiento por efecto del riego y de la lluvia, así como también a las características que tiene el humus de liberar lentamente los nutrientes le permitió una mejor disponibilidad de los mismos. Por otro lado, el tratamiento testigo se vio afectado por el lixiviado de nutrientes, ya que por ser un fertilizante químico sintético no le permitió retener ni restituir los nutrientes lixivados.

Otro factor que pudo haber influido positiva o negativamente en el crecimiento tanto en el primero como en el segundo periodo en los tratamientos que contenían las mayores proporciones de humus fue la temperatura del sustrato. En estos tratamientos tendían a aumentar la coloración oscura del sustrato lo cual está relacionado con la mayor absorción de calor y como lo explica Baver L. la rapidez del crecimiento de la lechuga esta relacionado con la temperatura del suelo y su rendimiento puede disminuir a temperatura mayores de 27.9° (13, 16).

En el primer periodo pudo tener una connotación negativa y en el segundo pudo ser

positivo, ya que ésta superó en un 73% al primer periodo en cuanto a la altura de planta, en promedio general de tratamientos, lo cual podría explicar también la mayor altura alcanzada en el segundo periodo. Es de tomar en cuenta también, que durante el segundo periodo, la nubosidad pudo haber estimulado el alargamiento del tallo.

4.3.2 Número de hojas

De acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 17) para la variable número de hojas en el primer periodo del experimento, resulto ser estadísticamente significativo, lo cual indica que existe uno o mas tratamientos que ejercen efectos diferentes sobre dicha variable. Al efectuar el mismo análisis para el segundo periodo se observa que no hubo diferencia significativa, por lo cual todos los tratamientos ejercieron efectos iguales sobre la variable número de hojas.

Cuadro 17. Análisis de varianza para el número de hojas de lechuga a la cosecha, en periodos I y II, en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato: humus - piedra pómez. Chalchuapa. 1998

ANVA PERIODO I						ANVA PERIODO II			
F de V	G.L.	S.C	C.M	F cal.	F tab 5%	S.C	C.M	F cal	F tab 5%
TRATAMIENTOS	5	181.6733333	36.3346667	21.08*	2.71	3.22708333	0.64541667	0.20ns	2.71
ERROR EXPERIMENTAL	18	31.0200000	1.7233333			58.83250000	3.2684222		
TOTAL	23	212.6933333				62.05958333			

Debido a que hubo diferencia significativa para el primer periodo del ensayo se realizó la prueba de contrastes ortogonales, para determinar el mejor tratamiento; no siendo necesario para el segundo periodo (Cuadro 18)

Cuadro 18. Prueba de contrastes ortogonales para el número de hojas en periodos I, en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

PERIODO I					
F de V.	G.L.	S.C	C.M	F.C	F.T
Tratamientos	5	181.6733333	36.3346667	21.08*	2.71
C1-T0 - T1T2T3T4T5	1	17.480333	17.480333	10.14*	4.41
C2-T1 - T2T3T4T5	1	127.0080000	127.0080000	73.70*	4.41
C3-T2 T3T4T5	1	17.7633333	17.7633333	10.37*	4.41
C4-T3 - T4T5	1	12.7604167	12.764167	7.40*	4.41
C5-T4 - T5	1	6.6612500	6.6612500	3.87 ns	4.41
ERROR EXP.	18	31.0200000	1.7233333		
TOTAL	23	212.6933333			

El cuadro anterior muestra que los contrastes C1, C2, C3 Y C4 presentan diferencia significativa, lo cual indica que los tratamientos T0 (100% PP +FQ), T1, T2 y T3 (20,40 y 60% humus respectivamente) ejercen efectos diferente entre sí en cuanto a número de hojas. Sin embargo al analizar el contraste C5, este resultó no significativo, lo que determina que los tratamientos T4 (80% H) y T5 (100% H) ejercieron el mismo efecto sobre el número de hojas.

El comportamiento del número de hojas de lechuga por tratamiento para los dos periodos de experimentación se muestra en el cuadro 19 y fig 2. donde se muestra comparativamente los resultados.

Cuadro 19. Número de hojas promedio de plantas de lechuga a la cosecha en periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

TRATAMIENTOS	PERIODO I	TRATAMIENTOS	PERIODO II
Combinaciones (%) Humus (H) – Piedra Pómez (PP)	Nº de Hojas/ Planta	Combinaciones (%) Humus (H) – Piedra Pómez (PP)	Nº de hojas/ Plantas
T1 (20% H + 80% PP)	13.73	T1 (20% H + 80% PP)	15.25
T0 (0% H + 100% PP)	10.98	T5 (100% H + 0% PP)	14.78
T2 (40% H + 60% PP)	9.28	T4 (80% H + 20% PP)	14.70
T3 (60% H + 40% PP)	8.28	T3 (60% H + 40% PP)	14.63
T4 (80% H + 20% PP)	7.0	T2 (40% H + 60% PP)	14.58
T5 (100% H + 0% PP)	5.18	T0 (0% H + 100% PP)	14.0

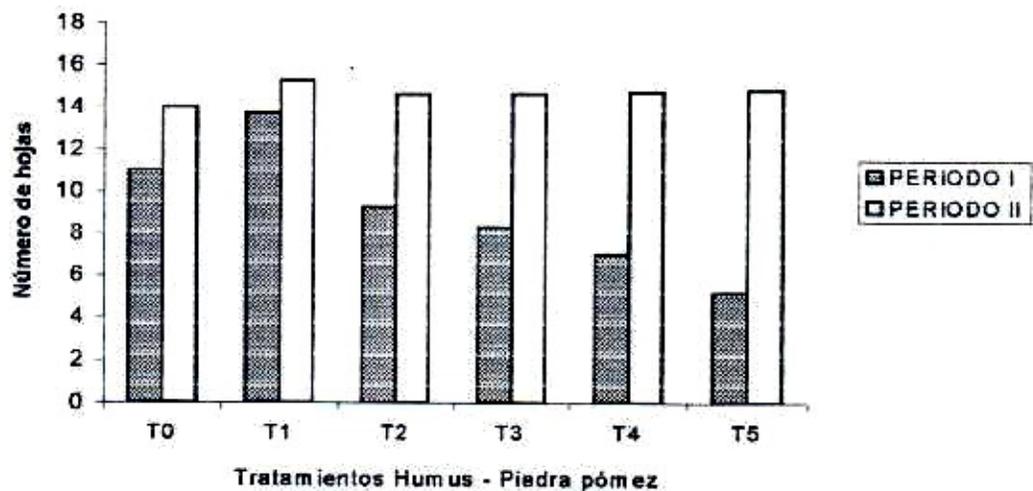


Fig. 2 Número de hojas promedio de plantas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus -piedrapómez. Chalchuapa, 1998.

En el cuadro 19 y figura 2 se ve que el mejor tratamiento en cuanto a número de hojas para el primer período del experimento fue el T1 con un promedio de 13.73 hojas por planta, superando al tratamiento testigo T0 (100% PP+ FQ) el cual produjo un promedio de 10.98 hojas por planta.

El tratamiento T1 logro superar al testigo en un 20%; a si mismo éste superó a los demás que contenian las mayores proporciones de humus (T2, T3, T4 y T5), en donde se observa que a medida aumenta la proporción de humus hay una disminución del número de hojas.

En el resto de los tratamientos que contenian las proporciones de humus superiores al 20%, el crecimiento y desarrollo se vio afectado por la posible presencia de inhibidores, como alcaloides del tipo de la cafeina que pudieron estar presentes en el humus procedente de la pulpa de café (18, 57, 53).

En el segundo período, con respecto al número de hojas, el comportamiento de todos los tratamientos de las combinaciones humus – piedra pómez fue similar, presentando un número de hojas superior a 14, destacándose entre ellos el tratamiento T1 (20% H + 80% PP) lo cual pudo deberse al hecho de que este periodo coincidió con la época lluviosa lo que pudo haber provocado una lixiviación de las sustancias químicas que existieran dentro de los sustratos, como por ejemplo inhibidores del crecimiento, y que por el hecho de ser solubles pudieron ser eliminados parcial o totalmente. Por lo que en este periodo todos los tratamientos que contenian humus fueron superiores al tratamiento testigo en el cual se aplicó la fertilización química. Esta situación puede deberse a la mejora de las características físicas y químicas de los sustratos combinados, es decir, que mejoró la fertilidad y las condiciones de retención y disponibilidad de nutrientes.

4.3.3 Area foliar

El análisis de varianza para la variable área foliar durante el primer periodo del experimento muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos en estudio, comportamiento que también se observa en el análisis de varianza para el segundo periodo

del mismo. Este resultado indica que existen uno o más tratamientos con efectos diferentes sobre dicha variable (cuadro 20).

Cuadro 20. Análisis de varianza para el área foliar de plantas de lechugas(dm²) a la cosecha, para periodos I y II, en el ensayo de diferentes combinaciones de sustratos humus pómez - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

ANVA PERIODO I						ANVA PERIODO II			
F de V	G.L.	S.C	C.M	F cal.	F tab 5%	S.C	C.M	F cal	F tab 5%
TRATAMIENTOS	5	169914.7756	33982.9551	35.50*	2.71	15771.49187	3154.29837	7.34*	2.71
ERROR EXPERIMENTAL	18	17229.2104	957.1784			7731.05333	429.50296		
TOTAL	23	187143.9860				23502.54520			

Para determinar el tratamiento que mejor resultado obtuvo se realizó la prueba de contrastes ortogonales, tanto para la primera como para el segundo período del experimento (Cuadro 21).

En el cuadro 21 se observa que para el primer período del experimento, el contraste C1 muestra que al comparar el tratamiento testigo (T0:100% PP+FQ) respecto a los tratamientos que contenían las diferentes combinaciones humus T1, T2, T3, T4, y T5 presentan diferencias significativas.

Al analizar los contrastes C2, C3, C4 y C5 se observa que los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 presentan diferencia significativa entre sí, es decir, que las diferentes proporciones de humus ejercen efectos diferentes en cuanto a área foliar.

En el segundo período del experimento, el contraste C1 muestra que al comparar el tratamiento testigo respecto a los tratamientos que contenían las diferentes proporciones de humus presentan diferencia significativa.

Cuadro 21. Prueba de contrastes ortogonales para el área foliar de plantas de lechuga para períodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustratos humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

PERIODO I						PERIODO II			
F de V	G.L	S.C	C.M	F cal.	F tab 5%	S.C	C.M	F cal	F tab. 5%
Tratamientos		169914.7756	33982.9551	35.50*	2.71	15771.49187	3154.29837	7.34*	2.71
C1=T0 - T1T2T3T4T5	1	17920.8744	17920.8744	18.72*	4.41	9612.121001	9612.121001	22.38*	4.41
C2=T1 - T2T3T4T5	1	123292.8897	12392.8897	128.81*	4.41	5433.2913	5433.2913	12.65*	4.41
C3=T2 - T3T4T5	1	17428.8463	1748.8463	18.21*	4.41	74.5257	74.5457	0.17 ns	4.41
C4=T3 - T4T5	1	5842.8242	5842.8242	6.10*	4.41	111.4997	11.499704	0.26 ns	4.41
C5=T4 - T5	1	5429.3410	5429.310	5.67*	4.41	540.054113	540.054113	1.26 ns	4.41
ERROR EXP.	18	17229.2104	957.1784			7731.05333	429.50296		
TOTAL	23	187143.9860				23502.5452			

En el contraste C2 se observa que al comparar el tratamiento T1 respecto a los demás tratamientos que tienen diferentes proporciones de humus, presentan diferencia significativa.

Al observar los contrastes C3, C4 y C5 muestran que los tratamientos contrastados no presentan diferencia significativa, es decir, que ejercen efectos estadísticamente iguales sobre la variable en estudio.

Al observar el cuadro 22 y figura 3 para el primera periodo, el tratamiento T1 obtuvo un área foliar promedio de 42.34 dm² por planta superando al tratamiento testigo T0 en un 71% que presento un área foliar promedio por planta de 24.67 de dm²/planta.

Cuadro 22. Area foliar (dm^2) promedio de plantas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

TRATAMIENTO	PERIODO I	TRATAMIENTO	PERIODO II
Combinaciones (%) Humus (H) - Piedra Pómez (PP)	Area foliar $\text{dm}^2/\text{planta}$	Combinaciones (%) Humus (H) - Piedra Pómez (PP)	Area foliar $\text{dm}^2/\text{planta}$
T1 (20%H + 80% PP)	42.34	T4 (80% H + 20%PP)	28.29
T0 (0%H + 100% PP)	24.67	T3 (60%H + 40% PP)	27.90
T2 (40%H + 60% PP)	15.65	T2 (40%H + 60%PP)	26.45
T3 (60%H + 40%PP)	10.29	T5 (100%H + 0% PP)	26.02
T4 (80%H + 20%PP)	7.24	T1 (20%H + 80%PP)	21.95
T5 (100%H + 0%PP)	2.66	T0 (0%H + 100%PP)	17.25

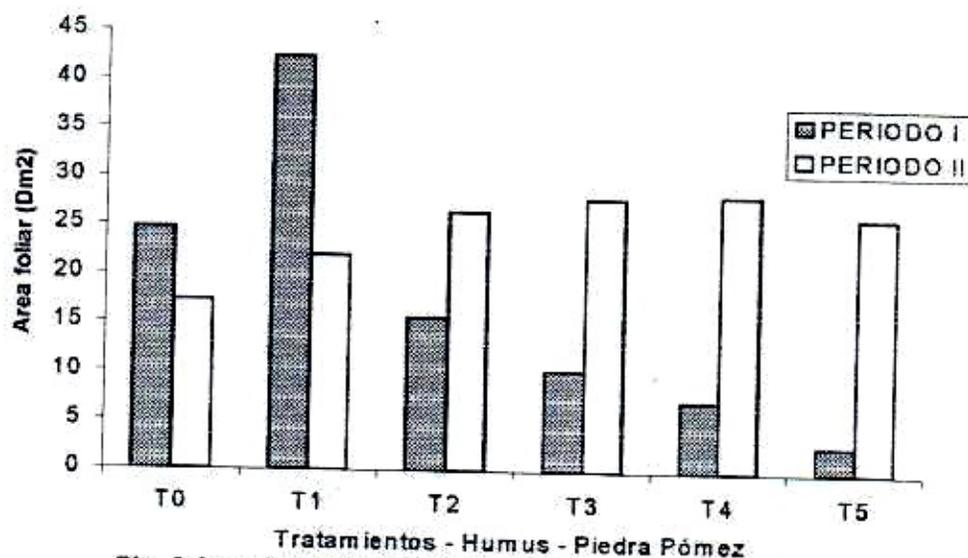


Fig. 3 Area foliar promedio (dm^2) de plantas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato: humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

Sin embargo el tratamiento T0 (100%PP+FQ) superó a los tratamientos T2 (20%H) y T3 (40% H) en un 90% y a los tratamientos T4 (80%H) y T5 (100% H) en más de 5 veces, ya que estos dos últimos tratamientos presentaron un área promedio de $7.24 \text{ dm}^2 / \text{planta}$ y $2.66 \text{ dm}^2 / \text{planta}$ respectivamente.

Al analizar el tratamiento T1 (20% H + 80% PP) contra los tratamientos que contienen diferentes proporciones de humus el cuadro de medias, nos muestra que dicho tratamiento superó a los demás que contenían mayores proporciones de humus(Cuadro 22), notándose que a medida aumenta la proporción de humus disminuye considerablemente el área foliar.

El mismo cuadro de medias de tratamiento muestra que para el segundo periodo del experimento el tratamiento testigo T0 (100% PP+FQ) produjo un área foliar de 17.25 dm^2 y el área foliar promedio producida por las combinaciones de humus – piedra pómez fue de 26.12 dm^2 lo que significa que los tratamientos con diferentes proporciones de humus produjeron en promedio más de 50% con relación al tratamiento testigo T0, conformado por un sustrato mineral y fertilización química. Sin embargo el tratamiento T1 (20% H) supera al testigo solamente en un 27% el cual produjo 21.95 dm^2 de área foliar; en cambio el resto de tratamientos (T2, T3, T4 y T5) superaron al tratamiento T1 en un 24% mas de área foliar, esto puede explicarse por el hecho de que en el segundo período los tratamientos con mayores proporciones de humus se vieron menos afectados por la lixiviación de nutrientes, lo cual le permitió una mayor disponibilidad de los mismos, demostrando así el poder residual del humus. Para el tratamiento testigo por tener una fertilización química no le fue posible retener y recuperar los nutrientes lixiviados, limitando así su nutrición y traslocación de nutrientes a la parte foliar.

El desarrollo del área foliar para el tratamiento T1 durante el primer periodo podría deberse, en primer lugar, a que la concentración de inhibidores del crecimiento no afectó el crecimiento y desarrollo de las plantas de lechuga; por tanto, este comportamiento garantizó una mayor eficiencia fotosintética y traslado de fotoasimilados hacia la parte foliar. Esto último lo confirma Archila P(10), que trabajando en el análisis de crecimiento de materiales de lechuga, explica que en un suministro adecuado de

fotoasimilados garantiza la obtención de mayores valores de área foliar. En segundo lugar pudo deberse a una mayor eficiencia en la absorción de los nutrimentos y principalmente nitrógeno, ya que según explica Crosft (27), éste elemento tiene efectos específicos en el aumento del crecimiento de hojas.

Por su parte, los tratamientos que tenían mayores proporciones de humus presentaban una declinación acentuada para esta variable, lo cual, podría deberse a la presencia de inhibidores del crecimiento, posiblemente alcaloides como la cafeína presentes en la pulpa de café que se utilizó para la elaboración del humus.

Para el segundo período, debido al exceso de lluvias podría haberse reducido la concentración de inhibidores por lixiviación dando como resultado mayores rendimientos de área foliar en los tratamientos que contenían mayores proporciones de humus. Mientras tanto los tratamientos T0(100% PP+FQ) y T1 (20%H +80% PP) pudieron haber sido afectados por lixiviación de nutrimentos debido al exceso de lluvias, ya que contenían poco o nada de humus. Es de mencionar también, que en este período los rendimientos de peso seco de tallo fueron mayores en un 259 y 241% para los tratamientos T0 y T1 respectivamente, por lo que la traslocación de nutrientes para esta parte de la planta pudo haber afectado el rendimiento en área foliar para estos tratamientos.

4.3.4 Peso fresco de hoja

El análisis de varianza para la variable peso fresco de hojas, muestra que hay diferencia significativa entre los tratamientos evaluados, tanto para el primero como para el segundo período del experimento, lo cual indica que las diferentes combinaciones de sustrato humus – pómez ejercen efectos diferentes sobre dicha variable (Cuadro 23).

Para conocer el efecto de los mejores tratamientos sobre dicha variable se realizó la prueba de contrastes ortogonales (cuadro 24).

Cuadro 23. Análisis de varianza para el peso fresco (g) de hoja de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus - pómez. Chalchuapa, 1998.

ANVA PERIODO I						ANVA PERIODO II			
F de V	GL	S.C	C.M	F cal.	F tab 5%	S.C	C.M	F cal	F tab 5%
TRATAMIENTOS	5	1247.991979	249.598396	15.43*	2.71	256674.6303	51334.9261	3.90*	2.71
ERROR EXPERIMENTAL	18	291.184450	16.176914			237181.5168	13176.7509		
TOTAL	23	1539.176428				493856.1471			

Cuadro 24. Prueba de contrastes ortogonales para el peso fresco de hojas de lechuga para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustratos humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

ANVA PERIODO I						ANVA PERIODO II			
F de V	GL	S.C	C.M	F cal.	F tab 5%	S.C	C.M	F cal	F tab 5%
Tratamientos	5	1247.991979	249.598396	15.43	2.71	256674.630	51334.9261	3.90*	2.71
C1=T0 - T1T2T3T4T5	1	96.2576954	96.2576954	5.95*	4.41	84286.9609	84286.9609	6.40*	4.41
C2=T1 - T2T3T4T5	1	805.4323257	805.4323257	49.83*	4.41	79824.0413	70824.0413	5.37*	4.41
C3=T2 - T3T4T5	1	158.9893786	158.9893786	9.83*	4.41	101009.4101	101009.4101	7.67*	4.41
C4=T3 - T4T5	1	104.3317918	104.3317918	6.45*	4.41	78.0483	78.0483	0.01 ns	4.41
C5=T4 - T5	1	82.9807872	82.9807870	5.13*	4.41	476.1698	476.1698	0.04 ns	4.41
ERROR EXP.	18	291.184450	16.176914			237181.5168	13176.7509		
TOTAL	23	1539.176428				493856.1471			

En el cuadro 24, el contraste C1 para el primer período muestra que el tratamiento testigo (T0: 100%PP+FQ) respecto a los tratamientos que contenían las diferentes combinaciones de humus (T1: 20% H ; T2 : 40% H ; T3 : 60% H ; T4 : 80% Y T5 : 100% H) Presentan diferencia significativa, lo que indica que estos tratamientos ejercen efectos estadísticamente diferentes sobre el peso fresco de hoja respecto al testigo.

Al analizar los contraste del C2 al C5 que corresponden a los tratamientos que contenían las diferentes proporciones de humus, muestran diferencia significativa, es decir que los tratamientos T1: 20%H; T2: 40%H; T3: 60%H; T4: 80%H y T5: 100%H, son estadísticamente diferentes entre sí.

En el segundo periodo el contraste C1 muestra que el tratamiento testigo (T0: 100% PP+ FQ) es significativamente diferente a los tratamientos que contienen distintas proporciones de humus; luego el contraste C2 y C3 muestran que el tratamiento T1: 20% H y T2: 40% H son significativamente diferentes entre ellos y a los demás tratamientos. En el mismo período se observa que los contrastes C4 y C5 no presentan diferencia significativa entre ellos, es decir, que los tratamientos T3, T4 y T5 son iguales estadísticamente.

Al analizar el cuadro de medias para el primer período (cuadro 25, figura 4) se observa que el mejor tratamiento fue el T1: 20 H + 80% PP, con un peso promedio de 84.46g por planta superando al tratamiento testigo (T0:100% PP+ FQ) en un 79.00% que obtuvo un rendimiento promedio de 46.94 g/ planta.

Al analizar los promedios de peso fresco de hoja del segundo periodo, los tratamientos que contienen diferentes proporciones de humus – piedra pómez resultan mejores en peso fresco de hojas que el tratamiento testigo (T0:100% PP+FQ), siendo éste el que menor rendimiento obtuvo, y representa un 34% menos de peso fresco de hojas de lechuga en este segundo periodo.

En la figura 4 se observa que para el primer período del experimento el tratamiento que mayor peso fresco obtuvo fue el T1(20%H), siguiéndole el tratamiento testigo (T0:100% PP+FQ); luego se observa que los tratamientos que contenían las diferentes proporciones

Cuadro 25. Peso fresco promedio(g) de hojas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

TRATAMIENTOS	FASE I	TRATAMIENTOS	FASE II
Combinaciones (%) Humus(H) – Piedra Pómez (PP)	Peso fresco de hojas g/ planta de lechuga	Combinaciones (%) Humus (H) – Piedra Pómez (PP)	Peso fresco de hojas g/ planta de lechuga
T1 (20% H – 80% PP)	84.46	T5 (100%H – 0%PP)	70.18
T0 (0%H – 100% PP)	46.94	T3 (60%H – 40% PP)	69.95
T2 (40%H – 60% PP)	35.43	T4 (80%H – 20% PP)	68.63
T3 (60% H – 40%PP)	25.53	T2 (40%H – 60% PP)	51.25
T4 (80% H – 20%PP)	17.0	T1 (20%H – 80% PP)	50.12
T5 (100% H – 0%PP)	4.11	T0 (0%H – 100% PP)	46.12

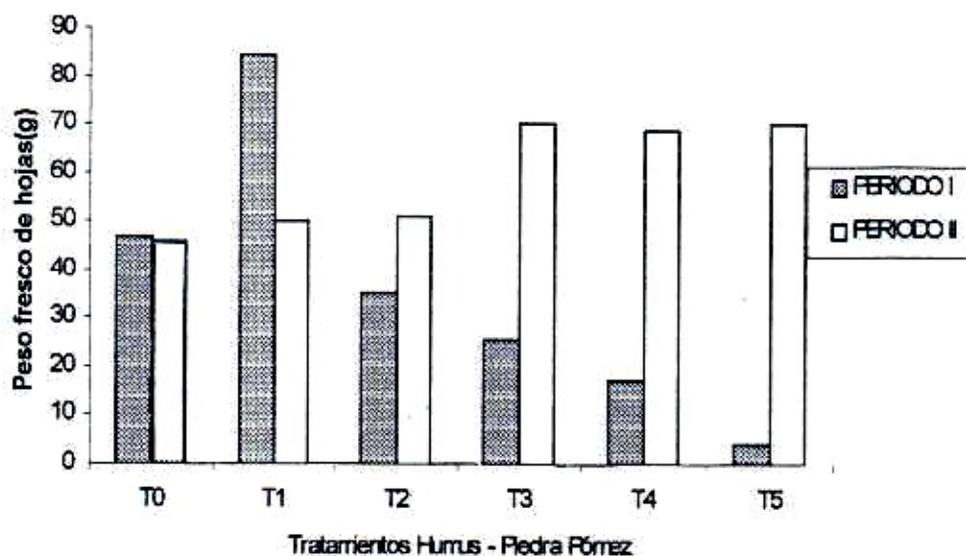


Fig. 4 Peso frespromedio (g) de hojas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato: humus - piedra pómez. Chalchuapa 1998.

de humus, a medida que aumentaba la proporción de éste el rendimiento en peso fresco de hoja se ve disminuido en forma proporcional a partir del tratamiento T2 (40% H). Esto posiblemente se debió a la presencia de inhibidores del crecimiento en el humus procedente de la pulpa de café, que ocasiono una disminución del crecimiento y desarrollo de todas las partes de la planta, y por ende su peso.

Mientras tanto el incremento en peso fresco de hojas de los tratamientos T0: 100% PP+FQ y T1: 20% H. Se debió al aumento del crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas de lechuga favorecido por el desarrollo radical, lo que les permitió una mejor absorción de agua y nutrimentos. Este comportamiento favoreció una mejor relación entre fotosíntesis y respiración que como la explica Croft. F (27), estos procesos son los que determinan el rendimiento de los cultivos. A esto hay que agregarle que la absorción equilibrada de los elementos esenciales en el tratamiento T1(20% H) pudo haber estimulado un ahorro del agua, permitiendo crear con igual volumen de líquido, mayor cantidad de materia seca, tal como lo explica Mela Mela p. (50).

En el segundo período se observa que los tratamientos T3 (60% H), T4 (80% H) y T5 (100% H) presentaron los mayores rendimientos de peso fresco de hojas, lo cual pudo deberse a que el exceso de lluvia que se presentó en este período provoco una disminución significativa de la concentración de los inhibidores del crecimiento que estaban presentes en el humus, permitiendo un crecimiento y desarrollo apropiado de la lechuga, siendo éstos últimos, estimulados por una mayor disponibilidad en el tiempo de nutrimentos y de agua, ya que la nutrición de la planta se interrelaciona de manera importante con el factor agua; además la producción de materia seca esta en función del agua absorbida y esta es la que arrastra los nutrimento a través de toda la planta (29, 71). Estos resultados ponen en evidencia el poder residual que tienen el humus en cuanto al aprovisionamiento de elementos esenciales y retención de agua; además de mejorar las características físicas del sustrato mineral.

4.3.5 Peso fresco de tallo.

El análisis de varianza para el primer período del experimento, muestra que existe

diferencia significativa entre los tratamientos en estudio, es decir que los tratamientos ejercen efectos diferentes sobre el peso fresco de tallo. Sin embargo el análisis de varianza para el segundo período muestra que no hay diferencia significativa entre los tratamientos en estudio, lo cual indica que los efectos de los tratamientos sobre la variable analizada son estadísticamente iguales (cuadro 26).

Cuadro 26. Análisis de varianza para el peso fresco (g) de tallo de plantas de lechuga a la cosecha para períodos I y II, en de diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

ANVA PERIODO I						ANVA PERIODO II			
F de V	G.L	S.C	C.M	F cal.	F tab 5%	S.C	C.M	F cal	F tab. 5%
TRATAMIENTOS	5	182.7712608	36.554252	18.81*	2.71	10459.75833	2091.95167	1.13 n.s	2.71
ERROR EXPERIMENTAL.	18	34.9854938	1.9436385			33369.55500	1853.86417		
TOTAL	23	217.7567546				43829.31333			

Como en el primer periodo el análisis de varianza muestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos, se realizó la prueba de contrastes ortogonales (cuadro 27) para determinar los tratamientos que produjeron mejores efectos sobre el peso fresco de tallo.

Según el cuadro 27 para el contraste C1 muestra que no existe diferencia significativa entre el tratamiento testigo T0 (100% PP+FQ), con fertilización química tradicional, respecto a los tratamientos que contenían diferentes proporciones de humus (20,40,60,80 y 100% respectivamente). Lo cual significa que el tratamiento testigo ejerce efectos estadísticamente igual a los que contenían las diferentes proporciones de humus. Al analizar los tratamientos que contenían las diferentes proporciones de humus se ve que los contrastes C2 y C3 resultaron tener diferencia significativa, lo cual indica que los tratamientos T1(20% H) y T2 (40% H) son diferentes entre sí y a los demás tratamientos. Sin embargo al analizar los contrastes C4 y C5, estos resultaron no tener

diferencias significativas lo que determina que los tratamientos T3, T4 Y T5 (60, 80 y 100% de humus respectivamente) ejercen efectos iguales en el rendimiento de peso fresco de tallo. El comportamiento de los tratamientos en cuanto a peso fresco de tallo se muestra en el cuadro 28 y fig. 5.

Cuadro 27. Prueba de contrastes ortogonales para el peso fresco de tallo de planta de lechuga para período I, en el ensayo de diferentes combinaciones de sustratos humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

PERIODO I					
F de V	GL	S.C.	C.M	Fcal.	F tab
Tratamientos	5	182.7712608	36.5542522	18.81 *	2.71
C1= T0 - T1T2T3T4T5	1	8.3256351	8.3256351	4.28 ns	4.41
C2= T1 - T2T3T4T5	1	159.0299218	129.0299218	81.82 *	4.41
C3= T2 - T3T4T5	1	10.191102	10.1901102	5.24 *	4.41
C4= T3 - T4T5	1	1.2407430	1.2407430	0.64 ns	4.41
C5= T4 - T5	1	3.9848507	3.9848507	2.05 ns	4.41
ERROR EXP	18	341.9854938	1.9436385		
TOTAL	23	217.7567546			

Al analizar los pesos promedios de peso fresco de tallo (cuadro 28 y Fig. 5) en el primer período, se observa que el tratamiento con mejor resultado fue el T1 (20% H) con un rendimiento de peso de fresco de tallo de 10.47 gramos por planta, superando a los tratamientos que contenían mayores proporciones de humus y al testigo en una proporción de 6 veces más en rendimiento de peso fresco de tallo.

Este comportamiento pudo deberse al efecto de las sustancias inhibitoras como la

Cuadro 28. Peso fresco promedio(g) de tallo de plantas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

TRATAMIENTOS	PERIODO I	TRATAMIENTOS	PERIODO II
Combinaciones (%) Humus(H) - Piedra Pómez (PP)	Peso fresco de Tallo g / planta	Combinaciones (%) Humus (H) - Piedra Pómez (PP)	Peso fresco de Tallo g / planta
T1 (20% H - 80% PP)	10.47	T4 (80%H - 20% PP)	19.41
T0 (0%H - 100% PP)	3.75	T1 (20%H - 80% PP)	17.73
T2 (40%H - 60% PP)	2.08	T2 (40%H - 60% PP)	15.95
T4 (80% H - 20% PP)	1.11	T3 (60%H - 40% PP)	15.91
T3 (60% H - 40% PP)	1.01	T5 (100%H - 0% PP)	15.46
T5 (100% H - 0% PP)	0.84	T0 (0%H - 100% PP)	12.62

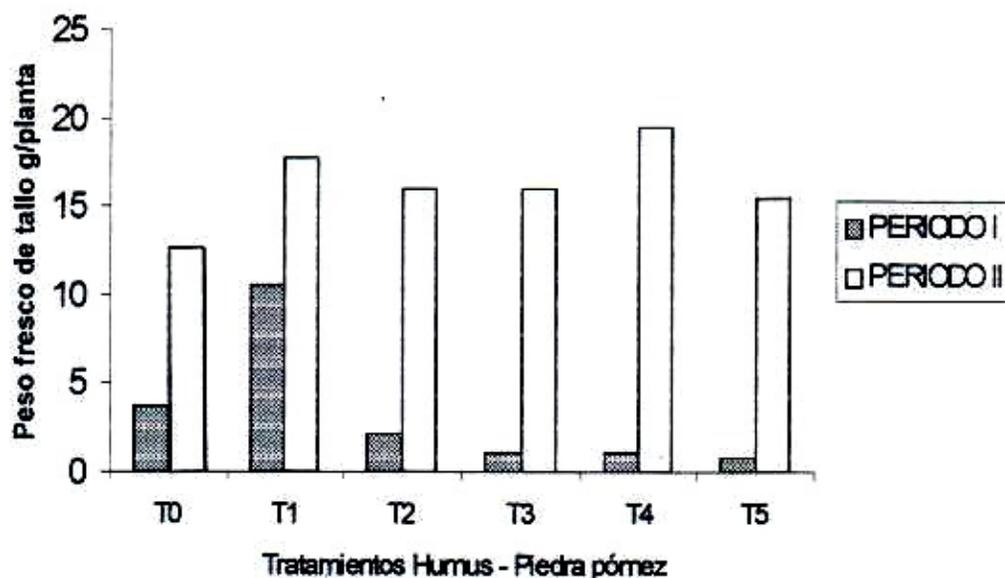


Fig. 5 Peso fresco promedio (g) de tallo de plantas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato: humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

cafeína, alcaloide, que posiblemente se encuentra en el humus proveniente de la pulpa de café (18, 37, 53). Este alcaloide posiblemente pudo haber inhibido el crecimiento normal de las plantas obteniéndose así tallos poco desarrollados y raquíticos.

Al comparar este resultado para el segundo período puede decirse que hubo un notable incremento de 5 veces más en promedio general de peso fresco de tallo para todos los tratamientos respecto al primer período. Para el segundo período el tratamiento que produjo un mayor rendimiento de peso fresco de tallo fue el T4 (80% H) al cual le siguen los tratamientos T1, T2, T3 y T5. Estos últimos resultaron a la vez superiores en un 28% más al testigo T0 (100% PP+FQ), sin embargo todos los tratamientos ejercieron efectos estadísticamente iguales.

Este comportamiento pudo deberse a que este período coincidió con la época lluviosa lo que provocó que hubiera una lixiviación de los alcaloides presentes en las combinaciones humus - piedra pómez permitiendo esto el desarrollo normal del tallo.

4.3.6 Peso fresco de raíz

El análisis de varianza (cuadro 29) para la variable peso fresco de raíz determinó que existen diferencias significativas en los períodos I y II del experimento, lo que significa que existe en cada uno de los períodos uno o más tratamientos que ejercieron efectos diferentes sobre dicha variable.

Cuadro 29 Análisis de varianza para el peso fresco (g) de raíz de plantas de lechuga a la cosecha para períodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustratos humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

ANVA PERIODO I						ANVA PERIODO II			
F de V	G.L	S.C	C.M	F cal.	F tab 5%	S.C	C.M	F cal.	F tab. 5%
TRATAMIENTOS	5	14.46420689	2.89284138	9.25*	2.71	17.30434167	3.46086833	4.02*	2.71
ERROR EXPERIMENTAL	18	5.63194770	0.31288598			15.51219381	0.86178877		
TOTAL	23	20.09615459				32.81653948			

Para determinar los tratamientos que resultaron mejores en cada una de las fases se realizó la prueba de contrastes ortogonales (cuadro 30).

Cuadro 30. Prueba de contrastes ortogonales para el peso fresco de raíz de plantas de lechuga, para períodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

Fuente de V.	ANVA PERIODO I					ANVA PERIODO II			
	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	F tab 5%	S.C.	C.M.	F cal.	F tab 5%
Tratamientos	5	14.4642068	2.89284138	9.25 *	2.71	17.3043416	3.46086833	4.02 *	2.71
C1=T0 - T1T2T3T4T5	1	2.29980120	2.29980120	7.19 *	4.41	0.19906772	0.19906772	0.23 n.s	4.41
C2=T1 - T2T3T4T5	1	4.04682980	4.04682980	12.93 *	4.41	12.27576210	12.27576210	24.24 *	4.41
C3=T2 - T3T4T5	1	3.45220642	3.45220642	11.03 *	4.41	1.39590062	1.39590062	1.62 n.s	4.41
C4=T3 - T4T5	1	3.26846625	3.26846625	10.45 *	4.41	1.37326007	1.37326007	0.59 n.s	4.41
C5=T4 - T5	1	1.49690322	1.49690322	4.62 *	4.41	2.06035116	2.06035116	2.39 n.s	4.41
ERROR EXP.	18	5.63194770	0.31288598			15.512197	0.86178877		
TOTAL	23	20.09615459				32.816539			

Al analizar el cuadro 30 se observa que para el primer periodo del experimento el contraste C1, resulto significativo, lo que indica que el tratamiento testigo T0 (100% PP+FQ) con fertilización química tradicional produjo efecto diferente en el peso fresco de raíz respecto a los tratamientos que contenían las diferentes proporciones de humus; sin embargo al analizar los contrastes C2, C3, C4 y C5 se ve que también presentaron diferencia significativa lo cual señala que los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 ejercieron efectos diferentes entre si en cuanto al peso fresco de raíz.

En el segundo periodo del experimento el contraste C1 resulto no significativo, lo que indica que el tratamiento testigo presento efecto estadisticamente igual a los tratamientos que contenian las distintas proporciones de humus en el rendimiento de peso fresco de raiz.

Al analizar el contraste C2, este muestra diferencia significativa donde el tratamiento T1 (20% H) es mejor a todos los demas tratamientos de las diferentes proporciones de humus. Luego los contrastes C3, C4 y C5 resultaron no significativos, por lo que los tratamientos con 40, 60, 80 y 100% de humus ejercen el mismo efecto en el rendimiento de fresco de raiz.

El comportamiento de peso fresco de raiz por tratamiento se muestra en el cuadro 31 fig. 6 donde se muestra comparativamente los resultados de los dos periodos del experimento.

Al analizar el cuadro 31 y fig. 6 de rendimiento promedio de peso fresco de raiz para el primer periodo, se observa que el tratamiento T1 (20% H) presento el mejor peso fresco de raiz con un promedio de 1.29 gr. por planta. El cual presento 5 % de peso fresco de raiz mas que el tratamiento testigo, que tuvo un peso de 1.23g por planta. En el caso de los tratamientos 40, 60, 80 y 100% de humus presentan un peso fresco de raiz inferior al tratamiento testigo y T1. Es posible que el comportamiento de estos ultimos tratamientos (T2, T3, T4 y T5) se debio a la presencia de alcaloides en el humus de pulpa de cafe, los cuales interfirieron en el desarrollo del sistema radical de la lechuga.

Al analizar el rendimiento promedio de peso fresco de raiz por tratamiento (Cuadro 31 y Fig. 6) para el segundo periodo, el tratamiento que presento el mayor peso fresco de raiz en terminos absolutos fue el tratamiento T1(20% H) el cual produjo un peso de 4.72 g. por planta superando en mas de un 88% de peso fresco al tratamiento T0, el cual presento un peso de 2.51 g. por planta. Este ultimo fue superado tambien por el tratamiento T2(40%H) en un 18% en rendimiento de peso fresco de raiz.

Al comparar los resultados del primero con los del segundo periodo del ensayo se puede discernir que el peso fresco de raiz de lechuga aumento en una proporcion de 3 veces mas en este ultimo periodo, este comportamiento pudo deberse a que para el segundo periodo el



Cuadro 31. Peso fresco de raíz promedio (g) de plantas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustratos humus - piedra pómez, Chalchuapa, 1998.

TRATAMIENTOS	PERIODO I	TRATAMIENTOS	PERIODO II
Combinaciones (%) Humus(H) - Piedra Pómez (PP)	Peso fresco de Raíz g/ planta	Combinaciones (%) Humus (H) - Piedra Pómez (PP)	Peso fresco de Raíz g/ planta
T1 (20% H - 80% PP)	1.29	T1 (20%H -80% PP)	4.72
T0 (0%H - 100% PP)	1.23	T2 (40%H -60% PP)	2.96
T2 (40%H - 60% PP)	1.12	T3 (60%H - 40% PP)	2.62
T3 (60% H - 40% PP)	0.88	T0 (0%H - 100% PP)	2.51
T4 (80% H - 20% PP)	0.51	T4 (80%H - 20 %PP)	2.43
T5 (100% H - 0% PP)	0.20	T5 (100%H - 0% PP)	1.50

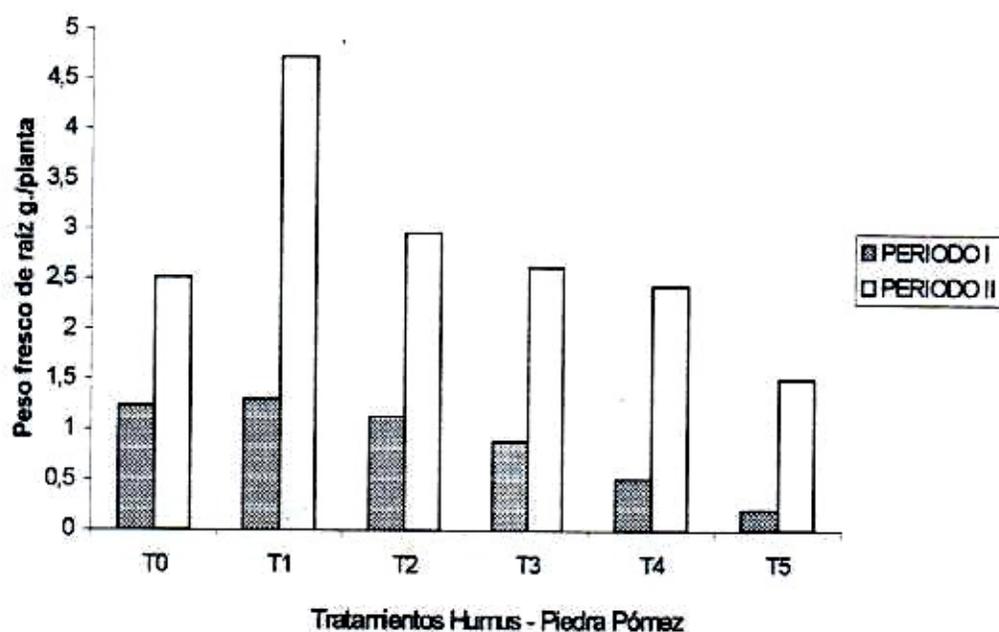


Fig 6. Peso fresco promedio (g) de raíz de plantas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato: humus - piedra pómez.

agua lluvia pudo haber lavado las sustancias inhibidoras que limitaron en algún momento el crecimiento y desarrollo normal de la raíz.

Es de hacer notar que el efecto depresivo del inhibidor en las raíces no fue tan pronunciado como en el desarrollo de tallos y hojas.

4.3.7 Peso seco de hoja

El análisis de varianza para la variable peso seco de hoja durante el primer período del experimento resultó estadísticamente significativo, lo cual indica que existe uno o más tratamientos que ejercieron efectos diferentes sobre dicha variable. Sin embargo, al realizar el mismo análisis para el segundo período se observó que no hubo diferencia significativa por lo cual todos los tratamientos ejercieron efectos iguales sobre la variable peso seco de hoja (cuadro 32).

Cuadro 32. Análisis de varianza para el peso seco (g) de hojas de lechuga a la cosecha, para períodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

ANVA PERIODO I						ANVA PERIODO II			
F de V	G.L	S.C	C.M	F cal.	F tab 5%	S.C	C.M	F cal	F tb. 5%
TRATAMIENTOS	5	37.12554931	7.42510986	10.87*	2.71	1096.9487500	39.3897500	0.72 n.s	2.71
ERROR EXPERIMENTAL	18	12.36001289	0.68333405			978.2875000	54.3493056		
TOTAL	23	49.42556220				1175.2362500			

Debido que para el primer período existió diferencia significativa, se ha realizado la prueba de contrastes ortogonales (cuadro 33) para ver los tratamientos que resultaron mejores, no así para el segundo período, por que todos los tratamientos ejercieron el mismo efecto en el peso seco de hoja.

En el cuadro 33 se observa que el contraste C1 resulto ser no significativo lo cual significa que el tratamiento testigo T0 (100% PP) respecto a los tratamientos de las diferentes proporciones de 20 a 100% de humus, ejercieron el mismo efecto en la producción de peso seco de hoja.

Cuadro 33. Prueba de contrastes ortogonales para el peso seco de hojas de lechuga, para periodo I, en diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

PERIODO I					
F de V	G.L.	S.C.	C.M	F.C.	FT
Tratamientos	5	37.12554931	7.42510986	10.87*	2.71
C1=T0 - T1T2T3T4T5	1	0.2943437323	0.294343732	0.43 n.s.	4.41
C2=T1 - T2T3T4T5	1	20.49741285	20.49741285	30.0 *	4.41
C3=T2 - T3T4T5	1	7.48924501	7.48924501	10.96 *	4.41
C4=T3 - T4T5	1	3.91423457	3.91423457	5.73 *	4.41
C5=T4 - T5	1	4.93028365	4.93028365	7.22 *	4.41
ERROR EXP.	18	12.30001289	0.68333405		
TOTAL	23	49.42556220			

Sin embargo a analizar los contrastes C2, C3, C4 y C5, estos mostraron tener diferencias significativa que demuestra que los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 son diferentes entre si, es decir, produjeron rendimientos diferentes en el peso seco de hoja.

Al analizar los promedios de peso seco de hojas (cuadro 34 fig 7) se observa que para el primer periodo el mejor tratamiento fue el T1 (20% H), el cual produjo un rendimiento promedio en peso seco de hoja igual a 3.95g por planta, superando al tratamiento T0 (100%PP+FQ) en un 90% y al T2 (40% H) en un 58% los cuales obtuvieron rendimientos de peso seco hoja de 2.49 y 2.07g. por planta respectivamente;

Cuadro 34. Peso seco de hojas (g) de lechuga a la cosecha, para periodos I y II, en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa 1998.

TRATAMIENTOS	PERIODO I	TRATAMIENTOS	PERIODO II
Combinaciones (%) Humus(H) - Piedra Pómez (PP)	Peso seco hoja g/ planta	Combinaciones (%) Humus (H) - Piedra Pómez (PP)	Peso seco hoja g/ planta
T1 (20% H + 80% PP)	3.95	T5 (100%H + 0%PP)	3.57
T2 (40%H + 60% PP)	2.49	T1 (20%H + 80% PP)	3.43
T0 (0%H + 100% PP)	2.07	T3 (60%H + 40%PP)	3.31
T3 (60% H + 40% PP)	1.79	T2 (40%H + 60% PP)	3.12
T4 (80% H + 20% PP)	1.43	T4 (80%H + 20%PP)	2.99
T5 (100% H + 0% PP)	0.57	T0 (0%H + 100% PP)	2.71

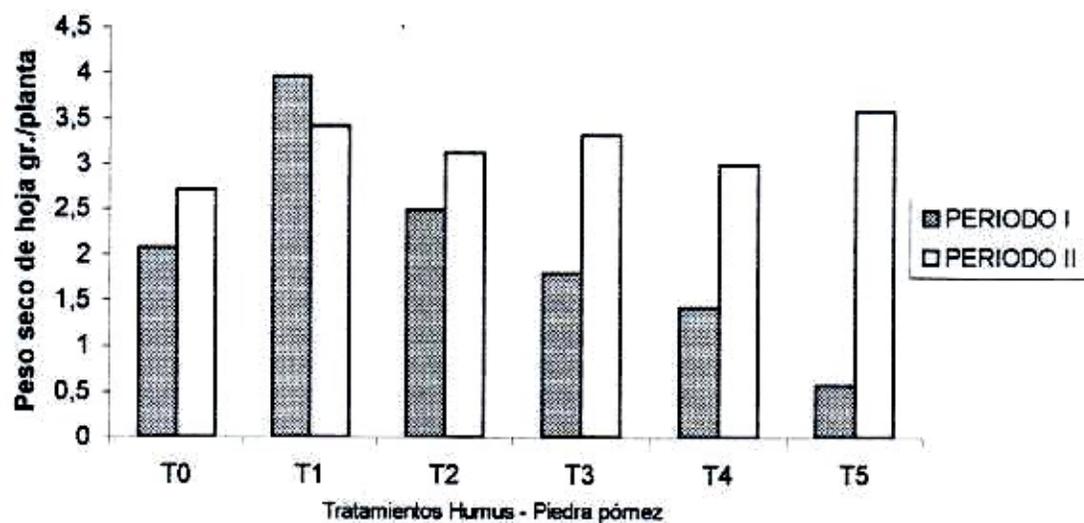


Fig. 7 Peso seco promedio (g) de hojas de plantas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato: humus -piedra pómez. Chalchuapa, 1998.



estos tres últimos tratamientos superaron en producción de peso seco en más del 100% al promedio de los tratamientos con 60,80 y 100% de humus respectivamente.

En el cuadro 34 y Fig. 7 se observa que para el primer periodo del experimento, los mejores resultados en el peso seco de hoja se obtuvieron con el tratamiento T1 (20% H) el cual fue superior al tratamiento testigo (100% PP+FQ) y los demás tratamientos que contenían las diferentes proporciones de humus, los cuales muestran una tendencia decreciente en el rendimiento de peso seco de hoja a medida que aumentaba la proporción de 40% a 100% de humus en las diferentes combinaciones de sustratos.

Este comportamiento posiblemente se debió a que las sustancias inhibidoras presentes en el humus de pulpa de café pudieron haber provocado inhibición en las estructuras de crecimiento de la planta (18). De forma tal, que al aumentar la concentración de humus pudo haber aumentado la concentración de inhibidores, lo cual provocó un peso de materia seca de hoja cada vez menor.

Es de hacer notar que para el primer periodo, el tratamiento que mayor eficiencia fotosintética mostró fue el T1, reflejándose dicho comportamiento en el rendimiento de masa seca foliar, ya que según Archila, J. P. et (10) el 90% del peso seco de una planta se deriva de la fotosíntesis.

En el segundo periodo se observa que no hubo variación significativa de peso seco de hoja entre los tratamientos, es decir, que hubo producciones uniformes de materia seca de hoja entre los tratamientos. Este comportamiento pudo deberse a que para el segundo periodo el agua de la época lluviosa, pudo haber lavado las sustancias inhibidoras, presentes en el humus, lo cual permitió un crecimiento normal de la planta.

Es de hacer notar que el rendimiento de peso seco de hoja para el tratamiento T1, en el primer periodo no fue superado por ningún tratamiento en el segundo periodo, aunque en este periodo se obtuvo un 55% de materia seca foliar más que para el primer periodo; donde se obtuvo un rendimiento promedio de 2.05g por tratamiento.

Es de mencionar que aunque en este segundo periodo se obtuvo mayor materia seca foliar en promedio por tratamiento y las plantas de lechuga presentaron una mayor

elongación del tallo, con un desarrollo foliar bastante acusado en longitud, no siendo así el desarrollo de las plantas de lechuga del primer período.

Esto lo explica Bernard M. et al (16) al decir que cuando la temperatura es muy elevada en relación a la iluminación, la lechuga forma hojas largas y estrechas con deficiente formación de cogollo, es por esto que las lechugas del segundo período, que coincidió con la época de invierno, presentaron tales características de desarrollo.

4.3.8 Peso seco de tallo

El análisis de varianza para la variable peso seco de tallo, durante el primer período del experimento, este resultó ser significativo, lo cual indica que existe una ó más tratamientos que ejercen efectos diferentes sobre dicha variable, sin embargo al realizar el mismo análisis para el segundo período del experimento este demostró que no existe diferencia significativa en los tratamientos evaluados, por lo cual todos los tratamientos ejercieron efectos estadísticamente iguales sobre la variable, peso seco de tallo (cuadro 35).

Cuadro 35. Análisis de varianza para el peso seco (g) de tallo de plantas de lechuga a la cosecha para períodos I y II, en diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

ANVA PERIODO I						ANVA PERIODO II			
F de V	G.L	S.C	C.M	F cal	F tab. 5%	S.C	C.M	F cal	F tab. 5%
TRATAMIENTOS	5	5.06026500	1.01205300	13.54*	2.71	1.27156433	0.25431287	0.98ns	2.71
ERROR EXPERIMENTAL	18	1.34504686	0.07472483			4.65604911	0.25866940		
TOTAL	23	6.40531186				5.92761344			

Dado que para el primer período de la evaluación existe una diferencia significativa en los tratamientos, se realizó la prueba de contrastes ortogonales (cuadro 36) para observar

que tratamientos resultaron ser mejores. Para el segundo periodo del mismo, dicha prueba no fue necesario realizarla debido a que no hubo significancia entre los tratamientos.

Cuadro 36. Prueba de contrastes ortogonales para el peso seco de tallo de plantas de lechuga en periodo I, en diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

PERIODO I					
F de V	G.L.	S.C	C.M	F.C	F.T
Tratamientos	5	5.06026500	1.01253000	13.54*	2.71
C1=T0 - T1T2T3T4T5	1	0.41378489	0.41378489	5.54*	4.41
C2=T1 - T2T3T4T5	1	4.21646807	4.21646807	56.43*	4.41
C3=T2 - T3T4T5	1	0.28311470	0.28311470	3.79 ns	4.41
C4=T3 - T4T5	1	0.14492715	0.14492715	1.94 ns	4.41
C5=T4 - T5	1	0.00197019	0.00197019	0.03 ns	4.41
ERROR EXP.	18	1.34504685	0.07472483		
TOTAL	23	6.40531186			

En el cuadro 36 el contraste C1 muestra que al comparar el tratamiento testigo (T0:100% PP+FQ) contra los tratamientos que contenían diferentes proporciones de humus (20, 40, 60, 80 y 100% respectivamente) presentan diferencia significativa, lo que significa que el tratamiento T0 ejerce efectos estadísticamente diferentes sobre la variable en estudio respecto a las demás. El contraste C2 que corresponde a los tratamientos que contienen las diferentes proporciones de humus muestra que existe diferencia significativa lo que al observar el cuadro de promedios de medias resulta mejor el tratamiento T1.

Por otra parte en los contrastes C3, C4 y C5 resultaron no significativos, o sea que los tratamientos con 40, 60, 80 y 100% de humus respectivamente son estadísticamente iguales entre sí.

Para el segundo período a pesar de que no existe diferencia significativa entre los tratamientos se puede decir que en términos absolutos el T1, T4 y T2 resultaron superiores en peso seco de tallo, tal como se observa en el cuadro comparativo de medias, mientras que el tratamiento testigo resultó con un peso seco inferior a los tratamientos que contenían las diferentes proporciones de humus.

Al analizar las medias de los tratamientos para el primer período (cuadro 37, fig. 8) se observa que el T1 (20% H) resultó mejor, con un rendimiento de 0.49 g por planta, superando al testigo en más 80% de su peso, el cual obtuvo un peso seco de 0.27 g por planta.

En el cuadro 37 y figura 8 se observa que en el primer período el tratamiento que produjo mayor peso seco de tallo por planta fue T1(20% H) siguiendo el tratamiento testigo (100% PP+FQ) luego se observa una disminución de peso seco a medida que aumenta la proporción de humus. Este comportamiento posiblemente se debió a que los tratamientos que contenían mayores proporciones de humus se vieron afectados por la presencia de inhibidores de crecimiento presentes en el humus procedente de pulpa de café que afectaron el desarrollo normal de las plantas, limitando así la producción de materia seca de tallo.

En el segundo período el peso seco de tallo en los tratamientos, en general, se vio favorecido en una proporción de 5 veces más, con relación a los pesos secos de tallo del primer período (como se observa en el cuadro 37 y Fig. 8). Esto pudo deberse a que el exceso de lluvia que se presentó en esta época podría haber lavado o disminuido la concentración de sustancias inhidoras presentes en el humus, sobre todo en aquellos tratamientos que poseían mayores proporciones de humus.

El incremento de peso seco de tallo en este segundo período pudo deberse a que hubo un mayor traslado y aprovechamiento de fotoasimilados hacia dicho órgano respecto al primer período, consecuencia de una mayor actividad fotosintética de su sistema foliar. Este resultado demuestra el poder residual que tiene el humus para la nutrición de la planta, a pesar de la lixiviación a que fueron sometidos los tratamientos en este período.

Cuadro 37. Peso seco promedio (g) de tallo de plantas de lechuga, a la cosecha, para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

TRATAMIENTOS	PERIODO I	TRATAMIENTOS	PERIODO II
Combinaciones (%) Humus (H) - Piedra Pómez (PP)	Peso seco de Tallo g/planta	Combinaciones (%) Humus (H) - Piedra Pómez (PP)	Peso seco de Tallo g/planta
T1 (20% H - 80% PP)	0.49	T1 (20%H - 80%PP)	1.18
T0 (0%H - 100 %PP)	0.27	T4 (80%H -20% PP)	1.15
T2 (40%H - 60% PP)	0.17	T2 (40%H -60% PP)	1.15
T3 (60% H - 40% PP)	0.13	T3 (60%H - 40% PP)	0.99
T5 (100% H - 0% PP)	0.09	T5 (100%H - 0%PP)	0.97
T4 (80% H - 20% PP)	0.08	T0 (0%H -100% PP)	0.70

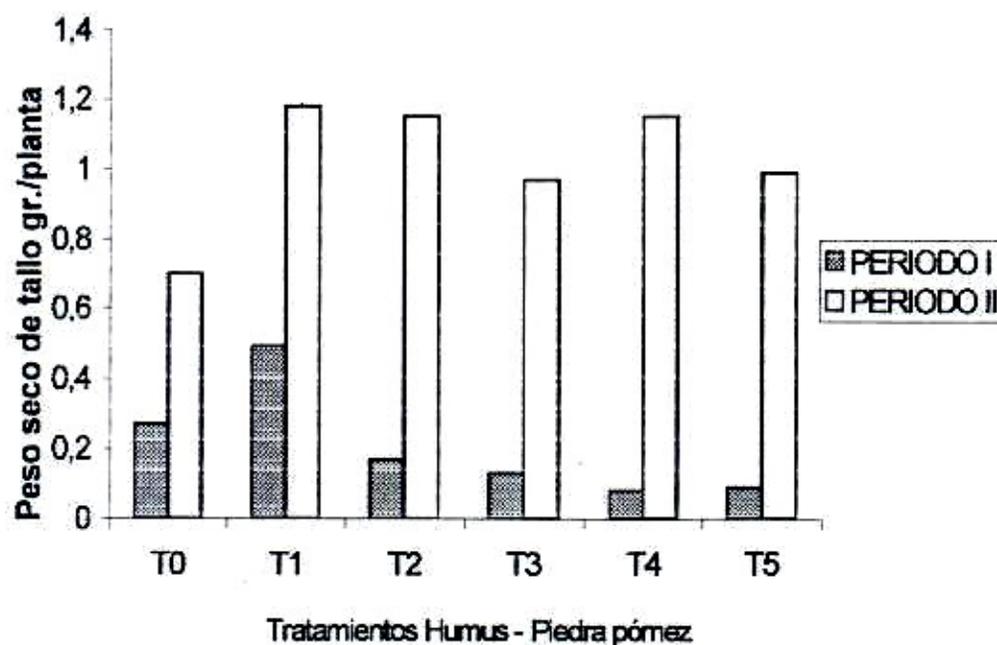


Fig. 8 Peso seco promedio (g) de tallo de plantas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en diferentes combinaciones de sustrato: humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

Comparando los resultados de peso seco de tallo obtenidos en el primer periodo con los del segundo, puede decirse que hubo un aumento de 5 veces (1.02g) más del promedio obtenido en el primer periodo (0.20 g).

4.3.9 Peso seco de raíz

El análisis de varianza para la variable peso seco de raíz, resultó ser significativo tanto en el primero como para el segundo periodo del experimento, lo que significa que en cada una de los periodos del experimento existe una ó más tratamientos que ejercieron efectos estadísticamente diferentes para la misma variable en estudio (cuadro 38).

Cuadro 38. Análisis de varianza para el peso seco (g) de raíz de plantas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

ANVA PERIODO I						ANVA PERIODO II			
F de V	G.L.	S.C	C.M	F cal	F tab 5%	S.C	C.M	F cal	F tab 5%
TRATAMIENTO	5	3.63859123	0.72771829	16.19*	2.71	74.74708333	14.94941667	2.86*	2.71
ERROR EXPERIMENTAL	18	0.80908342	0.0449498			94.09250000	5.22736111		
TOTAL	23	4.44767465				68.83958333			

Para ver los tratamientos que se comportaron mejor durante los dos periodos del ensayo se realizó la prueba de contrastes ortogonales (cuadro 39).

En el cuadro 39, para el primer periodo del experimento, el contraste C1, resultó significativo, lo cual significa que el tratamiento testigo T0 (100% PP) respecto a los tratamientos que contenían las diferentes proporciones de humus, resultó diferente en peso seco de raíz. Luego al analizar los contrastes C2, C3, C4 y C5, resultaron significativos, lo que quiere decir que los tratamientos T1: 20%H; T2:40% H; T3: 60% H; T4: 80% H y T5: 100% H; ejercieron efectos diferentes entre sí en peso seco de raíz.

Cuadro 39. Prueba de contrastes ortogonales para el peso seco de raíz de plantas de lechuga para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus – piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

PERIODO I						PERIODO II			
F de V	G.L.	S.C	C.M	F _{cal}	F _{tab}	S.C	C.M	F _{cal}	F _{tab}
TRATAMIENTOS	5	3.63859123	0.72771825	16.19	4.41	74.74708	14.94941667	2.86 *	2.71
C1-T0 - T112131415	1	0.73730427	0.73730427	16.42*	4.41	6.58008333	6.58008333	1.26 ns	4.41
C2-T1 - T2T3T4T5	1	1.34621726	1.34621726	29.95*	4.41	61.95200000	61.95200000	11.85 *	4.41
C3-T2 - T3T4T5	1	0.81532951	0.81532951	18.14*	4.41	6.16333333	6.16333333	1.18 ns	4.41
C4-T3 - T4T5	1	0.35237516	0.35237516	7.84*	4.41	0.00666667	0.00666667	0.00 ns	4.41
C5-T4 - T5	1	0.38736503	0.38736503	8.62*	4.41	0.04500000	0.04500000	0.01 ns	4.41
ERROR EXP	18	0.50908342	0.04494908			94.09250	5.22736111		
TOTAL	23	4.447674				168.839583			

En el segundo período, el contraste C1, resultó no tener significancia, por lo que el tratamiento testigo produjo el mismo efecto que los tratamientos de las diferentes proporciones de humus, sobre la variable peso seco de raíz, pero al analizar el contraste C2 éste resultó tener diferencia significativa, lo que quiere decir que para el segundo período del ensayo existe al menos un tratamiento dentro de las combinaciones de sustrato humus- piedra pómez con efecto diferente en el peso seco de raíz. Al analizar los contrastes C3, C4 y C5 estos muestran no tener significancia, lo que significa que los tratamientos T2, T3, T4 y T5 ejercen efectos estadísticamente iguales.

El comportamiento de rendimiento de peso seco de raíz de lechuga por tratamiento, se muestra en el cuadro 40 y fig. 9 donde se presenta en forma comparativa los resultados obtenidos para los dos periodos del ensayo.

Cuadro 40. Peso seco promedio (g) de raíz de plantas de lechuga a la cosecha, para periodos I y II, en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

TRATAMIENTOS	PERIODO I	TRATAMIENTOS	PERIODO II
Combinaciones (%) Humus (H) - Piedra Pómez (PP)	Peso Seco Raíz g/planta	Combinaciones (%) Humus (H) - Piedra Pómez (PP)	Peso Seco Raíz g/planta
T1 (20%H - 80%PP)	0.40	T1 (20%H - 80%PP)	0.89
T0 (0%H - 100%PP)	0.35	T2 (40%H - 60%PP)	0.56
T2 (40%H - 60%PP)	0.29	T3 (60%H - 40%PP)	0.42
T3 (60%H - 40%PP)	0.21	T5 (100%H - 0%PP)	0.42
T4 (80%H - 20%PP)	0.17	T4 (80%H - 20%PP)	0.40
T5 (100%H - 0%PP)	0.09	T0 (0%H - 100%PP)	0.40

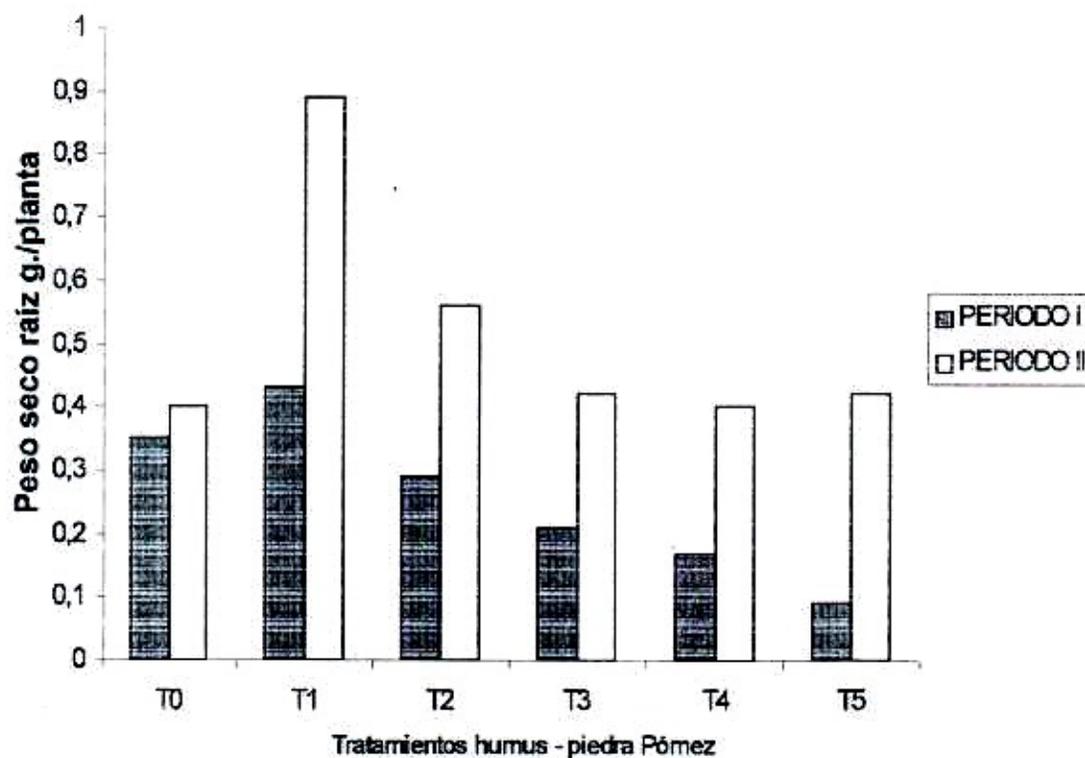


Fig. 9 Peso seco promedio (g) de raíz de plantas de lechuga a la cosecha para periodos I y II en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato: humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

Al analizar el rendimiento promedio de peso seco de raíz (cuadro 40) se observa que el mejor tratamiento para el primer periodo fue el de 20% Humus + 80% pómez, con un rendimiento de 0.40 gr por planta, presentando un 14% de peso seco de raíz más que el tratamiento testigo, el cual produjo un peso de raíz de 0.35 gr por planta de lechuga. Luego los tratamientos que contenían las proporciones de humus mayores de 20% presentaron un menor rendimiento de peso seco de raíz, al compararlos con el tratamiento T1 y el testigo(T0).

Para el segundo periodo el mejor tratamiento fue el de 20% humus + 80% piedra pómez, que produjo un rendimiento de 0.89 gr por planta de peso seco de raíz presentando 59% de peso seco de raíz más que el tratamiento testigo, siguiéndole luego el tratamiento T2 :(40% H) con un 40% de peso seco de raíz más que el tratamiento T0 (100% PP+FQ) el cual mostró un rendimiento de peso de raíz de 0.40 gr por planta de lechuga.

En la Fig 9 se muestra que el tratamiento que dio mejor resultado en peso seco de raíz, para el primer periodo del experimento fue el tratamiento T1(20%H+ 80%PP) al cual le sigue el tratamiento testigo T0 (100%PP+FQ), que muestra ser superior a los tratamientos que contenían las proporciones mayores de 20% de humus, los cuales presentan una tendencia decreciente en el peso seco de raíz por tratamiento.

El comportamiento que muestran los tratamientos de 40 a 100% de humus, puede deberse a la presencia de sustancias inhibidoras del desarrollo radical en los sustratos, ya que el humus de pulpa de café muestra tener alcaloides, lo cual ha sido comprobado por investigadores como Escobar Perla, J.L. et al (37), quienes determinaron que la pulpa de café en base a materia seca presenta cafeína, taninos, ácido cafeico y otros ácidos, donde el componente alcaloide en mayor proporción es el compuesto taninico contenido en la pulpa de café en una proporción de 1.80 - 8.56%, por lo que se cree que estos compuestos inhibieron el desarrollo radicular, donde al aumentar la proporción, seguramente se aumento la concentración de dichos alcaloides.

Para el segundo período del experimento se notó un aumento bastante grande en el desarrollo de la masa radical, lo cual se relaciona al efecto del agua lluvia en la época de

invierno, donde posiblemente hubo un lavado de las sustancias inhibidoras del crecimiento por percolación, quedando libres otras sustancias fitoestimulantes del desarrollo radicular, ya que como dice Fogg, G.E. (39) que las auxinas producen una variedad de diferentes efectos y que para el crecimiento de las raíces se requiere de cantidades extremadamente pequeñas, las cuales según Compagnoni, G.P. (24) están presentes en el humus de lombriz en una proporción de 3.07 a 3.80 microgramos por gramo de esta materia.

Sin embargo en el segundo periodo aunque aumentó el desarrollo radicular, siempre se nota una tendencia decreciente entre los tratamientos T3, T4 y T5, sin diferencia significativa en el peso seco de raíz, por lo cual es posible que siguieran persistiendo algunas partes de los inhibidores del crecimiento, ya que como dice Escobar Perla, et al. (37) la cafeína muestra un problema de poderla extraer completamente por lavado con agua debido a que esta asociada con otros alcaloides, por lo que la parte radicular fue la más afectada en este caso.

4.4. EVALUACION ECONOMICA

4.4.1 Presupuesto parcial

El presupuesto parcial, para el periodo I y II (Cuadro 41) muestran en forma organizada los datos experimentales de los costos y beneficios netos de los tratamientos alternativos de las diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez, en el cultivo hidropónico de lechuga variedad Grand Rapid.

En el presupuesto parcial el beneficio bruto es el resultado del producto de rendimiento medio obtenido en unidades de lechuga cosechadas por metro cuadrado, en dos periodos continuos de siembra, en cada uno de los tratamientos, multiplicados por el precio unitario de campo al que compra PROEXSAL ^{1/} a los productores de hortalizas orgánica en El Salvador en el área de producción nacional.

Los precios de campo que PROEXSAL ofrece a los productores de lechuga en el país son de 1.25 colones por unidad para la lechuga que se produce en forma convencional (fertilizada químicamente) y de 1.90 colones por unidad para la lechuga que se produce de forma orgánica.

^{1/} PROEXSAL: Productores y Exportadores de El Salvador, de R. L.

CUADRO 41. Presupuesto parcial para periodos I y II en el ensayo de cultivo hidropónico de lechuga en diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

TRATAMIENTOS	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Rendimiento medio(unidades)/ M2 I cosecha	25	27	10	0 *	0*	0*
Rendimiento medio(unidades)/ M2 II cosecha	20	20	20	27	27	27
Rendimiento medio(unidades) total/ M2	45	47	30	27	27	27
Precio venta de campo colones/unidad	1.25	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Beneficio bruto total (colones/M2)	56.25	89.30	57.0	51.3	51.3	51.3
Costos que varían (colones/M2)						
Pómez (¢)	3.66	2.93	2.20	1.46	0.73	0
Humus (¢)	0	18.0	36.0	54.0	72.0	90.0
Blaukor (¢) I cosecha	5.52	0	0	0	0	0
Blaukor (¢) II cosecha	5.52	0	0	0	0	0
Bayfolán (¢) I cosecha	1.30	0	0	0	0	0
Bayfolán (¢) II cosecha	1.30	0	0	0	0	0
Lombrifoliar (¢) I cosecha	0	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Lombrifoliar (¢) II cosecha	0	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Mano de obra (¢) por aplicar Blaukor I cosecha	1.08	0	0	0	0	0
Mano de obra(¢) por aplicar Blaukor II cosecha	1.08	0	0	0	0	0
Mano de obra (¢) por aplicar Bayfolán I cosecha	1.10	0	0	0	0	0
Mano de obra (¢) por aplicar Bayfolán II cosecha	1.10	0	0	0	0	0
Mano de obra(¢) por aplicar lombrifoliar I cosecha	0	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Mano de obra(¢) por aplicar lombrifoliar II cosecha	0	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
Mano de obra(¢) por preparar las mezclas	0	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Total de costos que varían (¢ / M2)	21.66	28.91	46.18	66.44	80.71	97.20
Beneficios netos (¢ / M2)	34.59	60.39	10.82	-15.14	-29.41	-45.90

* no se pusieron unidades por que las lechugas que se cosecharon no tuvieron valor comercial.

Los costos que varían para el primer periodo del ensayo están representados por la piedra pómez, el humus de lombriz, los fertilizantes químicos Blaukor y Bayfolan , el lombrifoliar y la mano de obra por aplicar los insumos y realizar las mezclas de los substratos.

Para el segundo periodo del ensayo los costos que varían comprenden: el Blaukor y el Bayfolán, el lombrifoliar y la mano de obra por aplicar los insumos.

El total de los costos que varían por tratamiento, se ven aumentados a medida que se aumenta las proporciones de humus en los diferentes tratamientos (T1: 20% H+80% PP, T2: 40%H+60%PP, T3: 60%H+40%PP, T4:80%H+20%PP y T5:100%H).

El beneficio neto resultó positivo para los tratamientos T0, T1, y T2, ya que produjeron un rendimiento promedio de 45, 47 y 30 unidades de lechuga por m² respectivamente, en cambio fue negativo para los tratamientos T3, T4 y T5. Este comportamiento se debió a que el rendimiento de lechuga se vio afectado posiblemente por los alcaloides presentes en el humus de lombriz proveniente de la pulpa de café en el primer periodo del ensayo. Estos alcaloides son considerados sustancias inhibidoras del crecimiento y desarrollo de las plantas (37), estas son afectadas en la medida en que haya una mayor proporción de este humus y al lavarse el sustrato por la acción de las aguas lluvias, permitió un rendimiento medio de 27 unidades de lechuga por m² en un segundo período del ensayo.

Al analizar el beneficio neto de cada uno de los diferentes tratamientos, se tiene que el T1 presentó un mayor beneficio neto de € 60.39 /m², superando de esta forma al tratamiento testigo y a las demás combinaciones de sustrato humus - piedra pómez.

4.4.2 Análisis de Dominancia

En el cuadro 42 se presenta de forma ordenada de menor a mayor los costos que varían con su respectivo beneficio neto para cada uno de los tratamientos, y así determinar los tratamientos que presentan efecto de dominancia.

En este cuadro se observa que al pasar de la tecnología de cultivo hidropónico de lechuga con fertilización química (Blaukorn y Bayfolán) a la tecnología de fertilización orgánica (humus de lombriz y lombrifoliar) resultaron dominados los tratamientos T2, T3, T4, y T5 debido a que presentaron beneficio neto muy bajo y otros a la vez negativos, ya que en el primer periodo del cultivo se cosecharon lechugas que no presentaron valor comercial, y en la segunda fase consecutiva del cultivo, estos tratamientos obtuvieron un rendimiento homogéneo de lechugas pero aún así no sobre pasaron los rendimientos medios totales de los tratamientos T0 y T1.

CUADRO 42. Análisis de dominancia para los tratamientos alternativos en el ensayo de cultivo hidropónico de lechuga en diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

TRATAMIENTOS	COSTOS QUE VARIAN (¢/M2)	BENEFICIO NETO (¢/M2)	DOMINANCIA
TO (0%H - 100%PP)	21.66	34.59	-
T1 (20%H - 80%PP)	28.91	60.39	-
T2 (40 %H - 60%PP)	46.18	10.82	D
T3 (60%H - 40%PP)	63.44	- 15.14	D
T4 (80%H - 20%PP)	80.71	- 29.41	D
T5 (100%H - 0%PP)	97.20	- 45.9	D

D= TRATAMIENTO DOMINADO

4.4.3 Curva de beneficio neto

El análisis de dominancia ha excluido a cuatro de los tratamientos alternativos, indicando que la curva de beneficio neto (fig. 10) esta formada por los puntos que se unen correspondientes a los tratamientos T0 y T1, los cuales no son dominados dentro del análisis de dominancia, lo que en términos prácticos significa que al pasar de la tecnología de fertilización química tradicional a la fertilización orgánica con humus en hidroponia se puede tener un mayor margen de rentabilidad.

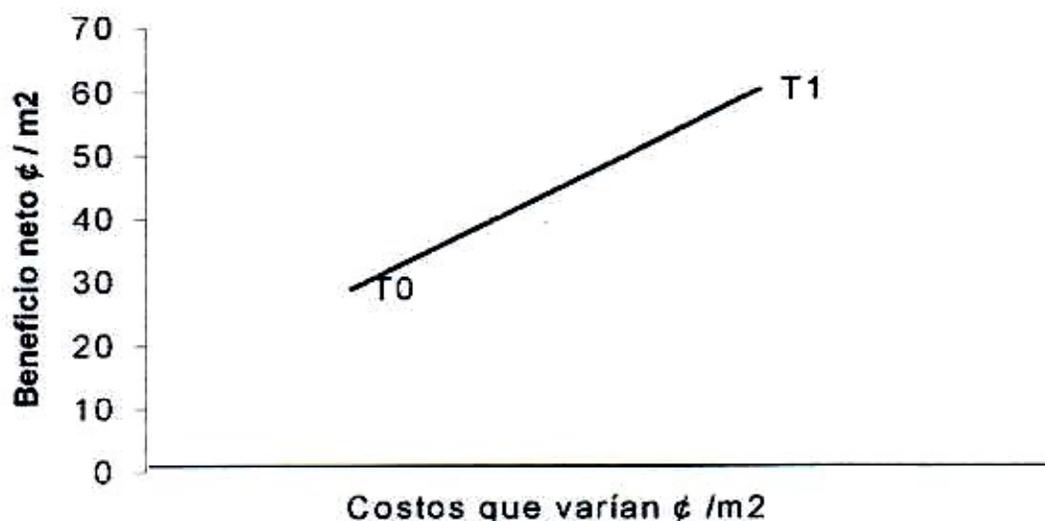


Fig. 10 Curva de beneficio neto en el ensayo de diferentes combinaciones de sustratos humus - piedra pómez, en el cultivo hidropónico de lechuga. Chalchuapa, 1998.

4.4.4 Tasa de retorno marginal

En el cuadro 43 se presentan los tratamientos alternativos que determinan la tecnología a la que puede optar el horticultor, basándose en la tasa de retorno marginal para cultivar lechuga orgánica mediante la técnica de hidroponía en las combinaciones de sustrato humus - piedra pómez.

CUADRO 43. Tasa de retorno marginal / m² para los tratamientos alternativos en el cultivo hidropónico de lechuga en el ensayo de diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

Tratamientos	Costos que varían ¢/m ²	Costo marginal ¢/m ²	Beneficio neto ¢/m ²	Beneficio neto marginal ¢/m ²	TRM *
T0 (0%H - 100% PP)	21.66		34.59		355.86%
T1 (20% H - 80% PP)	28.91	7.25	60.39	25.8	

* TRM = Tasa de Retorno Marginal (%)

Para aceptar la tasa de retorno marginal esta tiene que permitir recuperar el 100% de los costos que varían al inicio de preparar las combinaciones de sustrato humus - piedra pómez, a la vez permitirá revelar el porcentaje adicional del beneficio que obtendrá el agricultor al cambiar de tecnología.

Al analizar el cuadro 43 se observa que al pasar de la tecnología de cultivar lechuga en hidroponía usando fertilización química tradicional (Blaukorn y Bayfolán) a la tecnología de fertilización orgánica (humus y lombrifoliar) el agricultor puede optar por esta última, usando la combinación de sustrato de 20%humus + 80% de piedra pómez; ya que con este tratamiento (T1) el horticultor obtiene una tasa de 355.86% como margen de ganancia por cambiarse a dicha tecnología, lo que equivale a recuperar $\$3.55$ colones por cada colón invertido.





5. CONCLUSIONES

- Con el tratamiento T1 (20 % humus mas 80 % piedra pómez) se obtuvieron los mejores márgenes de rentabilidad.
- El tratamiento que mejor peso seco de hojas presentó durante los dos periodos fue el T1 (20% humus mas 80% piedra pómez), demostrando así el poder residual que tiene el humus.
- La combinación de sustrato que mostró los mejores resultados en todas las variables para el primer periodo fue el de 20% humus + 80% Piedra Pómez, por lo que puede sustituir la fertilización química tradicional utilizada para el cultivo hidropónico de lechuga.
- El desarrollo de las plantas de lechuga en los tratamientos con proporciones de humus superiores al 40%, para el primer periodo, se vio inhibido posiblemente por la presencia de la cafeína y taninos presentes en el humus de pulpa de café.
- Durante el segundo periodo el tratamiento con fertilización química tradicional (T0) se vio afectado posiblemente por el exceso de lluvia que provocó lixiviación de nutrientes, disminuyendo así su rendimiento respecto a los demás.
- La fertilización química tradicional de los cultivos hidropónicos no es la única alternativa de nutrición para la planta ni la mas ecológicamente sostenible.

6. RECOMENDACIONES

- En época de invierno se deben proteger los módulos del cultivo de lechuga con tela de sarán o agronet para evitar lavado de nutrientes del humus en los sustratos.
- Se recomienda usar el sustrato preparado con una mezcla de 20% humus mas 80% piedra pómez, con lo cual se obtienen los mejores rendimientos de lechuga por metro cuadrado.
- Para producción comercial de lechuga bajo esta tecnología utilizar las proporciones de humus de 20 y 40% debido a que las demás ya no son rentables.
- Cuando se utilice humus proveniente de la pulpa de café para semillero de lechuga, utilizar el sustrato con 20% humus mas 80% piedra pómez con el fin de evitar la inhibición de la germinación de la semilla a causa de alcaloides y/o taninos.

7. BIBLIOGRAFIA

1. AGUILAR, W.; MORENO, N. E. y NIETO, C. A. 1992. Cultivo hidropónico de remolacha (*Beta vulgaris*) var. Crosby Egyptian en sustratos de escoria volcánica roja y granza de arroz (*Oriza sativa* L.) utilizando fertilizantes tradicionales. Tesis Ing. Agr. San salvador Universidad de El Salvador facultad de Ciencias Agronómicas. P. 2 – 38.
2. ALARCON VERA, A. L. S.f. Los cultivos hifropónicos de hortalizas extratempranas /[http:// www.ediho.es/horticom/forum/fiteti/alarcon.htm](http://www.ediho.es/horticom/forum/fiteti/alarcon.htm).
3. ALARCON VERA, A. L.; MADRID, E. 1997. Cultivos sin suelo con recirculación de lixiviados (cultivos hidropónicos). Revista de horticultura. España. 16 (8): 42-48.
4. ALVAREZ, E. L.; RICHARDSON, R.W. 1956. La lechuga. Indicaciones generales para su cultivo. Folleto de divulgación. Nº: 40. Secretaria de agricultura y ganaderia. Oficina de estudios espaciales. Mexico. P. 1-35.
5. ANDER, E. 1995. Desafío ecológico. Universidad estatal a distancia. Programa de educación ambiental. UNIVERSIDAD ESTATAL. San José, Costa Rica. P. 85-90.
6. ANDRADE, L. de G. 1997. Respuesta del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) a cuatro métodos de aireación en el sistema hidropónico de raíz flotante. Tesis Ing. Agr. ministerio de agricultura y ganaderia. Escuela Nacional de Agricultura "Roberto Quiñones". San Andrés la libertad. El Salvador. P. 1-17.
7. ANGLÉS FARRESON, J. M. 1977. Cultivo de la lechuga guía práctica. España. LERIDA. P 11-15, 18-19, 30-37.
8. ARANDA DELGADO, E. 1988. La utilización de lombrices en la transformación de la pulpa de café en abono orgánico. Acta Zoo, Mex. (n. s). Jalapa, Veracruz – Mexico.
9. ARANDA DELGADO, E., 1991, El Vermicompostaje: Una nueva alternativa para la transformación para la pulpa de café en abono orgánico; XIV Simposio sobre caficultura Latinoamericana. IICA- PROMECAFE. Panama. P. 511 - 517.
10. ARCHILA, J; CONTRERAS, U. H; PINZON, H; LANDAVERDE, H, CORCHUELO, G. 1998. Análisis de crecimiento de cuatro materiales de lechuga (*Lactuca sativa*). Revista Agronomía Colombiana. Vol. XVI (1). P. 68 – 75.
11. ASTOLFI, E. A; CALABRESE, A. 1972. Toxicología. 2ª Ed. KAPELUZ, S.A. Buenos aires Argentina. P. 113 – 115, 118 – 126.

12. BASTIN, R. 1970. Tratado de fisiología vegetal. CECSA. Mexico. P. 244 – 369.
13. BAVER, L. D. 1973. Física de suelos. Tard. Jorge Manuel Rodríguez. HISPANOAMERICANA. P.165 – 172, 267 – 288.
14. BAYER de El Salvador, S. A. 1990. Nutrientes para la aplicación foliar. San Salvador, El Salvador. IMPRESOS URGENTES, S. A. hoja divulgativa.
15. BERMUDEZ TINEO, A. L. 1994. Crianza y manejo de lombrices de tierra con fines agrícolas. Programa: Manejo integrado de recursos naturales. Área: manejo de cuencas. CATIE-TURIALBA. Costa Rica. P 25 – 32.
16. BERNARD, M; BAQUIAST, R; BRY, A; CASTILL, A. et. Al. 1967. La lechuga. Cultivo y Comercialización. Trad. Alberto Garcia Palacios. OIKOS. Barcelona, España. P. 15 – 181.
17. BIBLIOTECA PRACTICA DE ESPECIALIZACION AGRICOLA Y GANADERA .1987. Fundamentos de la agricultura de la agricultura. Tomo uno. OCEANO. Barcelona España . P. 179, 180.
18. BRAHAM, J.E; BRESSANI,R. 1979. Pulpa de café . Composición , tecnología y utilización . Trad. Marco Julio Cabrerías. Ed. INCAP . Guatemala . P. 31 – 38.
19. BRAVO VARAS. A. Técnicas y aplicaciones del cultivo de la lombriz roja californiana. Barquisimeto-venezuela. UNIVERSIDAD YACUMBO.//ht/http://www.customw.com/ecoweb/notas/cyt/971215_2htrr.
20. BURTON, B. T. 1969. Nutrición Humana; un tratado completo sobre nutrición en la salud y la enfermedad. Trad. HEINZ HANDBOOK. OPS. 2ª Ed. Mc GRAW – HILL. España. P. 438.
21. CARRILLOS RAMIREZ, J. ; MARTINEZ BASQUEZ, O.; PEÑATE FLORES, R. 1994. Evaluación de la interacción de tres sustratos con programas de fertilización tradicional y aminoproteínas en zanahorias (*Daucos carota* L.) bajo la técnica de hidroponía. Tesis Ing. Igr. Universidad de El Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas. San Salvador. P 2-30.
22. CASERES, E. 1996. Producción de hortalizas. Lima Perú. IICA. P. 126-138.
23. CESTA. 1996. La contaminación con aluminio y la enfermedad de alzheimer. San Salvador El Salvador. P 4-9.
24. COMPAGNONI, L.; POTZOLUS, G. 1995. Cría moderna de lombrices y la utilización rentable del humus. Barcelona, España. Edit. VECCHI. P. 67 – 91.

25. CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL (I., 1994, San Salvador). 1994. Salud y medio ambiente . Ed. José Ernesto Orellana Orellana. San Salvador, El Salvador. ASIA. P 1 -11.
26. COOKE, G. W. 1975. Fertilización para rendimientos máximos. Tard. Antonio Merino ambrosio. Ed. GRANADA PUBLISHING LIMITED. Mexico. P. 131-138.
27. CROFT S, F.C. 1971. Los vegetales y sus cosechas. Trad. Rafael Moran. Ed. AEDOS. Barcelona, España. P. 30 - 120.
28. DEPARTAMENTO de salud de NEW Jersey. 1986. sobre sustancias peligrosas. E.E. UU. sp.
29. DEVLIN, R. M. 1970. Fisiología vegetal. Trad. Xavier Llimona Pagés. Barcelona España. Edit. OMEGA. P. 92 - 96.
30. DIAZ, A, A; RUMANI, D. 1995. La lombricultura. Informe técnico. 2 ed. Instituto de Desarrollo y medio ambiente. (IDMA). San Borja. Lima Perú. P. 4 - 21.
31. DIRECCION GENERAL DE ECONOMIA AGROPECUARIA-MAG. 1998. Anuario de estadísticas agropecuarias. Santa Tecla. El Salvador. P.
32. DISAGRO. 1993. De todo para la agricultura. Guatemala. LITO VAN COLOR. S.A. (boletín No. 2, año 1). P. 1-5.
33. DOMENECH, X. 1994. Química ambiental. *El impacto ambiental de los residuos*. 2 ed. Universidad Autónoma de Barcelona. Departamento de Química. España. Edit. MIRAGUANO, S. A. P. 35 -36.
34. ENCICLOPEDIA AGROPECUARIA Terranova. 1995. Ingeniería y Agroindustria. Volumen V. P. 177 - 17.
35. II ENCUENTRO NACIONAL DE AGRICULTURA ORGANICA. Programas y Resúmenes. Cangrejera Bauta. 1995. Empleo del humus de lombriz como abono orgánico en el cultivo de la yuca. Gonzales, P. J.; Navarro, G.; Funes., et. Al. La habana, Cuba. Instituto de investigaciones de pastos y forrajes. P. 21, 22.
36. _____ Programas y Resúmenes. Camaguey. 1995. Sistemas bioorgánicos de nutrición para organopónicos. Gandarilla. J. E., Pérez, D. A.; Curbelus, R. D. La habana, Cuba. Estación de suelos de Camaguey. P. 29-30.

37. ESCOBAR PERLA, j. L.; et. al. 1985. Obtención de extractos tánicos a partir de pulpa de café y su comprobación como curtiembre. Tesis Ing. Química. Universidad politécnica de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. San Salvador. P. 8-35.
38. FERRUZZI, C. 1987. Manual de lombricultura. Trad. Carlos Buxade. Madrid España, MUNDI PRENSA . P
39. FOGG, G. E. 1967. El crecimiento de las plantas. 2ª ed. Trad. Jorge wright. Buenos Aires, Argentina. RIVADIA. P. 42-55, 168-199.
40. FORTH, H. P. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. Trad. Antonio Marino Ambrusio ed. Mexico, Edit. CONTINENTAL . P 228, 347 _ 349.
41. FUSADES. 1999. Lempa envenenado con mercurio. *Sobre saturación de contaminantes*. La Prensa Gráfica. San Salvador (E. S .) ; Febrero, Viernes 12. P 4 -6.
42. GARCIA RAMIREZ, A. 1959. Horticultura. 2ª ed. Barcelona, España. SALVAT EDITORES, S. A. P. 456.
43. HERNANDEZ, L. 1998. Cultivo de jitomate sin fertilizante. <http://www.vam.mx>. Organo. UNAM documentos V III . iii 09 - 21 htm. 05 \ 27 \ 98. 12: 31: 5:1 of 2.
44. HOWARD, M; RESH, Dh. D. 1982. Cultivos hidropónicos. Nueva tecnica de producción. Trad. José Santos Caffarena. Madrid, España. MUNDI PRENSA. P. 127, 145.
45. JACOBSON, O; NAVARRO, R. 1998. La contaminación con metales pesados. Revista Econciencia. (13) CESTA. San Salvador. P 4 - 9.
46. MAROT BORREGO, J. B. 1990. Elementos de horticultura general. MUNDIPRENSA. Madrid España. P. 197-201.
47. MARQUEZ MENDEZ, A. 1996. Aspectos clinicos de la contaminación industrial en la Ciudad de Río Grande. Brasil. Acta toxicológica. Vol. 10 (1): 5-15.
48. MARTINEZ MENDEZ , M . D ; TORRES SANCHEZ , M . A . 1991. Situación actual de la Industria de los fertilizantes en El Salvador . Tesis . Lic . Química y Farmacia. San Salvador . El Salvador . p 29 - 34 .
49. MARULANDA, C; IZQUIERDO, J. 1993. La huerta hidropónica popular. Santiago de Chile, FAO. PNUD. P. 7-9, 45-62, 115.
50. MELA MELA, P . 1963. Tratado de edafología y sus distintas aplicaciones. 2 Ed. Zaragoza España. Ediciones AGROCIENCIA. P 130 - 170.

51. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA. 1999. Almanaque Salvadoreño: servicio de meteorología e hidrología. DGRNR. SAN Salvador, El Salvador. P. 10-14.
52. MONISERAT LLURBA, E.B. 1997. Los sustratos. Revista Horticultura. XVI (8). España.p.31-35.
53. MONTERROSA, J.C. 1993. La pulpa de café y algunas alternativas para su utilización. Fundación Salvadoreña para investigaciones del café . PROCAFE. Nueva Salvador . El Salvador. P 6 – 7, 10, 20.
54. MONTILLA HERNANDEZ, A. 1998. Acidos húmicos, y fúlvicos. *Asimilación de los Macro y micro nutrientes en presencia de A.A. H.H.F.F.* Revista Horticultura. Atlántida agrícola. España. Vol. XVII (3): P 62 –63.
55. NAVAS, C. sf. Humus de lombris: El mejor fertilizante natural del mundo. Asunción Paraguay /http\ www.uha.py\sitio\abc\rur 05. htrr.
56. O.P.S. 1989. Criterios de salud ambiental. *Nitratos, nitritos y compuestos de N – nitroso.* 3ª Publicación. Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente y la O.M.S. Washington. P 1 – 80.
57. ORELLANA, A.; SOLANO, S.; ARGUETA, Q.; et al. 1999. Manual del capacitador: manejo integrado de la fertilidad del suelo en zonas de ladera. Sistemas de producción de granos básicos – pequeña ganadería. Proyecto CENTA - FAO – HOLANDA. SAN Salvador, El Salvador. P. 38. 39.
58. PENNINGSFELD, F.; KURZMANN, P. 1995. Cultivos Hidropónicos y en turba. Madrid – España. MUNDI PRENSA. P. 235 – 237.
59. QUIJANO, A. 1964. Que Es el humus de la tierra. Revista. Cafetalera. (35) . Organo Oficial de la Asociación nacional del café. Guatemala. P. 29, 30.
60. QUIMICA HOECHST DE EL SALVADOR. 1989. Productos para la agricultura Hoechst. P. 72, 73.
61. QUINTERO, J. J. 1977. La lechuga. Hoja divulgativa # 10. Ministerio de Agricultura. Madrid España. P 1 – 13.
62. ROJAS GARCIDUEÑAS, M. 1972. Fisiología Vegetal Aplicada. México. Mc GRAW - HILL P. 252.
63. SAMPERIO RUIZ, G. 1997. Hidroponía Básica: El cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra. México. DIANA. P. 1- 65.

64. SANTILLAN, R; AMADOR, R. 1977. Curso taller sobre agricultura orgánica. El Samorano. Honduras. Sp.
65. SEGURA, V.M. 1984. Normas de calidad para fertilizantes químicos y sus materias primas, Manual técnico No. 6, CENTA. Sección : Laboratorio de química Agrícola San Andrés, La libertad, El Salvador. P 1 - 22.
66. SEMILLAS S. A. 1998. Variedades de lechuga. Hoja divulgativa. San Salvador, El Salvador.
67. SEMINARIO SOBRE CONTROL INTEGRAL DE CALIDAD Y SANEAMIENTO EN RELACION A LOS COSTOS Y A LA VIDA UTIL DE LOS ALIMENTOS FRESCOS Y PROCESADOS (1991, San Salvador). 1991. Calidad integral. FUSADES/DIVAGRO. edit. Milins, S.A., Calderon, G. R. San Salvador, El Salvador. P. 35-37, 40-42.
68. SPECIAL NUTRIENS. 1997. Humus y materia orgánica. Revista Agricultura de las Américas. Vol. 46 (4). Miami Florida E. U. A. P 16 - 22.
69. TICAS, M.E ; GARCIA, F. 1996. Elaboración de abonos orgánicos. *Una experiencia con Agricultores*. Proyecto A. E. I.O.U. en agricultura sostenible. FIAES - UTLA Universidad Técnica Latinoamericana. Boletín No. 2. San Salvador, El Salvador. P. 1 - 12.
70. TISCORNIA, J. R. 1979. Hortalizas de hoja: pencas, inflorescencia, botones, etc. Buenos Aires, Argentina. ALBATROS. P. 1-23.
71. TISDALE, S. L. 1988. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Trad. Jorge Balasch. México. Edit. LIMUSA. P. 55 - 67, 610 - 614.
72. VELADEZ LOPEZ, A. 1992. Producción de hortalizas. LIMUSA. México. P. 149-159.
73. VERMICOMPOST. S. A. de C.V. 1997. Vermiabono. San Salvador, El Salvador. Hoya divulgativa.
74. WILLARD, H. G. 1974. Manual de fertilizantes. Trad. The fertilizer handbook. 2ª ed. México, D. F. LIMUSA. P. 47-52.
75. WORTHEM, E. L.; ALDRICH, J. R. 1967. Suelos agrícolas, su conservación y fertilización. Trad. José Luis de la Loma. 2ª ed. México, D. F. UTEHA. P. 197-201.



8. ANEXOS

Cuadro A-1 Funciones específicas de los elementos esenciales para la nutrición de las Plantas.

Nitrógeno: Es parte esencial de todas las proteínas, enzimas, clorofila y muchos otros componentes de la planta aumentando su vigor y promoviendo el desarrollo de hojas y tallos.
Fósforo: Es necesario para un crecimiento rápido de las raíces. Además permite un mejor desarrollo de las flores, semillas y frutos.
Potasio: Estimula el crecimiento de los tejidos leñosos y asegura una buena resistencia contra el ataque de enfermedades e insectos. También incrementa el rendimiento de semillas, tubérculos y frutos y asegura que los estomas de las hojas cierren adecuadamente para evitar así pérdidas de agua durante la época seca.
Calcio: Es necesario para mantener la estructura celular, favorecer el desarrollo de los frutos y el crecimiento vigoroso de las raíces. Así también neutraliza los tóxicos producidos en la planta.
Magnesio: Es uno de los elementos más activos en la fotosíntesis de las plantas, Es parte esencial de las moléculas de clorofila y sirve como activador de enzimas y en síntesis de proteínas.
Azufre: Es el principal constituyente de los aminoácidos más importantes en la formación de proteínas, coenzimas y vitaminas. Está involucrado en la síntesis de hormonas vegetales.
Boro: Es importante en la polinización y producción de semillas, esencial en la división celular, metabolismo del nitrógeno, formación de proteínas y balance de azúcares.
Cloro: interviene en la ósmosis del balance inorgánico de materiales y elementos en la fotosíntesis.
Cobre: toma parte de la formación de la clorofila, Es una coenzima en la síntesis de proteínas y la respiración.
Zinc: Es activador de la producción de proteínas y azúcares, esencial para la formación de semillas y madurez de frutos.
Hierro: Es esencial para el funcionamiento de la clorofila, toma parte en la respiración y transferencia de energía.
Manganeso: Participa en la asimilación del nitrógeno, activa las enzimas formadoras de aceite y grasas naturales y toma parte en la formación de vitaminas. Además, aumenta la disponibilidad del fósforo (P) y calcio (Ca) acelerando la germinación y madurez.
Molibdeno: Participa como portador de electrones en la conversión del nitrato de amonio. También actúa como defensa interna de la planta e impide la fijación de las bacterias en ella.
Sodio: Es un componente importante de las celdas de los tallos en las plantas. Ayuda a desarrollar una barrera casi mecánica contra los insectos chupadores. Permite que las hojas desarrollen una mayor tolerancia a la escasez de humedad.
Níquel: Se requiere para la formación de las enzimas y la germinación.
Cobalto: Es un complemento requerido para la fijación del nitrógeno.

Fuente: Disagro, 1993; Veládez López, 1992 (32, 74).

Cuadro A-2. Sustancias, compuestos y elementos químicos considerados peligrosos para la salud humana y que tienen relación con los fertilizantes sintéticos.

NOMBRE COMUN	IDENTIFICACION	EFFECTOS CRONICOS PARA LA SALUD.
Nitrato de amonio	Es un material blanco cristalino parecido al azúcar	Produce disminución de la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, condición que se les conoce como metahemoglobinemia.
Cloruro de zinc	Es un sólido blanco de aspecto granular	Es un teratógeno en el sistema reproductivo que está relacionado con enfermedades cardíacas y cáncer pulmonar.
cobalto	Es un sólido inodoro, metálico de gris moteado	Peligro de cáncer y mutación genética celular. Daña el corazón, la tiroides y el hígado, pudiendo producir además fibrosis pulmonar
Sulfato ferroso	Es un sólido verdoso amarillento en forma de cristal fino o aterronado.	Peligroso en el sistema reproductivo por afectar las glándulas reproductoras masculinas y a la larga daños al hígado.
Sulfato cúprico	Es un sólido azul	Es un teratógeno que afecta al sistema reproductivo el los seres humanos.
Sulfato de zinc	Es un polvo cristalino e inodoro	A largo plazo puede causar mutación en las células vivas (cambio genético) y puede causar daño al desarrollo del feto.
cobre	Es un metal de color pardo rojizo	A largo plazo tiene riesgo de producir cáncer pulmonar.
potasio	Es un metal plateado blanco	Las personas pueden estar expuestas al agua contaminada o alimentos por el uso excesivo de fertilizantes potásicos.
Arsénico	Es un sólido cristalino, frágil, plateado, en forma amorfa	Elemento peligroso para la salud por ser carcinógeno en los seres humanos, causando daño al sistema reproductivo y al desarrollo del feto.
cadmio	Es un metal azulado o polvo grisáceo	Es un carcinógeno en la próstata y riñones de los seres humanos, se ha comprobado que causa cáncer en los testículos y pulmones.

Fuente: Departamento de salud, universidad de New Jersey (28).

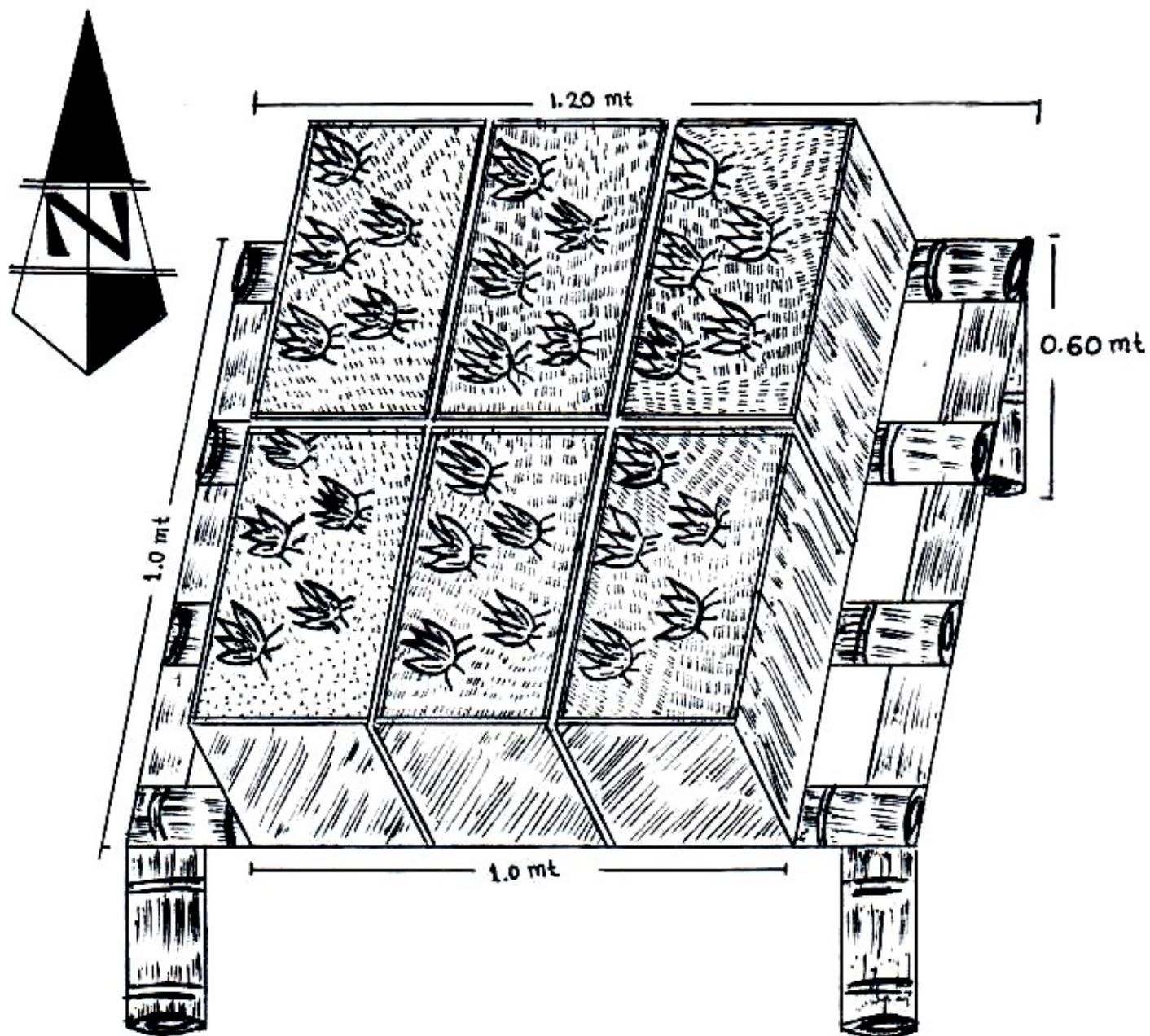
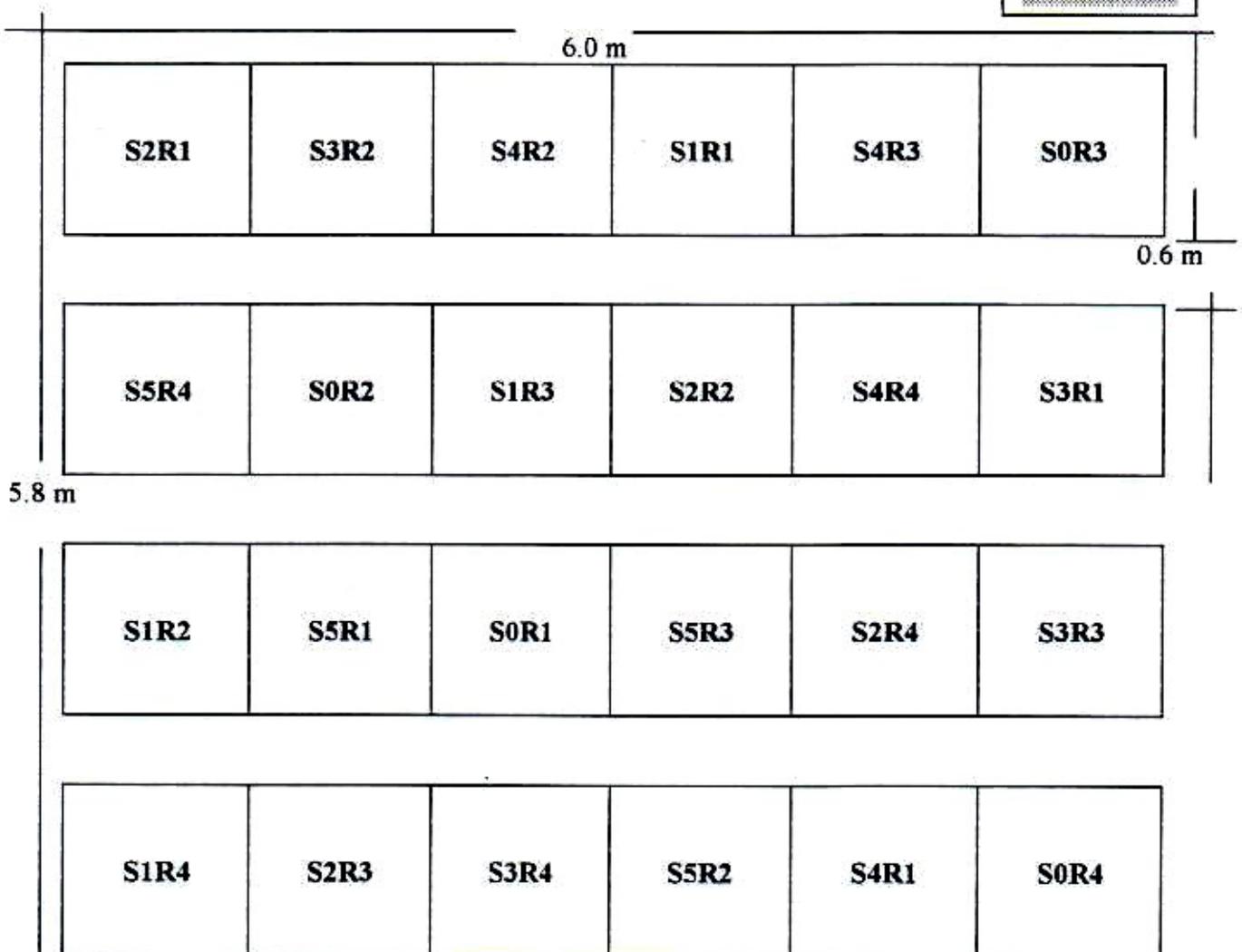


Fig. A-1 DISEÑO DE TARIMAS DE BAMBU PARA MONTAJE DE LOS MODULOS



ESPECIFICACIONES:

S= SUSTRATO
R= REPETICION

AREA UTIL = 24M²
AREA DE C/PARCELA = 1M²

PLANTAS/ PARCELA = 30
ESCALA / 1: 100

Fig. A-2 DISTRIBUCION DE LOS TRATAMIENTOS BAJO EL DISEÑO IRRESTRICTO AL AZAR

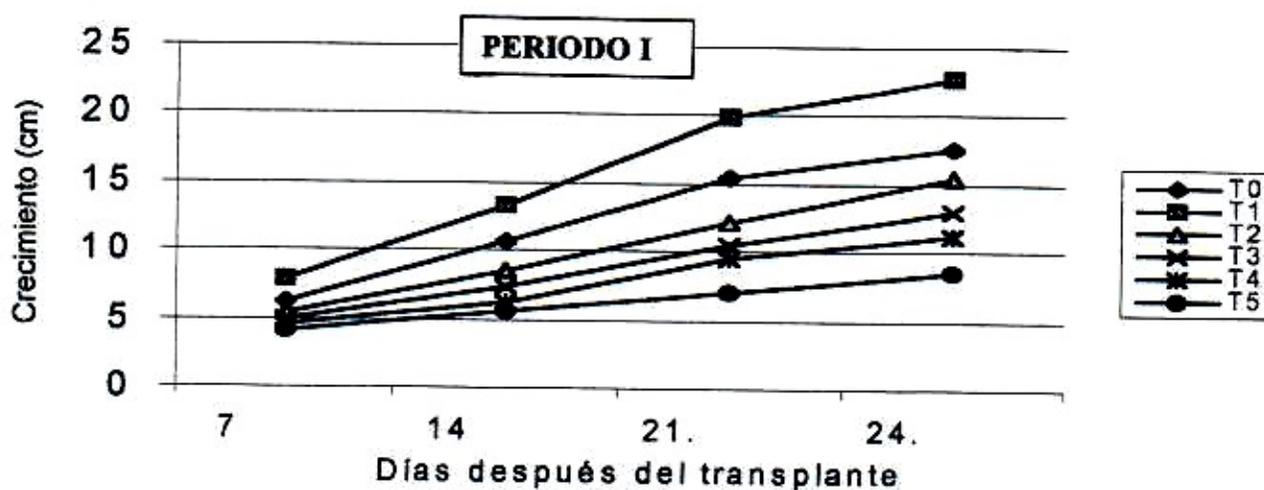


Fig. A-3. Altura promedio de plantas de lechuga (cm) para período I en diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.

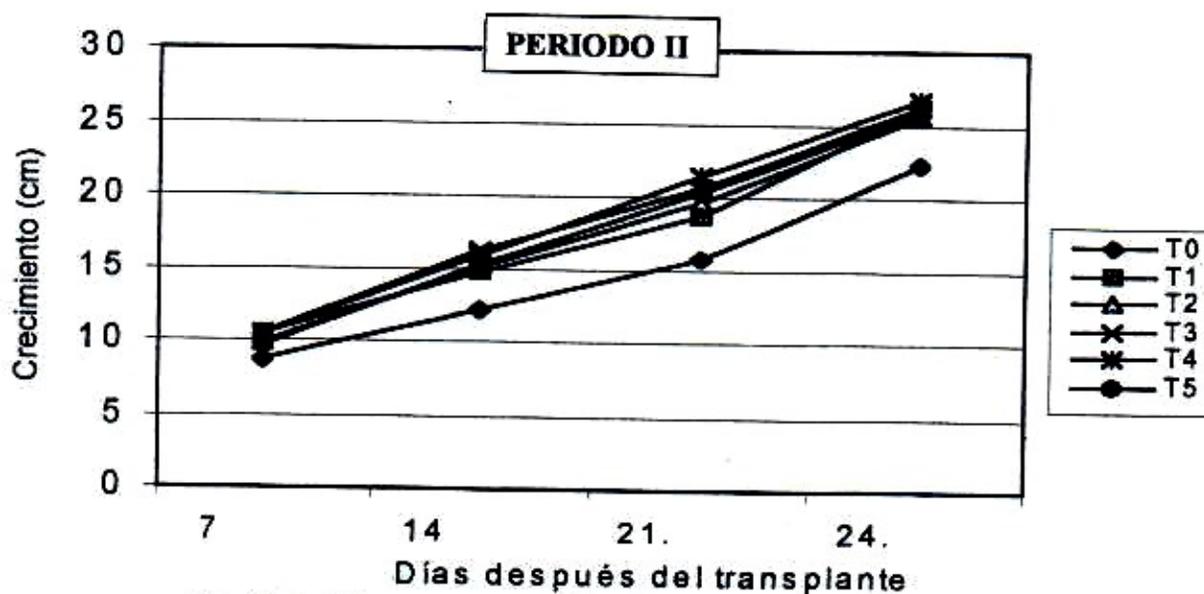


Fig. A-4. Altura promedio de plantas de lechugas (cm) para período II en diferentes combinaciones de sustrato humus - piedra pómez. Chalchuapa, 1998.