

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Efecto de Coadyuvantes de la Nutrición y Diagnóstico Nutricional del Tomate
(*Lycopersicon esculentum Mill.*) en un Sistema Hidropónico de Raíz Flotante

Por:

GUSTAVO ORTEGA ARRIAGA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Efecto de Coadyuvantes de la Nutrición y Diagnóstico Nutricional del Tomate
(*Lycopersicon esculentum Mill.*) en un Sistema Hidropónico de Raíz Flotante

Por:

GUSTAVO ORTEGA ARRIAGA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

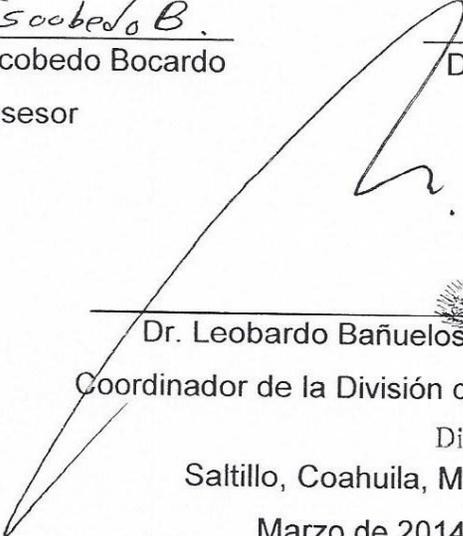
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada


Dr. Ricardo Requejo López
Asesor Principal


M.C. Leticia Escobedo Bocardo
Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía
Coordinación
División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2014

AGRADECIMIENTOS

A mi Madre: Rosa María Arriaga Avilés

Porque el día de hoy ella también se convierte en Ingeniera. Si he llegado hasta este día ha sido gracias a ti y a tu apoyo incondicional. Gracias por no dejarme caer, pero sobre todo, por enseñarme a levantarme y a no rendirme jamás.

Te quiero mucho mamá.

Al Dr. Ricardo Requejo López

Agradezco enormemente al Dr. Ricardo Requejo López por ser un ejemplo a seguir; brindándome su conocimiento, apoyo, amistad y sobre todo por enseñarme que no existen límites en la vida cuando se quiere lograr algo.

Muchas gracias.

A mis Asesores de Tesis

Agradezco a la M.C. Leticia Escobedo Bocardo y al Dr. José Antonio González Fuentes por sus valiosas aportaciones y por su colaboración en la realización de este trabajo.

A mi Alma Mater “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro”

Agradezco a mi alma mater “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro” por darme la oportunidad de formar parte de su matrícula.

A mi Compañera de Vida: Lucia Montserrath Hinojosa Sandoval

Finalmente agradezco a Montse por compartir conmigo este tiempo de su vida y porque sin su valiosa ayuda no hubiera terminado este proyecto.

DEDICATORIA

A mi madre:

Rosa María Arriaga Avilés; gracias por apoyarme durante toda la licenciatura, me siento muy orgulloso de ser tu Hijo, admiro tu trabajo y entusiasmo, gracias por confiar siempre en mí.

A mi padre:

Porfirio Ortega Oloarte.

A mis hermanos:

Rosa María, Angélica, Porfirio y Ángel.

Sinceramente

Gustavo Ortega Arriaga

“No tenía miedo a las dificultades, lo que la asustaba era la obligación de tener que escoger un camino. Escoger un camino significa tener que abandonar otros”
Paulo Coelho

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	IV
INDICE DE CONTENIDO	V
INDICE DE CUADROS	IX
INDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XIV
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación	3
1.2. Objetivos	3
1.3. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Cultivo de tomate	4
2.2. Hidroponía	5
2.2.1. Técnicas hidropónicas.....	5
2.2.2. Sistema de raíz flotante.....	6
2.3 Solución nutritiva (SN)	7
2.3.1. Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva (SN)	8
2.3.2. Presión osmótica.....	10
2.3.3. Potencial de hidrógeno (pH) de la solución nutritiva (SN)	10
2.4. Potencial de óxido reducción (ORP)	11
2.5. Extracto de algas marinas (Algaenzims®)	14
2.5.1. Obtención del producto Algaenzims®	15
2.5.2. Composición del producto Algaenzims®.....	15
2.5.3. Efectos del producto Algaenzims®	17
2.6. Líquido de lombriz (lixiviado de humus de lombriz)	20
2.6.1. Obtención del líquido de lombriz (lixiviado de humus de lombriz)	20
2.6.2. Composición del líquido de lombriz (lixiviado de humus de lombriz)....	23
2.6.3. Efectos del líquido de lombriz (lixiviado de humus de lombriz)	24

2.7. Ácidos fúlvicos	27
2.7.1. Obtención de los ácidos fúlvicos (AF)	28
2.7.2. Composición de los ácidos fúlvicos	29
2.7.3. Efectos de los ácidos fúlvicos	30
2.8. Diagnóstico nutricional	32
III. MATERIALES Y METODOS.....	36
3.1. Localización del experimento	36
3.2. Establecimiento y desarrollo de la investigación	36
3.3. Material vegetal	37
3.4. Preparación del sistema de raíz flotante	37
3.5. Descripción de los tratamientos y cálculo de la solución nutritiva	39
3.6. Labores culturales	44
3.6.1. Tutorio	44
3.6.2. Poda de brotes axilares	44
3.7. Variables evaluadas	45
3.7.1. Variables evaluadas en la solución nutritiva	45
3.7.1.1. Medición de la conductividad eléctrica (CE)	45
3.7.1.2. Medición del potencial de hidrógeno (pH)	46
3.7.1.3. Medición del potencial de óxido reducción (ORP)	46
3.7.1.4. Consumo en litros por maceta (CL M ⁻¹)	47
3.7.1.5. Eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA ms ⁻¹)	47
3.7.1.6. Eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a los elementos minerales (EUA n ⁻¹)	48
3.7.2. Variables evaluadas en la planta	48
3.7.2.1. Altura de planta (AP)	48
3.7.2.2. Diámetro de tallo (DT)	49
3.7.2.3. Peso fresco de raíz (PFR)	50
3.7.2.4. Peso seco de raíz (PSR)	50
3.7.2.5. Peso fresco aéreo (PFA)	50
3.7.2.6. Peso seco aéreo (PSA)	50

3.7.2.7. Frutos cuajados (FC)	51
3.7.2.8. Peso de frutos (PF).....	51
3.8. Análisis estadístico	51
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1. Comparación de medias para cada variable	53
4.1.1. Consumo de solución nutritiva (CSN)	53
4.1.2. Potencial de óxido reducción 1 (ORP1)	54
4.1.3. Potencial de óxido reducción 2 (ORP2)	55
4.1.4. Altura de planta (AP)	57
4.1.5. Diámetro de tallo (DT)	58
4.1.6. Racimos florales (RF).....	59
4.1.7. Frutos cuajados (FC).....	60
4.1.8. Peso fresco aéreo (PFA).....	62
4.1.9. Peso fresco de raíz (PFR).....	63
4.1.10. Peso de frutos (PF)	64
4.1.11. Peso seco aéreo (PSA).....	66
4.1.12. Peso seco de raíz (PSR).....	68
4.2. Resultados del monitoreo de la conductividad eléctrica (CE) y el potencial de hidrógeno (pH)	71
4.2.1. Datos de medias de las mediciones de la conductividad eléctrica (CE)	71
4.2.2. Datos de medias de las mediciones del potencial de hidrógeno (pH) ..	73
4.3. Resultados de los análisis de tejido vegetal con el método de Diagnóstico Óptimo Porcentual (DOP)	76
4.4. Resultados de la estimación de la eficiencia de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA m⁻¹) expresados en g L⁻¹	81
4.5. Resultados de la estimación de la eficiencia de la solución nutritiva con respecto a los elementos minerales presentes en la materia seca (EUA n⁻¹) expresado en g g⁻¹	83
V. Conclusiones	85

VI. Recomendaciones	86
VII. Bibliografía	87

INDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Clasificación botánica del tomate.....	4
Cuadro 2.3. Relación de concentraciones (meq L ⁻¹) para aniones y cationes Steiner (1980) citado por Castellanos (2009).....	7
Cuadro 2.4.1. Secuencia de utilización de minerales por parte de la microflora ..	13
Cuadro 2.4.2. Concentración de oxígeno disuelto y reducción de iones importantes para la nutrición de microorganismos y formas de vida superior	14
Cuadro 2.5.2. Composición del producto Algaenzims®	16
Cuadro 2.5.3. Efectos de los extractos de las algas marinas en planta y suelo ...	19
Cuadro 2.6.2. Composición del lixiviado del humus de lombriz.....	24
Cuadro 2.7.1. Extractantes de sustancias húmicas (SH) más utilizados.....	29
Cuadro 2.7.2. Composición química de los ácidos fúlvicos (AF) de leonardita utilizados en el experimento	30
Cuadro 2.8. Valores utilizados como referencia	34
Cuadro 3.5.1. Descripción de los tratamientos	39
Cuadro 3.5.2. Análisis químico del agua potable utilizada	39
Cuadro 3.5.3. Solución nutritiva ideal (Cadahia, 2005)	40
Cuadro 3.5.4. Solución nutritiva final.....	40
Cuadro 3.5.5. Diseño de la solución nutritiva	40
Cuadro 3.5.6. Cálculos finales para aporte de macronutrientes.....	40
Cuadro 3.5.7. Cálculos para obtener factores	41
Cuadro 3.5.8. Cálculos para aporte de micronutrientes	41
Cuadro 3.5.9. Composición de los tratamientos utilizados	43
Cuadro 4.1. Cuadrados medios y prueba de F de los análisis de varianza para tomate establecido en un sistema hidropónico de raíz flotante	52
Cuadro 4.1.1. Efectos de la temperatura ambiente en la planta de tomate	54
Cuadro 4.3.1. Resultados de la sumatoria de los índices absolutos DOP.....	77
Cuadro 4.3.2. Concentrado de datos obtenidos del análisis de tejido con el método de Desviación Óptima Porcentual (DOP) de un experimento de tomate en un sistema hidropónico de raíz flotante, UAAAN 2013.....	80

Cuadro 4.4.1. Promedio de datos por tratamiento de la estimación de la eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA ms ⁻¹) en g L ⁻¹	81
Cuadro 4.4.2. Promedio de datos por repetición de la estimación de la eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA ms ⁻¹) en g L ⁻¹	82
Cuadro 4.5. Promedio de datos por tratamientos de la estimación de la eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a los elementos minerales presentes en la materia seca (EUA/N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe y B) en g g ⁻¹	83

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Cultivo de tomate en un sistema hidropónico de raíz flotante	2
Figura 2.1. Sistema tradicional de raíz flotante.....	6
Figura 2.7.1. Estructura hipotética de los ácidos fúlvicos (AF) según Schnitzer y Khan (1972) citados por Melo (2006).....	28
Figura 3.1. Localización del área experimental	36
Figura 3.3. Plántulas de tomate variedad Río Grande.....	37
Figura 3.4.1. Lavado de plántula	38
Figura 3.4.2. Contenedor de plástico utilizado en el experimento	38
Figura 3.5.1. Tratamientos utilizados en el experimento	42
Figura 3.5.2. Brote axilar de tomate	44
Figura 3.7.1.1. Medidor de CE.....	45
Figura 3.7.1.2. Potenciómetro	46
Figura 3.7.1.3. Medidor de ORP.....	47
Figura 3.7.2.1. Medición de altura de planta (AP)	49
Figura 3.7.2.2. Medición de diámetro de tallo (DT).....	49
Figura 3.7.2.6. Peso seco aéreo.....	51
Figura 4.1.1. Medias de consumo de solución nutritiva (CSN) por repetición en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.....	53
Figura 4.1.2. Medias de la variable potencial de óxido reducción 1 (ORP1) por repetición en solución nutritiva en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	55
Figura 4.1.3. Respuesta del potencial de óxido reducción 2 (ORP2) en solución nutritiva en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.....	56

Figura 4.1.4. Respuesta de altura de planta (AP) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	57
Figura 4.1.5. Respuesta de diámetro de tallo (DT) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	58
Figura 4.1.6. Respuesta de racimos florales (RF) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	59
Figura 4.1.7. Respuesta de cuajado de frutos (FC) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	61
Figura 4.1.8. Respuesta del peso fresco aéreo (PFA) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	62
Figura 4.1.9. Respuesta del peso fresco de raíz (PFR) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	63
Figura 4.1.10.1. Respuesta del peso de frutos (PF) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	65
Figura 4.1.10.2. Medias de peso de frutos (PF) por repetición en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	66
Figura 4.1.11. Respuesta del peso seco aéreo (PSA) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	67
Figura 4.1.12.1. Respuesta del peso seco de raíz (PSR) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	69
Figura 4.1.12.2. Sistema radical del tratamiento 5 repetición 1	70

Figura 4.2.1.1. Valores medios de CE de 4 fechas de medición (7, 16, 23 y 31 de mayo de 2013) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	71
Figura 4.2.1.2. Valores medios de CE (12 de junio de 2013) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	72
Figura 4.2.2.1. Valores medios de pH (7 y 16 de mayo de 2013) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	74
Figura 4.2.2.2. Valores medios de pH (23 de mayo, 31 de mayo y 12 de junio) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	75
Figura 4.3. Resultados de la sumatoria de los índices absolutos DOP en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.	78
Figura 4.4.1. Promedio de datos por tratamiento de la estimación de la eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA ms ⁻¹) en g L ⁻¹ ordenados de mayor a menor.	82
Figura 4.4.2. Promedio de datos por repetición de la estimación de la eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA ms ⁻¹) en g L ⁻¹ ordenados de mayor a menor.	83

RESUMEN

En la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se realizó el establecimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) variedad Río Grande con el fin de determinar el efecto de coadyuvantes de la nutrición en un sistema hidropónico de raíz flotante, se hizo la evaluación de 10 tratamientos cada uno con 4 repeticiones; la misma solución nutritiva y diferente concentración de líquido de lombriz (lixiviado de humus de lombriz), extracto de algas marinas (Algaenzims®) y ácidos fúlvicos.

Tratamiento 1: solución nutritiva (testigo), tratamiento 2: (solución nutritiva + 0.125 ml L⁻¹ de Algaenzims®), tratamiento 3: (solución nutritiva + 0.375 ml L⁻¹ de Algaenzims®), tratamiento 4: (solución nutritiva + 0.625 ml L⁻¹ de Algaenzims®), tratamiento 5: (solución nutritiva + 0.125 ml L⁻¹ líquido de lombriz), tratamiento 6: (solución nutritiva + 0.375 ml L⁻¹ de líquido de lombriz), tratamiento 7: (solución nutritiva + 0.625 ml/L de líquido de lombriz), tratamiento 8: (solución nutritiva + 0.125 ml L⁻¹ de ácidos fúlvicos), tratamiento 9: (solución nutritiva + 0.375 ml L⁻¹ de ácidos fúlvicos) y tratamiento 10: (solución nutritiva + 0.625 ml L⁻¹ de ácidos fúlvicos).

Los tratamientos se establecieron bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas en la solución nutritiva fueron: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), potencial de óxido reducción (ORP), consumo de solución nutritiva (CSN), eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA ms⁻¹) y eficiencia de la solución nutritiva con respecto a los elementos minerales presentes en la materia seca (EUA n⁻¹), las variables que se evaluaron en la planta fueron: altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), racimos florales (RF), peso fresco de raíz (PFR), peso seco de raíz (PSR), peso fresco aéreo (PFA), peso seco aéreo (PSA), frutos cuajados (FC) y peso de frutos (PF).

Se elaboró un diagnóstico nutricional con el método de Desviación Óptimo Porcentual (DOP), con las normas de referencia establecidas en el Manual Plant Analysis And Interpretation (Reuter y Robinson, 1986).

El análisis de varianza (ANVA) y la prueba de medias indicaron que hubo diferencia significativa entre tratamientos para la variable óxido reducción 2 (ORP2). Se encontró diferencia altamente significativa entre repeticiones en la variable potencial de óxido reducción 1 (ORP1); y diferencia significativa entre repeticiones para la variable consumo de solución nutritiva (CSN). Para las demás variables no hubo diferencia significativa para tratamientos ni para repeticiones.

De los 10 tratamientos empleados 2 fueron los más sobresalientes; el tratamiento 5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de líquido de lombriz) y el tratamiento 3 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de Algaenzims®). Estos tratamientos fueron los que generaron una mejor respuesta numérica en las variables; altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), racimos florales (RF), frutos cuajados (FC), peso fresco de raíz (PFR), peso de frutos (PF), peso seco aéreo (PSA) y peso seco de raíz (PSR), sin embargo fueron superados por el tratamiento 7 (solución nutritiva + 0.625 ml L⁻¹ de líquido de lombriz) en cuanto al balance nutrimental.

Se encontró al nitrógeno (N) como el elemento más limitante seguido del boro (B) y el hierro (Fe).

Palabras clave:

Ácidos fúlvicos, extracto de algas marinas, líquido de lombriz, solución nutritiva, raíz flotante, diagnóstico nutricional.

I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de incrementar la producción de alimentos de origen vegetal, la restricción de tierras aptas para la producción agrícola, la escasez de agua o la mala calidad de ésta para usarla en la agricultura fueron algunas de las causas que estimularon a diversos investigadores a buscar alternativas para el desarrollo de las plantas. Como resultado se generó la hidroponía a nivel comercial (Lara, 1999).

La hidroponía es una tecnología para desarrollar plantas en solución nutritiva (agua y fertilizantes), con o sin el uso de un medio artificial (arena, grava, vermiculita, lana de roca, etc.) para proveer soporte mecánico a la planta. El sistema hidropónico líquido no tiene un medio de soporte; los sistemas en agregado tienen un medio sólido de soporte (Lara, 1999).

Jensen y Collins citados por Lara (1999) hacen una clasificación de los sistemas hidropónicos, estos los clasifican como abiertos (una vez que la solución nutritiva es aplicada a las raíces de las plantas, ésta no es rehusada), o cerrados (la solución nutritiva excedente es recuperada, regenerada y reciclada).

Dentro de los sistemas hidropónicos cerrados tenemos al sistema de raíz flotante que es un sistema hidropónico por excelencia porque las raíces de las plantas están sumergidas en solución nutritiva (Ojeda, 1989).

El uso de materiales orgánicos como fertilizantes está ligado a la agricultura desde sus inicios. Los antiguos griegos ya citaban y recomendaban el uso de abonos verdes y estiércoles en la producción de cultivos (Jiménez, 2008). Los abonos orgánicos más comunes son el compost, el vermicompost, y los extractos vegetales; los cuales requieren un proceso de elaboración (Durán y Enríquez, 2007).

La técnica de hidroponía es una alternativa para la producción de hortalizas, sin duda aplicable en el proceso de producción agronómico, viable para satisfacer la demanda alimenticia del país; y por lo tanto técnica que tiene que ser revalorada, conjugándola con elementos también alternativos como es el uso coadyuvantes orgánicos (Vázquez, 2012). Dentro de los coadyuvantes orgánicos tenemos al extracto de algas marinas (Algaenzims®), al líquido de lombriz (lixiviado de humus de lombriz) y a los ácidos fúlvicos.

El tomate es una de las especies hortícolas que más se produce en hidroponía, debido a su elevado potencial productivo (el cual no es explotado completamente en campo), a su demanda nacional y mundial, así como a su alto valor económico, principalmente cuando se produce en los períodos en que no existe en campo (Lara, 1999).

Cifras oficiales muestran que la superficie utilizada para producir tomate bajo condiciones de agricultura protegida (invernadero y malla sombra) se ha incrementado sustancialmente en los últimos años, pasando de 248 hectáreas en el año 2000 a 3,066 hectáreas en 2009 (FIRA, 2011).



Figura 1.1. Cultivo de tomate en un sistema hidropónico de raíz flotante

1.1. Justificación

La técnica de hidroponía es una alternativa para la producción de hortalizas, como lo es también la aplicación de coadyuvantes orgánicos de la nutrición tales como el líquido de lombriz (lixiviado de humus de lombriz), extracto de algas marinas (Algaenzims®) y ácidos fúlvicos. Una buena combinación de abonos orgánicos y fertilizantes minerales puede permitir una reducción en el uso de agroquímicos, en beneficio del ambiente y de la salud de los consumidores, al obtenerse cosechas y productos inocuos y con menor contenido de residuos químicos.

1.2. Objetivos

Evaluar el efecto del líquido de lombriz, extracto de algas marinas (Algaenzims®) y de ácidos fúlvicos, como coadyuvantes o potenciadores de la nutrición en un sistema hidropónico de raíz flotante.

Realizar el diagnóstico nutricional de los diferentes tratamientos a evaluar.

1.3. Hipótesis

En un sistema de raíz flotante con una solución nutritiva completa más coadyuvantes orgánicos de la nutrición (extracto de algas marinas, líquido de lombriz y ácidos fúlvicos), se obtendrá mayor desarrollo y crecimiento del tomate que el tratamiento testigo (solución nutritiva sin coadyuvante).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Cultivo de tomate

Con base en cifras preliminares de 2009 la superficie sembrada en México ascendió a 101 mil 328 hectáreas de tomate. La producción nacional para abastecer el consumo se ubicó en dos millones 727 mil 691 toneladas, superficie para repartir 25 kilos a cada habitante del país. En los últimos años, por ventas al extranjero ingresaron al país más de mil millones de dólares en promedio anual (SIAP, 2009).

Uno de cada 3 tomates rojos se produce en Sinaloa, esta entidad en conjunto con otras cinco (Baja California, Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí y Baja California Sur) aportan el 65.7 % del volumen de dicho tipo de tomate. En cuanto al rendimiento destacan Querétaro, Jalisco, Estado de México y Baja California, todos por encima del promedio nacional (SIAP, 2009).

El tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) es una planta cuyo origen se localiza en Sudamérica y más concretamente en la región andina, aunque posteriormente fue llevado por los distintos pobladores de un extremo a otro, extendiéndose por todo el continente. Su nombre deriva de la lengua náhuatl de México, donde se le llamaba *tomatl*. El tomate es una planta perteneciente a la familia de las Solanáceas, denominada científicamente *Lycopersicon esculentum Mill.* Potencialmente perenne y muy sensible a las heladas, lo que determina su ciclo anual, de distinta duración según su variedad (Rodríguez, 2001).

Cuadro 2.1. Clasificación botánica del tomate

Clase	Dicotiledónea
Orden	Tubliforae
Familia	Solanáceas
Género	Lycopersicon
Subgénero	Eulycopersicon
Especie	<i>Lycopersicon esculentum Mill.</i>
Variedad botánica	Río Grande
Nombre común	Tomate, Jitomate

2.2. Hidroponía

El vocablo hidroponía proviene de dos palabras griegas *hydro* que significa agua y *ponos* que significa trabajo (Gilzans, 2007). La hidroponía es una tecnología para desarrollar plantas en solución nutritiva (agua y fertilizantes), con o sin el uso de un medio artificial (arena, grava, vermiculita, lana de roca, etc.) para proveer soporte mecánico a la planta (Lara, 1999).

Jensen y Collins (1985) citados por Lara (1999) mencionan que el sistema hidropónico líquido no tiene un medio de soporte; los sistemas en agregado tienen un medio sólido de soporte. Los sistemas hidropónicos han sido clasificados como abierto (una vez que la solución nutritiva es aplicada a las raíces de las plantas, ésta no es reusada), o cerrado (la solución nutritiva excedente es recuperada, regenerada y reciclada).

La hidroponía es ampliamente usada en el mundo para la producción de los cultivos más rentables. El tomate es una de las especies hortícolas que más se produce en hidroponía, debido a su elevado potencial productivo (el cual no es explotado completamente en campo), a su demanda nacional y mundial, así como a su alto valor económico, principalmente cuando se produce en los periodos en que no existe en campo (Lara, 1999).

2.2.1. Técnicas hidropónicas

La mayoría de las técnicas de producción en hidroponía son de sistema cerrado, la solución nutritiva excedente se recupera y, luego de restablecer su composición química, es nuevamente utilizada. El uso más eficiente de la solución nutritiva se presenta con el sistema cerrado (Lara, 1999).

Jensen y Collins (1985) citados por Lara (1999) mencionan que las técnicas hidropónicas se pueden clasificar en: técnicas en medio líquido (no agregado), dentro de éstas ubican a las técnicas en película nutritiva (NFT), hidroponía en flotación (raíz flotante) y la aeroponía; en el grupo agregado se encuentran los

cultivos en arena, grava, tezontle, perlita y otros sustratos como la lana de roca, aserrín, turba y espumas sintéticas como el poliestireno.

2.2.2. Sistema de raíz flotante

Raíz flotante es el sistema hidropónico por excelencia, ya que las raíces de las plantas están sumergidas parcialmente en la solución nutritiva (Figura 2.1). La principal técnica comercial es la técnica de flujo profundo (deep flow technique), donde planchas de poliestireno expandido que sostienen un determinado número de plantas, flotan sobre una solución nutritiva aireada frecuentemente a través de un compresor de aire. Este sistema se usa en proyectos de hidroponía social en diferentes países latinoamericanos, generalmente para cultivar hortalizas de hojas, como lechuga, albahaca, apio, menta, entre otras. Es muy importante airear la solución nutritiva; esto se puede hacer inyectando aire con una compresora o manualmente, utilizando un batidor plástico limpio, por lo menos dos veces al día. De esta manera es posible redistribuir los nutrientes y oxigenar la solución (Ojeda, 1989).

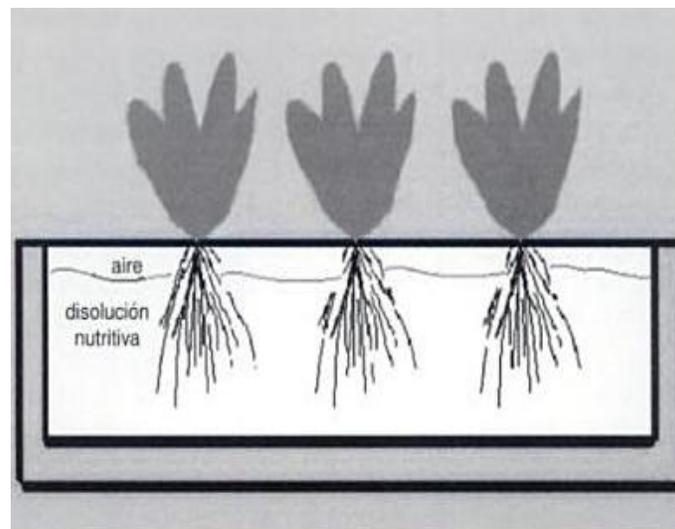


Figura 2.1. Sistema tradicional de raíz flotante

2.3 Solución nutritiva (SN)

En 1961 Steiner en Holanda, propuso el concepto de la solución nutritiva universal. Esta solución nutritiva clasifica a los nutrimentos según su carga eléctrica. Los aniones (carga negativa) considerados son el fosfato (H_2PO_4^-), el nitrato (NO_3^-) y el sulfato (SO_4^{--}), mientras los cationes (carga positiva) considerados son potasio (K^+), calcio (Ca^{++}) y magnesio (Mg^{++}). Steiner propuso que debe existir una relación entre aniones y cationes para que las plantas puedan aprovecharlos al máximo. Determinó que la relación entre aniones deben de oscilar entre; 50 - 70 % de NO_3^- , 3 - 20 % de H_2PO_4^- y 24 - 40 % de SO_4^{--} . Para el caso de los cationes 30 - 40 % de K^+ , 35 - 55 % de Ca^{++} y 15 - 30 % de Mg^{++} . Sugirió finalmente que la solución nutritiva universal debía contener las proporciones entre aniones y cationes como se muestra en el Cuadro 2.3 (Castellanos, 2009).

Cuadro 2.3. Relación de concentraciones (meq L^{-1}) para aniones y cationes Steiner (1980) citado por Castellanos (2009).

Aniones (-)			Cationes (+)		
NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{-2}	Ca^{+2}	K^+	Mg^{+2}
60 %	5 %	35 %	45 %	35 %	20 %

Steiner (1968) citado por Lara (1999) menciona que la solución nutritiva consiste en agua con oxígeno y los nutrimentos esenciales en forma iónica. Algunos compuestos orgánicos como los quelatos de fierro forman parte de la solución nutritiva. Una solución nutritiva verdadera debe tener disponibles los nutrientes que contiene, todos los iones se deben encontrar disueltos. La pérdida por precipitación de una o varias formas iónicas de los nutrimentos puede ocasionar su deficiencia en la planta, además de este problema se genera un desbalance en la relación mutua entre los iones.

Graves (1983) citado por Lara (1999) indica que la solución nutritiva se debe proporcionar a las plantas a una temperatura mayor de 8° C ya que con temperaturas más bajas algunos nutrientes como el fósforo, hierro y calcio no pueden ser absorbidos por las plantas. Es importante realizar un análisis del agua para conocer entre otros aspectos su potencial de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica (CE), contenido de carbonatos, bicarbonatos, nutrimentos, y elementos tóxicos. Los elementos nutritivos deberán restarse en el cálculo de fertilizantes y los carbonatos y bicarbonatos neutralizarse con algún ácido (página web **[1]**).

Los factores de la solución nutritiva (SN) que tienen mayor influencia en la producción de tomate en hidroponía son: la relación mutua entre los aniones, la relación mutua entre los cationes, la concentración de nutrimentos (CE), la relación $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$, el pH, y la temperatura. El pH para cualquier condición debe ser mantenido entre 5.5 y 6.0 y la temperatura lo más cercana a 22°C. Un inapropiado manejo de la solución nutritiva (SN) en cualquiera de estos factores o la interacción entre ellos, afecta la nutrición de la planta y, por ende, el rendimiento y la calidad de los frutos (Lara, 1999).

2.3.1. Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva (SN)

Existe una relación directa entre la concentración de nutrimentos y la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva. Al aumentar la conductividad eléctrica, la planta debe destinar mayor energía para absorber agua y nutrimentos. Este desgaste de energía puede ser causa de pérdida de energía metabólica. El conjunto de estos fenómenos puede ser reflejado en una disminución del desarrollo de la planta (Lara, 1999).

Steiner (1973) citado por Lara (1999) reporta que la conductividad eléctrica de la solución nutritiva influye en la composición química de las plantas, al aumentar la conductividad eléctrica aumenta la concentración de K^+ en las plantas

a expensas principalmente del Ca^{++} , también se incrementa la concentración de P y en menor medida de NO_3^- , ambos a costa del SO_4^- . Este comportamiento se presenta independientemente de la etapa de desarrollo.

Steiner y Resh (1973) citados por Lara (1999) observaron que las plantas toleran una mayor CE en invierno que en verano. Además mencionan que en la medida que la solución nutritiva (SN) aumenta su conductividad eléctrica (CE), disminuye la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes. Una solución nutritiva (SN) con conductividad eléctrica (CE) menor que la que requieren las plantas (menor que 2 dS m^{-1}), puede inducir deficiencias nutrimentales. Al aumentar la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva (SN) a más de 6 dS m^{-1} , además de inducir una deficiencia hídrica ocasiona desbalances nutrimentales.

La ecuación recomendada para estimar la CE en soluciones nutritivas dentro del intervalo de 1.5 a 4.0 (dS m^{-1}) es la siguiente: $\text{CE} = \text{suma de cationes}/10$, donde los cationes vienen expresados en meq L^{-1} y la CE en dS m^{-1} (Maldonado *et al.*, 2004).

El incremento en la salinidad afecta la absorción y transporte de nutrientes en la planta. La alta presión osmótica disminuye el estado hídrico de la planta, la corriente transpiratoria, el flujo de masas y en consecuencia el transporte de nutrientes, especialmente del calcio y boro (Maldonado *et al.*, 2004).

Uno de los problemas inherentes a los cultivos sin suelo es el elevado nivel de salinidad. La salinidad tiene un gran efecto en las relaciones de agua de las plantas (Maldonado *et al.*, 2004).

La conductividad eléctrica (CE) apropiada para la producción de tomate está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales; humedad relativa, temperatura y luz (Lara, 1999).

2.3.2. Presión osmótica

Segal (1989) citado por Aparicio (2013) menciona que la respuesta de las plantas en crecimiento y desarrollo a la solución nutritiva del cultivo hidropónico depende de varios factores, el más importante de éstos es la concentración total de iones, expresada como presión osmótica de la solución nutritiva, que es una propiedad fisicoquímica de las soluciones que depende de la cantidad de partículas, o solutos disueltos.

Maldonado *et al.*, (2004) mencionan que un estrés osmótico reduce tanto el consumo de elementos nutritivos como de agua, aunque tiene repercusiones más negativas en la absorción de elementos minerales, lo que explica que pueda producirse un aumento de la salinidad de la solución nutritiva y disminución del rendimiento.

Maldonado *et al.*, (2004) indican que para una conductividad eléctrica media ($1.5 - 3.0 \text{ dS m}^{-1}$) la presión osmótica, consecuencia de la presencia de sales en la disolución nutritiva, se mantendrá dentro de los valores medios recomendados entre 0.5 y 1.0 atm.

2.3.3. Potencial de hidrógeno (pH) de la solución nutritiva (SN)

Un parámetro a controlar en los sistemas hidropónicos es el pH de la solución nutritiva, es decir el grado de acidéz o alcalinidad de la solución. El nivel de pH influye directamente sobre la absorción de los nutrientes por parte de la planta (Gilzans, 2007).

De Reijck y Schrevens (1998) citados por Lara (2000), mencionan que el pH de la solución nutritiva (SN) es una propiedad inherente de la composición mineral. El pH óptimo de la SN es entre 5.5 y 6.0, de esta manera se logra; regular el contenido de HCO_3^- , solubilizar al H_2PO_4^- , se evita la precipitación de Fe^{++} y Mn^{++} y la relación $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$.

Maldonado *et al.*, (2004) mencionan que el pH que rodea el sistema radical influye de manera importante sobre el crecimiento y desarrollo fisiológico de las plantas. El pH de la solución nutritiva está relacionado con la absorción de iones. Con pH alcalino (>7.5) se disminuye la absorción de NO_3^- y H_2PO_4^- , independientemente de la concentración de éstos.

A pH ácidos (<7.0) disminuye la absorción de K^+ y NH_4^+ por competencia con H^+ en los sitios de absorción y esta interacción es mayor cuando el pH se aproxima a 4. Cuando el pH es menor de 4 se produce una despolarización de la membrana celular de raíces por exceso de H^+ , que cambia el gradiente electroquímico a ambos lados de la membrana produciendo que el K^+ difunda hacia el exterior. El Ca^{++} , Mg^{++} y Mn^{++} son disminuídos en su absorción a pH ácido, mientras que la absorción de aniones es ligeramente favorecida (Maldonado *et al.*, 2004).

2.4. Potencial de óxido reducción (ORP)

El potencial de óxido reducción (ORP) es una propiedad fisicoquímica que presentan los solutos capaces de intercambiar electrones con un electrodo inerte. El potencial de óxido reducción influye en el crecimiento bacteriano en forma independiente del oxígeno disuelto (Martínez, 2005).

Las reacciones de óxido reducción controlan el contenido y características de la materia orgánica presente. La sustancia más común presente en un agua

que puede ser oxidada por el oxígeno es la materia orgánica de origen biológico. Si se supone, por simplicidad, que la materia orgánica es un hidrato de carbono polimérico con una fórmula empírica aproximada a CH₂O, la reacción de oxidación que tendría lugar sería:



(página web **[2]**)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se define como la cantidad total de oxígeno requerido por los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable. El aporte de carga orgánica acelera la proliferación de bacterias que agotan el oxígeno (página web **[3]**).

Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene una muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla) (página web **[4]**).

Un parámetro que permite medir la disponibilidad de oxígeno para los microorganismos es el llamado potencial rédox. Este mide la disponibilidad en términos eléctricos, de tal forma que un valor positivo en la lectura indica un ambiente más aeróbico que un valor negativo. Al faltar el oxígeno los microorganismos toman otros minerales del suelo para su respiración. El Cuadro 2.4.1 ilustra la secuencia en la cual son utilizados los minerales por parte de la microflora del suelo (página web **[5]**).

Cuadro 2.4.1. Secuencia de utilización de minerales por parte de la microflora

Concentración de oxígeno	Mineral respirado	Potencial rédox (mV)
Hipoxia (Concentración de O ₂ menor a la normal)	Reducción de NO ₃ ⁻ a NO ₂ ⁻	+500 a +450
	Formación de Mn ⁺²	+450 a +350
Anoxia (Ausencia total de O ₂)	Ausencia de O ₂	+330
	Ausencia de NO ₃ respirable	+220
	Formación de Fe ⁺²	+150
	Reducción de SO ₄ ⁻² a SH ₂	-50
	Ausencia de SO ₄ ⁻² respirable	-180

Fuente: Página web [5]

La actividad metabólica microbiana puede alterar el potencial rédox como resultado de una respiración aeróbica intensa y de la secreción de sustancias reductoras (página web [4]).

El potencial de óxido reducción del agua potable se encuentra prácticamente en los límites de +200 milivoltios (mV) hasta +500 mV (González, 2013).

El potencial rédox es afectado generalmente por la concentración de oxígeno disuelto. Al bajar el potencial rédox en aguas y sedimentos, se observa una disminución en la concentración de oxígeno disuelto y la reducción de iones y moléculas importantes para la nutrición de microorganismos y formas de vida superior (Cuadro 2.4.2). Dicha relación es observada en cuerpos de agua contaminados con altas concentraciones de materia orgánica oxidable. Ambientes de agua dulce en equilibrio con el oxígeno atmosférico, tienen valores alrededor de +800 mV, cuando la tensión de oxígeno en dicho ambiente disminuye, el potencial rédox también baja (página web [4]).

Cuadro 2.4.2. Concentración de oxígeno disuelto y reducción de iones importantes para la nutrición de microorganismos y formas de vida superior

Parejas rédox	Eh ₇ (milivoltios)*	Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)
NO ₃ ⁻ - NO ₂ ⁻	+450 a +400	4.0
NO ₂ ⁻ - NH ₃	+400 a +350	0.4
Fe ⁺³ - Fe ⁺²	+300 a +200	0.1
SO ₄ ²⁻ - S ²⁻	-150 a -200	0.0
CO ₂ - CH ₄	-250 a -300	0.0

*Eh₇ = Potencia rédox a pH 7

Fuente: Página web [4]

2.5. Extracto de algas marinas (Algaenzims®)

Es mucha la literatura que trata sobre el uso de algas marinas y sus derivados en la agricultura y son muchos los países que siguen esta práctica, pues los resultados en los rendimientos y la calidad de las cosechas son muy satisfactorios. De los estudios hechos en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y de las pruebas de campo llevadas a cabo con agricultores cooperantes, se reporta que se han alcanzado rendimientos extras de 1 a 3 t ha⁻¹ de maíz, trigo y arroz, los básicos más importantes, cuando se les ha aplicado Algaenzims®, que es un extracto de algas marinas hecho en México (Canales, 1999).

Algaenzims® es un vigorizante de las plantas 100% orgánico, mejorador de suelos y potenciador de los insumos agrícolas, para ser utilizado en todo tipo de cultivos. Esta elaborado a base de extractos de algas marinas y plantas desérticas que, en conjunto, da energía al crecimiento y desarrollo de las plantas y corrige las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, dando así, como resultado, una excelente calidad y rendimientos en las cosechas (página web [6]).

2.5.1. Obtención del producto Algaenzims®

Algaenzims®, es un producto biológico orgánico que es obtenido por un proceso patentado tal, que extrae de las algas marinas el máximo en sus componentes sin perder sus atributos (página web [7]).

Canales (2001) indica que cuando el proceso para la elaboración de los derivados de algas marinas es el adecuado, los microorganismos que con ellas viven asociados, permanecen en estado viable y se propagan donde se aplican, además al incinerar las algas, dejan un residuo de cenizas cinco o seis veces mayor que el que dejan las plantas; consecuentemente, tienen más metabolitos y, por lo tanto, más enzimas.

2.5.2. Composición del producto Algaenzims®

Las algas marinas contienen todos los elementos mayores, intermedios y elementos traza que ocurren en las plantas (Cuadro 2.5.2). Algaenzims® contiene sustancias naturales con efectos similares a los reguladores de crecimiento de las plantas tales como: auxinas, citocininas y giberelinas, agentes quelatantes, vitaminas, carbohidratos, proteínas, aminoácidos y complejos enzimáticos. Los microorganismos marinos (bacterias, halófitos, mohos, levaduras y gérmenes aeróbicos) sintetizan enzimas (marinas), cuyas acciones van más allá que las de las enzimas continentales (las que sintetizamos los seres continentales), que mejoran y vigorizan las plantas (página web [7]).

Crouch y Van Staden (1992) citados por Canales (1999), mencionan que dentro de los compuestos ya identificados en las algas marinas se tienen agentes quelatantes como ácidos algínicos, fúlvicos y manitol así como vitaminas, cerca de 5000 enzimas y algunos compuestos biocidas que controlan algunas plagas y enfermedades de las plantas.

Las algas marinas, aparecieron en la tierra millones de años antes que las plantas y microorganismos continentales, han desarrollado formas biológicas más efectivas que las de las plantas para defenderse de sus predadores. Las Algaenzims® contienen: enzimas marinas, que actúan contra las enzimas de los predadores; sustancias inhibitoras que actúan contra las enzimas de los predadores; sustancias tóxicas a los predadores; sustancias repelentes a los predadores, sustancias que, al cambiar el medio del suelo, sacan de hábitat a los predadores; con estas acciones, Algaenzims® ayuda biológicamente a las plantas a defenderse (página web [7]).

Algaenzims® contiene microalgas cianofitas, 500 enzimas no desnaturalizadas, agentes quelatantes, un complejo de ácidos orgánicos, sustancias biocidas, 27 reguladores de crecimiento, todos los elementos mayores e intermedios y todos los elementos traza que ocurren en las plantas en forma metabólica que son fácilmente tomados por las plantas (Canales, 1999).

Cuadro 2.5.2. Composición del producto Algaenzims®

Elemento	ppm	Compuesto	Porcentaje %
Potasio (K)	14,800	Materia orgánica	4.15
Nitrógeno (N)	14,500	Proteína	1.14
Sodio (Na)	13,660	Fibra cruda	0.43
Magnesio (Mg)	1,320	Cenizas	0.28
Fósforo (P)	750	Azúcares	0.13
Calcio (Ca)	620	Grasas	0.03
Zinc (Zn)	505		
Hierro (Fe)	440		
Cobalto (Co)	275		
Cobre (Cu)	147		
Manganeso (Mn)	72		
Silicio (Si)	4		
Molibdeno (Mo)	< 0.1		
Bario (Ba)	< 0.1		
Estaño (Sn)	< 0.1		
Talio (Tl)	< 0.1		
Níquel (Ni)	< 0.1		
Antimonio (Sb)	< 0.1		

Fuente: Página web [6]

2.5.3. Efectos del producto Algaenzims®

Al aplicar algas marinas en la agricultura se aporta un complejo enzimático extra diverso y cuantioso que efectúa cambios en las plantas y en el suelo que sin ellos, no toman lugar (Canales, 1999).

Senn (1987) citado por Canales (1999), reporta que la incorporación de algas al suelo incrementa las cosechas y favorece la calidad de los frutos básicamente porque se administran a los cultivos no sólo todos los macronutrientes y micronutrientes que requiere la planta, sino también 27 sustancias naturales cuyos efectos son similares a los reguladores de crecimiento.

Fox y Cameron (1961) citados por Canales (1999), mencionan que al aplicar extractos de algas marinas vía foliar, las enzimas que éstas contienen refuerzan en las plantas sus defensas y su sistema alimentario (nutrición) y activan sus funciones fisiológicas (vigor).

Las microalgas cianofitas que los extractos de algas conllevan, ya sea que se apliquen vía foliar o al suelo, fijan el nitrógeno del aire aún en las no leguminosas, dando como resultado plantas más sanas con mejor nutrición y más vigorosas (Martínez y Salomon 1995 citados por Canales 1999).

Blunden, Wildgoose (1977) y Booth 1966 citados por Canales (2001) encontraron que al aplicar extracto de algas marinas en el cultivo de tomate se incrementó el contenido de N, P, K, Mg y Fe.

Senn y Kingman (1978) citados por Canales (1999) reportan que al aplicar extracto de algas marinas en el cultivo de tomate se incrementó la resistencia a las heladas.

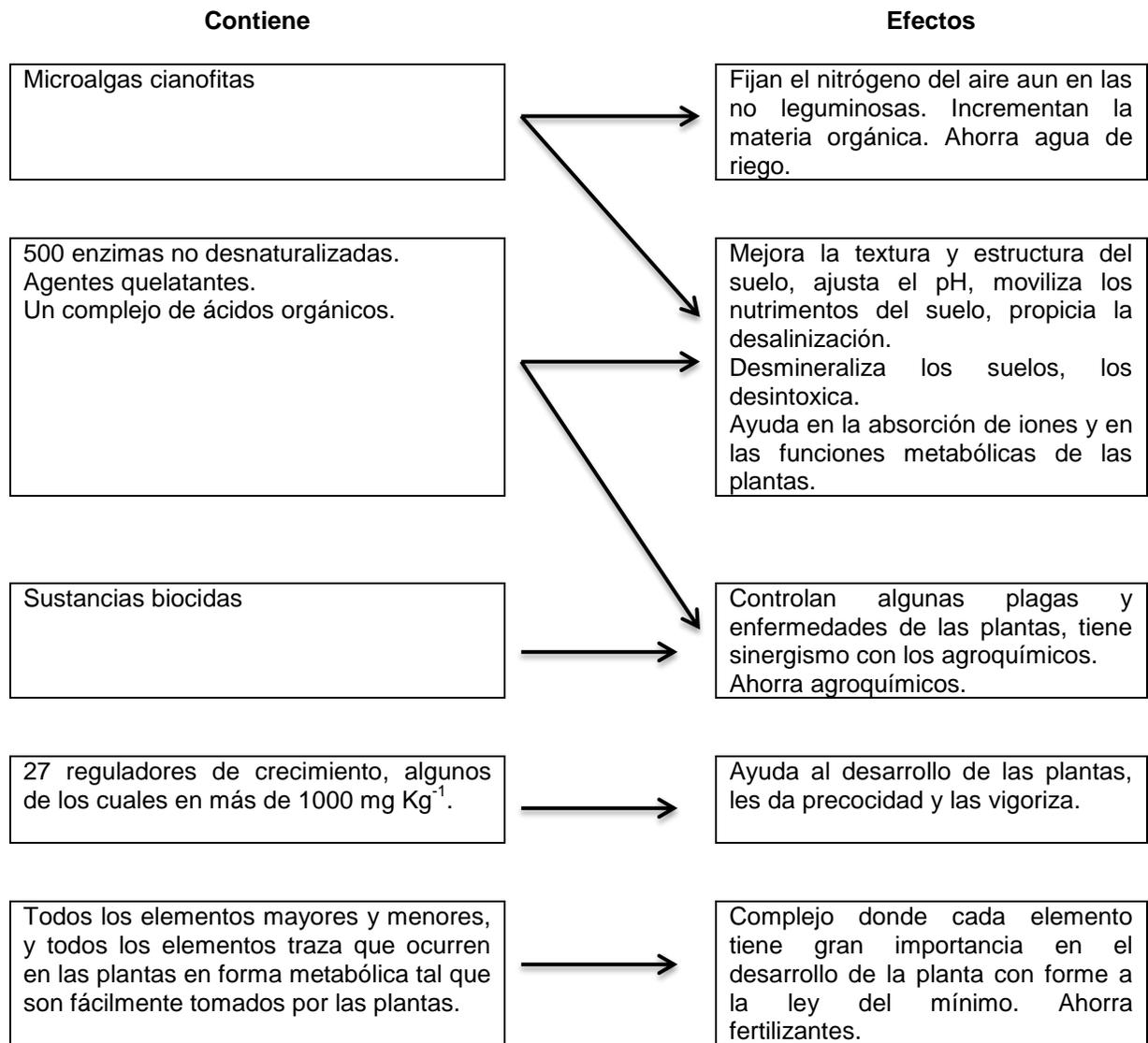
Blunden (1973) citado por Canales (2001) reportó un incremento en cosecha de un 20 % en tomate en Florida U.S.A al aplicar extracto de algas marinas al suelo y vía foliar.

Álvarez (2000) encontró que al aplicar el extracto de algas marinas (Algaenzims®) en la Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*), Variedad Río Grande, en un sistema con acolchado se incrementó el rendimiento en un 21 % más que el tratamiento testigo.

Canales (1999), menciona que la aplicación de extractos de algas marinas se considera únicamente en cultivos de riego y buen temporal, dado que las principales reacciones enzimáticas que se dan son de hidrólisis que sin agua no tienen lugar o, con escasez de la misma, su actividad es menor.

Las algas marinas y/o sus derivados mejoran el suelo (Cuadro 2.5.3) y vigorizan las plantas incrementando los rendimientos y la calidad de las cosechas, su uso es ya común en muchos países del mundo y a medida que esta práctica se extienda, irá sustituyendo el uso de los insumos químicos por orgánicos, favoreciendo así la agricultura sustentable (Canales, 1999).

Cuadro 2.5.3. Efectos de los extractos de las algas marinas en planta y suelo



Fuente: Canales, 1999

2.6. Líquido de lombriz (lixiviado de humus de lombriz)

Se le denomina humus de lombriz (lombricomposta) al producto resultante de la transformación digestiva y metabólica de la materia orgánica, mediante la crianza sistemática de lombrices de tierra, denominada lombricultura, que se utiliza fundamentalmente como mejorador, recuperador o enmienda orgánica de suelos, abono orgánico, inoculante microbiano, enraizador, germinador, sustrato de crecimiento, entre otros usos (NMX-FF-109-SCFI-2007).

De la Cruz (2006) menciona que el lombricomposteo es el proceso en el cual se utiliza la lombriz de tierra para la transformación de residuos orgánicos, principalmente estiércoles en abonos orgánicos para utilizarlos en los cultivos. La especie de lombriz que se utiliza para la vermicomposta, es la roja californiana *Eisenia foetida*, es una especie domesticada que se reproduce rápidamente, alcanzando en poco tiempo altas densidades de población, además su manejo es muy fácil. Los abonos orgánicos que se obtienen son humus líquido y lombricomposta que se pueden aplicar en los cultivos libremente ya que con este tipo de abonos es muy difícil causar intoxicación por exceso.

2.6.1. Obtención del líquido de lombriz (lixiviado de humus de lombriz)

Labrador (2001) citado por Jiménez (2008) menciona que la materia orgánica descompuesta mediante la ayuda de lombrices es conocida como vermicomposta. En este proceso se transforman los desperdicios orgánicos al ser ingeridos, digeridos y mezclados en el tubo digestivo con compuestos minerales, microorganismos y fermentos que provocan una transformación bioquímica inicial de la materia orgánica y finalmente son excretados por las lombrices.

La vermicomposta es un sustrato estabilizado de gran uniformidad, contenido nutrimental y con una excelente estructura física, porosidad, aereación, drenaje y capacidad de retención de humedad (Capistrán 2001 citado por Jiménez 2008).

Las lombrices actúan como batidoras mecánicas ya que desintegran el material orgánico, incrementan el área superficial expuesta a los microorganismos y mueven los fragmentos y los excrementos ricos en bacterias, en consecuencia estabilizan el material orgánico (Sandoval, 2011).

Canellas y Arruda (2003) citados por Ramos (2011) mencionan que el abono de lombriz o vermicompost está constituido por las excretas de las lombrices composteras, que tiene la misma apariencia y olor de la tierra negra con un olor a mantillo de bosque.

La parte sólida que se obtiene de la vermicomposta es el humus propiamente dicho y la parte líquida que es el efluente o lixiviado (líquido de lombriz) que se recolecta a lo largo del proceso. En los últimos años se han venido evaluando estos lixiviados así como los extractos acuosos de compost y vermicompost, comúnmente denominados como tés, subproductos del proceso antes mencionado (González, 2013).

El humus de lombriz sólido puede ser tratado con agua para obtener soluciones acuosas que contienen la concentración de los elementos solubles más importantes presentes en el mismo, a lo que se denomina comúnmente como humus líquido o líquido de lombriz (Almaguer, 2012).

El nombre de humus de lombriz líquido es incorrecto porque el humus en si se refiere a una materia orgánica, de consistencia sólida, elaborada a partir de los residuos o deyecciones de microorganismo o macroorganismos (Casco, 2003).

Según Casco (2003) hay 3 distintas formas de obtener líquido de lombriz, las cuales son:

1. Mezclar 1 parte de humus y 5 partes de agua, reposar 48 horas, agitar periódicamente y filtrar. Volver a diluir en 1 parte de concentrado en 4 partes de agua para utilizar nuevamente.
2. Disolver 1 parte de humus en 10 partes de agua, batiéndola y dejándola reposar unas 48 horas y filtrar.
3. Depositar en un módulo los desechos orgánicos y las lombrices: a medida que se riega para mantener la humedad hay una pérdida de agua más una cantidad de nutrientes y microorganismos. Líquido que posteriormente se recoge.

El líquido de lombriz es un producto obtenido mediante el proceso de filtración o lavado (lixiviado) de los canteros donde está trabajando la lombriz en la descomposición de la materia orgánica (página web **[8]**).

Los extractos de vermicomposta a base de agua pueden ser utilizados para adicionarlos a la superficie del suelo o a las plantas directamente. Estos productos pueden ser de dos tipos, lixiviados de las camas de vermicomposta y extractos acuosos de vermicomposta madura (Recycled Organics Unit, 2003).

Los extractos acuosos se obtienen de vermicomposta madura que ha sido remojada excesivamente en agua, filtrado los sólidos para obtener un producto líquido. Están compuestos de una solución de nutrimentos orgánicos e inorgánicos y un gran número de organismos, incluyendo bacterias y hongos (Recycled Organics Unit, 2003).

2.6.2. Composición del líquido de lombriz (lixiviado de humus de lombriz)

Aranda y Barois (1999), afirman que la calidad y composición de la lombricomposta depende mucho de la materia orgánica de la cual se origina. No puede esperarse producir una lombricomposta de excelente calidad fertilizante a partir de un residuo orgánico de inferior calidad.

Ramos (2011), menciona que la calidad del vermicompost dependerá de la materia orgánica utilizada en su producción, que da lugar al humus con diferentes características fisicoquímicas y microbiológicas.

El contenido nutrimental de la vermicomposta es variable como la composición química del sustrato que fue usado para alimentar a las lombrices, la calidad del mismo y la variedad de lombriz que se use (Jiménez, 2008).

Durán y Enríquez (2007), sugieren la necesidad de caracterizar las fuentes orgánicas para la producción de la vermicomposta.

El humus de lombriz está compuesto por C, O₂, N, así como macro y micro nutrimentos en diferentes proporciones, tales como Ca, K, Fe, Mn y Zn entre otros (Cuadro 2.6.2). Los contenidos finales del material dependerán básicamente de la fuente de origen y la humedad del material cuando el proceso finaliza (Fraile y Obando, 1994, citados por Durán y Enríquez, 2007).

La vermicomposta es rica en microorganismos, enzimas y bacterias además contiene fósforo, potasio y gran cantidad de micronutrimentos (Barbado, 2003, citado por Sandoval, 2011).

La vermicomposta funciona como base para la formación de múltiples compuestos que mantienen la actividad microbiana, como son las sustancias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, y huminas), (Ramos, 2011).

Los lixiviados de lombriz son un producto que aún no está totalmente estudiado (Basilio y Galba, 2012, citados por González, 2013). El lixiviado es una suspensión alcalina que contiene ácidos húmicos y fúlvicos (González, 2013).

Cuadro 2.6.2. Composición del lixiviado del humus de lombriz

Parámetros	Unidades	Símbolo	Contenido
Nitrógeno	%	N	0.65
Fosforo	%	P	0.01
Potasio	%	K	1.21
Calcio	%	Ca	1.87
Magnesio	%	Mg	1.06
Sodio	%	Na	1.51
Ácidos húmicos	%	AH	5.01
Ácidos fúlvicos	%	AF	1.48
Hierro	mg kg ⁻¹	Fe	14
Zinc	mg kg ⁻¹	Zn	2.3
Manganeso	mg kg ⁻¹	Mn	3.1
Cobre	mg kg ⁻¹	Cu	3.1
Boro	mg kg ⁻¹	B	27
Flora microbiana benéfica	*UFC ml ⁻¹	FMB	1 x 10 ⁶

* 1 UFC ml⁻¹ = 1 unidad (bacteria) capaz de reproducirse y formar una colonia viable de bacterias benéficas. Por cada ml de lixiviado de humus de lombriz tenemos 1,000, 000 de unidades (bacterias) formadoras de colonias de bacterias benéficas.

Fuente: Etiqueta del producto utilizado en el experimento, que se obtuvo de la tienda de Empresas Universitarias de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

2.6.3. Efectos del líquido de lombriz (lixiviado de humus de lombriz)

Numerosos estudios han demostrado que la adición de humus de lombriz a los cultivos tiene efectos beneficiosos sobre el crecimiento y desarrollo de gran cantidad de especies vegetales. Los mecanismos a través de los que se produce esta estimulación incluyen el aporte de nutrientes, la mejora de las propiedades físicas del sustrato y el aporte de microorganismos beneficiosos para el desarrollo vegetal capaces de aumentar la disponibilidad de nutrientes y producir sustancias con efectos fitohormonales (Domínguez y Lazcano, 2010).

Los lixiviados de lombriz son ricos en microorganismos benéficos (bacterias, hongos, etc.), que impiden el desarrollo de patógenos (que generan enfermedad), reduciendo sensiblemente el riesgo de desarrollo de enfermedades (página web **[8]**).

Atiyeh (2002) citado por Jiménez (2008) menciona que debido a la vermicomposta, se ha observado incremento en la actividad de las micorrizas y se ha suprimido la población de nemátodos.

Gajalakshmi (2001) citado por Jiménez (2008) señala que dentro de los beneficios de las vermicompostas, está la aportación de enzimas y hormonas que estimulan el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Capistrán (2001) citado por Jiménez (2008) menciona que dentro del proceso de la descomposición orgánica de la vermicomposta se da la formación de sustancias húmicas. Estas sustancias tienen una composición química a base de carbono, hidrógeno y oxígeno, con una organización coloidal de partículas muy pequeñas. Cada partícula cargada negativamente, es capaz de retener por adherencia infinidad de cationes.

Las vermicompostas presentan una baja relación carbono: nitrógeno, lo cual permite evitar fenómenos de competencia por nutrientes (nitrógeno) entre los microorganismos del suelo y los cultivos que en él se desarrollen (Bollo, 2005).

El metabolismo de los microorganismos presentes en el humus de lombriz líquido proporciona sustancias que provocan un efecto regulador de los procesos de crecimiento, salud y producción de las plantas, que implican la presencia de un importante contenido hormonal y enzimático, estimulando y regulando la formación de raíces, absorción de elementos nutritivos, crecimiento, floración y fructificación; que dan lugar a una mayor producción (página web **[9]**).

Jiménez (2008), realizó un experimento en lechuga. Reporta que la aplicación en niveles bajos de extracto de vermicomposta tiene un efecto favorable, ya que se incrementaron las concentraciones nutrimentales de macronutrientes en las hojas de lechuga con respecto al testigo.

Muscolo (1999) citado por Jiménez (2008) encontró que la aplicación de excretas de lombriz a células de zanahoria provocaron los mismos efectos que al tratarlas con auxinas (AIA), promoviendo crecimiento celular, incremento de aminoácidos y afectando el metabolismo de los nitratos (NO_3^-). Concluyó que este material puede influenciar el crecimiento vegetal vía efectos fisiológicos gracias a que contienen sustancias húmicas de bajo peso molecular que tenían efectos parecidos a hormonas reguladoras del crecimiento.

Se ha demostrado que la adición del vermicompost a los suelos y sustratos de cultivo incrementa considerablemente el crecimiento y la productividad de una gran cantidad de cultivos hortícolas tales como el tomate, la lechuga, los pimientos y las fresas. Algunos frutales como el plátano y la papaya y algunas plantas ornamentales como los geranios, las petunias, y las flores de pascua (Domínguez y Lazcano, 2010).

Casco (2003), menciona que los fertilizantes líquidos elaborados con extracto de humus (líquido de lombriz) aportan ácidos húmicos y fúlvicos, microorganismos vivos propios para la nitrificación y solubilización de minerales presentes en el suelo.

El extracto de humus de lombriz (líquido de lombriz) aplicado al suelo o a la planta actúa como racionalizante de fertilización ya que hace asimilables en todo su espectro a los macro y micro nutrientes, evitando la concentración de sales. Crea además un medio ideal para la proliferación de organismos benéficos, bacterias, hongos, etcétera, que impiden el desarrollo de patógenos, reduciendo sensiblemente el riesgo en el desarrollo de enfermedades, además estimula la

humificación propia del suelo ya que incorpora y descompone los residuos vegetales presentes en el suelo (Casco, 2003).

2.7. Ácidos fúlvicos

Las sustancias húmicas son macromoléculas orgánicas diferentes y más estables que los compuestos de donde provienen, constituyen al humus. Las sustancias húmicas se clasifican de acuerdo a su solubilidad en álcalis y ácidos, en ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF) y huminas residuales (HR) (página web [10]).

Los ácidos fúlvicos se caracterizan por su peso molecular bajo y por su solubilidad tanto en ambientes alcalinos como ácidos (página web [11]).

El origen etimológico de los ácidos fúlvicos (AF) proviene del latín *fulvus* que significa amarillo intenso, amarillo rojizo, dorado o color moreno. Los ácidos fúlvicos (AF) son moléculas de bajo peso molecular (relativamente), extremadamente complejas, solubles en agua, ya sea a pH ácido o básico; su estructura molecular (Figura 2.7.1) le confiere sus raras propiedades y naturaleza bioactiva. Es importante mencionar, que la forma correcta de llamar a estos compuestos es ácidos fúlvicos (plural) y no ácido fúlvico, ya que no consisten en una sola sustancia, sino que son un conjunto de sustancias variadas y complejas que reflejan la naturaleza de las planta, animales y especies de los microorganismos que les dieron origen durante el proceso de humificación (Melo, 2006).

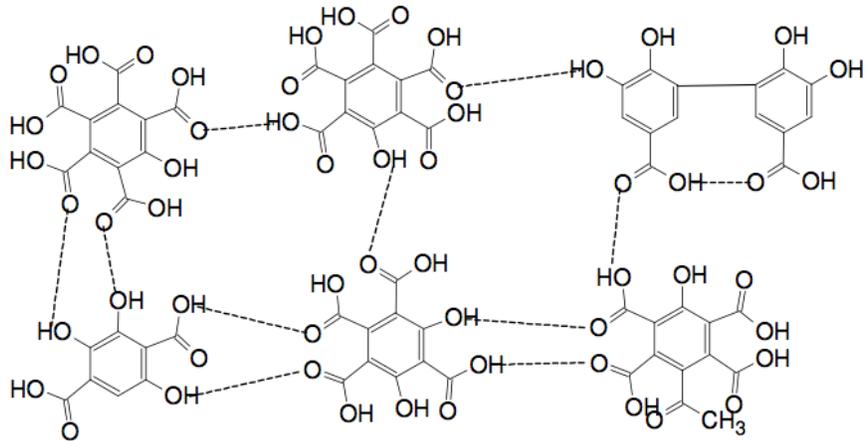


Figura 2.7.1. Estructura hipotética de los ácidos fúlvicos (AF) según Schnitzer y Khan (1972) citados por Melo (2006)

Según Hernández (2011), los ácidos fúlvicos (AF) son sustancias solubles en medios alcalinos. Son polímeros con un anillo aromático, grupos fenólicos y alto contenido de grupos carboxílicos con peso molecular bajo, con un 45 % de carbono y 48 % de oxígeno. Una de sus características es su coloración clara, mayor contenido de oxígeno y bajo contenido de carbono.

2.7.1. Obtención de los ácidos fúlvicos (AF)

La leonardita es una sustancia terrosa, blanda, de color marrón oscuro carbonosa, asociada al lignito. La leonardita es una materia orgánica que no ha alcanzado el estado de carbón, en el proceso de transformación, o fosilización de residuos vegetales. La leonardita tiene extrema bioactividad debida a su estructura molecular. La actividad biológica es unas cinco veces mayor que cualquier otra materia húmica (página web [12]).

Se emplean métodos denominados no degradativos y degradativos para la extracción de sustancias húmicas (Cuadro 2.7.1), de cualquier material orgánico humificado y/o suelos, por su facilidad el más empleado (aunque es degradativo) es por vía química, el cual consiste en el uso de hidróxido de sodio (NaOH) a concentraciones de 0.1, 0.5 y 1.0 N en solución acuosa, aunque también han sido probadas algunas sales neutras y ácidos orgánicos, como el pirofosfato de sodio a 0.1 N y 0.1 M e hidróxido de potasio al 0.1 y/o 0.5 N (página web [10]).

Cuadro 2.7.1. Extractantes de sustancias húmicas (SH) más utilizados

Extractante	% aproximado de SH extraídas
NaOH	80%
Na ₄ P ₂ O ₇ y otros	30%
Agentes orgánicos quelatantes	30 %
Ácido fórmico	55%

Fuente: Stevenson citado por Melo (2006)

2.7.2. Composición de los ácidos fúlvicos

De acuerdo a Schnitzer (1978) citado por Rodríguez (2008), los principales componentes de las sustancias húmicas son el carbono (C) y el oxígeno (O). En los ácidos fúlvicos (AF) el contenido de carbono (C) se encuentra entre 40 % a 50 % y el de oxígeno (O) de 40 a 50 %.

Los AF son moléculas poco polimerizadas con grandes cantidades de grupos carboxílicos, hidróxidos, aminas, unos cuantos anillos aromáticos y cadenas laterales alifáticas de gran longitud. Estos grupos reactivos les proporcionan un carácter global ácido y una elevada capacidad de intercambio catiónico (CIC). (Melo, 2006).

La leonardita gracias a su material de origen (ricos éteres y ésteres orgánicos de la vegetación jugosa del paleozóico) y a su formación a través de tantos millones de años, se distingue por su excepcional actividad biológica que es superior a los ácidos húmicos y fúlvicos provenientes de otras fuentes (página web [11]).

Los ácidos fúlvicos contienen un gran número de hormonas, enzimas y elementos minerales tales como N, P, K, Ca y Mg (página web [22]).

Cuadro 2.7.2. Composición química de los ácidos fúlvicos (AF) de leonardita utilizados en el experimento

Elemento	Símbolo	Contenido	Unidades
Nitrógeno Total	N	0.26	%
Fosforo	P	0.20	%
Potasio	K	0.79	%
Calcio	Ca	1300	mg L ⁻¹
Magnesio	Mg	70	mg L ⁻¹
Sodio	Na	46	mg L ⁻¹
Fierro	Fe	71	mg L ⁻¹
Cobre	Cu	0.9	mg L ⁻¹
Zinc	Zn	0.1	mg L ⁻¹
Azufre	S	0.01	mg L ⁻¹
Cobalto	Co	0.02	mg L ⁻¹

Análisis químico Dr. Edmundo Peña Cervantes. Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2013

2.7.3. Efectos de los ácidos fúlvicos

En condiciones hidropónicas se ha observado que los AF inducen a una precocidad en la floración y modifican el desarrollo de la raíz, es decir, hay mayor cantidad de raíces, lo que sugiere una posible interacción de los AF con los procesos de desarrollo (Eyheraguibel, 2008, citado por Hernández, 2011).

Se cree que las sustancias húmicas (AF y AH) intervienen directamente en una gran cantidad de procesos fisiológicos involucrados con el crecimiento de las plantas e indirectamente en la nutrición vegetal en forma similar a los intercambiadores de iones sintéticos (agentes quelatantes), sin embargo, este mecanismo no está bien dilucidado (página web **[10]**).

Los ácidos fúlvicos (AF) son de gran importancia en los cultivos, ya que evitan que las tierras se compacten; ayudan a transferir nutrientes del suelo a la planta, aumentan la capacidad de retención de agua, incrementan la velocidad de germinación de las semillas y estimulan la proliferación de la microflora presente en el suelo (Senesi y Brunetti, 1991, citados por Melo, 2006).

La complejación y/o quelatación de cationes, es probablemente el más importante papel de las sustancias húmicas (AF y AH) con respecto a los sistemas vivos (vegetales), porque al quelatar los iones, ellos facilitan la disponibilidad de éstos para algunos mecanismos, uno de los cuales es prevenir su precipitación y otro puede ser su influencia directa en la disponibilidad de los iones (López, 2002).

En los AF existen muchos grupos funcionales que contienen en su estructura átomos de oxígeno que se asocian con iones de metales alcalinotérreos (comúnmente Ca y Mg) y metales de transición (Cu, Fe, Zn, y Ni). Los cationes monovalentes como Na^+ y K^+ pueden formar enlaces electrostáticos débiles con un solo grupo funcional de los AF, mientras que los iones metálicos divalentes pueden complejarse con dos sitios aniónicos adyacentes formando con ello un quelato, que posee una unión mucho más fuerte que la formada con cationes monovalentes (Steinberg, 2003, citado por Melo 2006).

Los ácidos fúlvicos (AF) penetran las raíces. Luego se translocan a todas las partes de la planta. Los AF aumentan la actividad celular al aumentar el metabolismo. Hasta muy pequeñas concentraciones de AF son capaces de activar los sistemas enzimáticos en las plantas y su resultado se observa especialmente en la respiración de la planta. Los AF son excelentes quelatantes e intercambiadores catiónicos. Esas propiedades funcionales de los ácidos fúlvicos son de vital importancia en la nutrición de toda clase de plantas (página web [11]).

El mecanismo de crecimiento inducido por ácidos fúlvicos aún no está totalmente estudiado y se proponen varias explicaciones como: el aumento de la permeabilidad de las membranas, la absorción de oxígeno, respiración y la fotosíntesis, absorción de fósforo por la raíz y elongación celular, transporte de iones y actuando como citoquininas (Dursun, 2007, citado por Hernández, 2011).

Un ejemplo muy claro del efecto de sustancias húmicas en el crecimiento de diferentes órganos en plantas, fue presentado por Rauthan y Schnitzer (1981) que el adicionar ácidos fúlvicos a concentraciones de 100 mg L^{-1} de agua, en plantas de pepino, incrementaron la longitud de raíz en 31 %, el peso del tallo en 81 %, el peso de la planta en 130 %, el número de hojas por planta 40 % y el aumento de flores por planta fue de 145 %.

2.8. Diagnóstico nutricional

La absorción total de nutrientes se ha empleado como guía para definir el programa nutricional para un cultivo. Este puede ser mejorado al considerar los diferentes estados de desarrollo de la planta, es decir, el crecimiento vegetativo, formación de flores y una cosecha sostenible (Rojas, 2010).

La alimentación de las plantas puede ser considerada bajo dos puntos de vista; el cualitativo (reflejado en su equilibrio) y el cuantitativo (reflejado en los contenidos de los diferentes nutrientes). El análisis foliar, en el caso de los árboles frutales, y el análisis de planta, en general, constituyen los instrumentos más utilizados por técnicos e investigadores para conocer la situación nutritiva de un cultivo en un determinado momento de su ciclo vegetativo (Montañés *et al.*, 1991).

El análisis químico de tejido vegetal es una excelente herramienta para conocer el estado nutrimental en casi la totalidad de los vegetales; su objetivo fundamental es diagnosticar anomalías nutrimentales en los cultivos (Alcántar y Sandoval, 1999).

El Método de Desviación del Óptimo Porcentual (DOP) es un índice de interpretación del análisis vegetal, que permite el diagnóstico realista de una situación nutricional dada y que permite conocer el orden de limitación, tanto por exceso como por déficit, de cada uno de los nutrientes considerados (Montañés *et al.*, 1991).

Según Montañés *et al.*, (1991) el índice DOP es definido como la desviación porcentual de la concentración de un elemento (% sobre materia seca) con respecto a la concentración óptima considerada valor de referencia (Cuadro 2.8). El signo del DOP para un determinado elemento, será negativo en caso de déficit y positivo en caso de exceso. Cuando el contenido de la muestra coincida con el óptimo de referencia el DOP será igual a cero. El Índice de Desviación del Óptimo Porcentual se calcula aplicando la siguiente relación:

$$DOP = \frac{C \times 100}{C_{ref}} - 100$$

donde;

C: Concentración foliar (en porcentaje sobre materia seca) del elemento en la muestra analizada.

Cref: Es el óptimo del mismo elemento (porcentaje sobre materia seca) definido en las mismas condiciones en que fue tomada la muestra problema y, lógicamente, para el mismo cultivo.

Cuadro 2.8. Valores utilizados como referencia

Elemento	Símbolo	Unidades	Valor optimo
Nitrógeno	N	%	5.0
Fósforo	P	%	0.6
Potasio	K	%	4.0
Calcio	Ca	%	2.7
Magnesio	Mg	%	0.625
Azufre	S	%	0.22
Cobre	Cu	mg L ⁻¹	10
Zinc	Zn	mg L ⁻¹	25
Manganeso	Mn	mg L ⁻¹	75
Hierro	Fe	mg L ⁻¹	200
Boro	B	mg L ⁻¹	65
Molibdeno	Mo	mg L ⁻¹	0.6

Fuente: Reuter y Robinson, (1986)

Calculando este DOP para cada uno de los nutrientes minerales considerados o que se incluyeron en el estudio, dispondremos del “panorama” nutricional de la planta y podremos emitir, con suma rapidez, un diagnóstico que permite la adecuada toma de decisiones. Para la interpretación de estos índices deben tenerse en cuenta las siguientes normas generales:

- Los valores negativos del DOP señalan una situación de déficit y los positivos reflejan un exceso del elemento correspondiente.

- El valor numérico absoluto indica la importancia o gravedad de la situación anómala. Lógicamente cuando el índice DOP sea cero el elemento correspondiente se halla en óptima concentración.
- El DOP permite conocer directamente el orden relativo de limitación entre los elementos considerados.
- El DOP permite matizar la situación de los nutrientes definiendo tres categorías; los limitantes por déficit, los limitantes por exceso y aquellos que manifiestan un contenido óptimo (Montañés *et al.*, 1991).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del experimento

El presente trabajo se realizó en el invernadero del Departamento de Ciencias del Suelo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Figura 3.1), ubicada a 7 km al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila, con una altitud de 1743 msnm, la temperatura media anual es de 19.8°C. El invernadero tiene 50 m², sus medidas son de 5 m de ancho por 10 m de largo, es de tipo túnel, cuenta con extractor de aire en la parte superior y afuera esta recubierto por una malla con 30 % de sombreo.



Figura 3.1. Localización del área experimental

3.2. Establecimiento y desarrollo de la investigación

El trabajo de investigación se estableció en el período comprendido entre el 25 de abril del 2013 y el 5 de julio del 2013 con plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

3.3. Material vegetal

La variedad con la que se trabajó en este experimento fue la variedad Río Grande (Figura 3.3), la cual es una variedad determinada. Es un tomate tipo saladette, de gran tamaño y sabor. Las plántulas se obtuvieron del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.



Figura 3.3. Plántulas de tomate variedad Río Grande

3.4. Preparación del sistema de raíz flotante

En este trabajo se utilizaron contenedores de plástico sin perforar con un volumen de 6 litros, los cuales venían con sus respectivas tapaderas, las tapas se perforaron con un taladro, quedando aproximadamente un hueco de 5 cm de diámetro, donde se introdujo una pedazo de esponja con un corte transversal para colocar la plántula de tomate, previamente lavada con agua potable para eliminar residuos del sustrato donde se germinó la semilla (Figura 3.4.1).



Figura 3.4.1. Lavado de plántula

Se adicionó una fuente de oxígeno a los contenedores; para esto se instalaron cuatro bombas de acuario marca Elite, modelo 802, una bomba para cada diez macetas. Las tapas de las macetas se pintaron de negro para evitar problemas con algas (Figura 3.4.2).



Figura 3.4.2. Contenedor de plástico utilizado en el experimento

3.5. Descripción de los tratamientos y cálculo de la solución nutritiva

Se establecieron diez tratamientos con 4 repeticiones. Se utilizaron los coadyuvantes de la nutrición: líquido de lombriz, ácidos fúlvicos y extracto de algas marinas (Cuadro 3.5.1). Se utilizó la misma solución nutritiva y 3 diferentes dosis de coadyuvantes de la nutrición por cada tratamiento, las cuales fueron 0.125 ml L⁻¹, 0.325 ml L⁻¹ y 0.625 ml L⁻¹.

Cuadro 3.5.1. Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Solución nutritiva	Coadyuvante de la nutrición	Dosis ml L ⁻¹
1 *	100 %	0	0
2	100 %	Algaenzims®	0.125
3	100 %	Algaenzims®	0.375
4	100 %	Algaenzims®	0.625
5	100 %	Líquido de lombriz	0.125
6	100 %	Líquido de lombriz	0.375
7	100 %	Líquido de lombriz	0.625
8	100 %	Ácidos fúlvicos	0.125
9	100 %	Ácidos fúlvicos	0.375
10	100 %	Ácidos fúlvicos	0.625

* El tratamiento 1 es el Testigo

Se presentan en el Cuadro 3.5.2 los valores del análisis químico del agua potable que se utilizó en este experimento; los valores de cada elemento que conforman la solución nutritiva al 100 % en la que se encuentran todos los elementos esenciales para la planta se muestran en el Cuadro 3.5.3.

Cuadro 3.5.2. Análisis químico del agua potable utilizada

CE = 0.6

pH = 7.1

meq L ⁻¹								
HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺
2.8	0.98	2.2	0	0	0.15	3.6	0	1.4

Fuente: Laboratorio de Calidad de Aguas, Jardín Hidráulico, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, 2006

Cuadro 3.5.3. Solución nutritiva ideal (Cadahia, 2005)

Iones	meq L ⁻¹						mg L ⁻¹					
	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	Ca	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
	15	2.0	5.0	10	9.0	3.0	2.0	1.0	0.1	0.1	1.0	0.05

En los Cuadros 3.5.4, 3.5.5, 3.5.6, 3.5.7 y 3.5.8 se cita el procedimiento para calcular una solución nutritiva.

Cuadro 3.5.4. Solución nutritiva final

meq L ⁻¹	Aniones -				Cationes +				H
	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	HCO ₃	Ca	Mg	K		
Agua de Riego	0	0	2.2	2.8	0.15	3.6	0		
Solución Ideal	15	2.0	5.0	0	10	3	9		
Aportes finales	15	2.0	2.8	*2.15	9.85	0	9		2.15

*Se dejó 0.65 meq L⁻¹ de HCO₃⁻ como buffer; 2.15 meq L⁻¹ se neutralizaron con ácido (H⁺)

Cuadro 3.5.5. Diseño de la solución nutritiva

	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	TOTAL
K ⁺	4.0	2.0	3.0	9.0
Ca ⁺⁺	9.85			9.85
Mg ⁺⁺				0
H ⁺	1.15	1		2.15
TOTAL	15	3.0 *	3.0 *	+ 21 - 21

Los iones con * se ajustaron para cerrar el cuadro de la solución nutritiva
La CE final es de 2.1

Cuadro 3.5.6. Cálculos finales para aporte de macronutrientes

Fuente	meq L ⁻¹	*Factor	g L ⁻¹ o ml L ⁻¹	500 Litros
KNO ₃	4	0.10	0.4 g	200 g
KH ₂ PO ₄	2	0.14	0.28 g	140 g
K ₂ SO ₄	3	0.09	0.27 g	135 g
Ca(NO ₃) ₂ + 4 H ₂ O	9.85	0.12	1.182 g	591 g
HNO ₃	1.15	0.06	0.069 ml	34.5 ml
H ₃ PO ₄	1	0.06	0.06 ml	30 ml

* En el cuadro 3.5.7 se muestra el procedimiento para obtener los factores

Cuadro 3.5.7. Cálculos para obtener factores

Fuente	Cálculos	Factor
KNO ₃	K=39 + N=14 + O=16 x 3 = 48 =101, 101/1000 = 0.10	0.10
KH ₂ PO ₄	K=39 + H=2 + P=31+ O=16 x 4 = 64 =136, 136/1000 = 0.13	0.13
K ₂ SO ₄	K=39 x 2= 78+ S=32 + O=16 x 4 = 64 = 174/2 = 87, 87/1000 = 0.08	0.08
Ca(NO ₃) ₂ + 4 H ₂ O	Ca=40 + N=14 x 6 = 84 + O=16 x 7 = 112 + H=1 x 8 = 8, = 244/2 =122, 122/1000 = 0.12	0.12
HNO ₃ Riqueza = 70 % Densidad = 1.42 ml/g	H=1 + N=14 + O=16 x 3 = 48, = 63 (63 g/1 eq) (1eq/1.42ml/g) (100/70 * 1 eq) / 1000 meq = (63g) (0.70) (1.43) / 1000 = 63.38 = 63.38 / 1000 meq = 0.06 ml/meq	0.06
H ₃ PO ₄ Riqueza = 85 % Densidad = 1.75 ml/g	H=1 x 3 = 3 + P=31 + O=16 x 4 = 64, = 98 98 g/1 eq) (1eq/1.75 ml/g) (100/85 * 1 eq) / 1000 meq = (98g) (0.57) (1.18) / 1000 = 65.88 = 65.88/1000 meq= 0.06 ml/meq	0.06

Cuadro 3.5.8. Cálculos para aporte de micronutrientes

Fuente	Concentración y/o peso molecular	Elemento	mg L ⁻¹	Cálculos	Gramos / 500 L
EDTA de Fe *	18 %	Fe	2.0	(2mg L ⁻¹) (100/18) = (2mg L ⁻¹) (5.55) = 11.1 mg L ⁻¹	5.55 g
Mn SO ₄ + 4 H ₂ O	169 / 55 = 3.07	Mn	1.0	(1mg L ⁻¹) (169/55) = (1mg L ⁻¹) (3.07) = 3.07 mg L ⁻¹	1.6 g
EDTA de Cu	9 %	Cu	0.1	(0.1mg L ⁻¹) (100/9) = (0.1mg L ⁻¹) (11.11) = 1.11 mg L ⁻¹	0.6 g
EDTA de Zn	9 %	Zn	0.1	(0.1mg L ⁻¹) (100/9) = (0.1mg L ⁻¹) (11.11) = 1.11 mg L ⁻¹	0.6 g
H ₃ BO ₃	62 / 11 = 5.63	B	1.0	(1.0 mg L ⁻¹) (62/11) = (1.0 mg L ⁻¹) (5.63) = 5.63 mg L ⁻¹	2.82 g
(NH ₄) ₆ MO ₇ O ₂₄ + 4 H ₂ O	1236 / 672 =1.84	Mo	0.05	(0.05 mg L ⁻¹) (1236/672) = (0.05mg L ⁻¹) (1.84) = 0.092 mg L ⁻¹	0.05 g

Se prepararon garrafones de 19 litros de solución madre, cada uno para 500 litros de solución nutritiva, posteriormente se acondicionaron las soluciones para los 10 tratamientos como se muestra en la Figura 3.5.1.

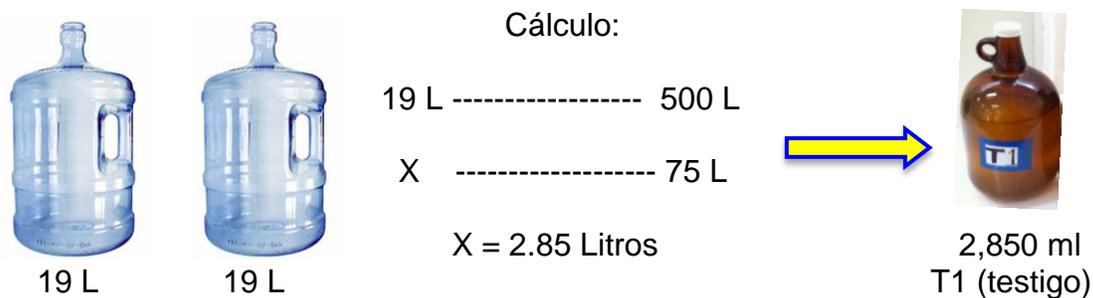


Figura 3.5.1. Tratamientos utilizados en el experimento

Posteriormente se procedió a hacer el cálculo para añadir solución nutritiva a los contenedores. Al hacer los cálculos se toma en cuenta el contenido final de cada tratamiento (Cuadro 3.5.9) y la capacidad de la maceta (6 litros) y se hace una regla de 3. Por ejemplo, para el tratamiento 1 el cálculo se hizo de la siguiente manera:

2.85 L ----- 75 L

X ----- 6 L

$$X = 228 \text{ ml}$$



6 Litros

228 ml de solución madre del tratamiento + 5,772 ml de agua = 6,000 ml, que es el volumen final de cada contenedor.

Cuadro 3.5.9. Composición de los tratamientos utilizados

Tratamiento	Solución madre	Coadyuvante	* Total (ml)
1	2,850 ml	0	2,850 ml
2	2,850 ml	9.375 ml (AE)	2,859.375 ml
3	2,850 ml	28.125 ml (AE)	2,878.125 ml
4	2,850 ml	46.875 ml (AE)	2,896.875 ml
5	2,850 ml	9.375 ml (LL)	2,859.375 ml
6	2,850 ml	28.125 ml (LL)	2,878.125 ml
7	2,850 ml	46.875 ml (LL)	2,896.875 ml
8	2,850 ml	9.375 ml (AF)	2,859.375 ml
9	2,850 ml	28.125 ml (AF)	2,878.125 ml
10	2,850 ml	46.875 ml (AF)	2,896.875 ml

AE = Extracto de algas marinas (Alagaenzims®)

LL = Líquido de lombriz

AF = Ácidos fúlvicos

* Contenido final de tratamiento = (solución madre + coadyuvante)

3.6. Labores culturales

3.6.1 Tutoreo

A la semana de establecer los tratamientos se realizó el tutoreo, el cual consistió en poner un anillo de plástico con rafia en la parte más baja del tallo y conforme crecía la planta se enrollaba rafia en el tallo.

3.6.2. Poda de brotes axilares

Las podas se hacían cada vez que los brotes axilares superaban un tamaño de 10 cm, ya que estas brotes o “chupones” (Figura 3.5.2) pueden absorber nutrientes y provocar que los frutos no logren la calidad deseada. Las podas se hicieron con tijeras previamente desinfectadas por cada tratamiento y repetición.

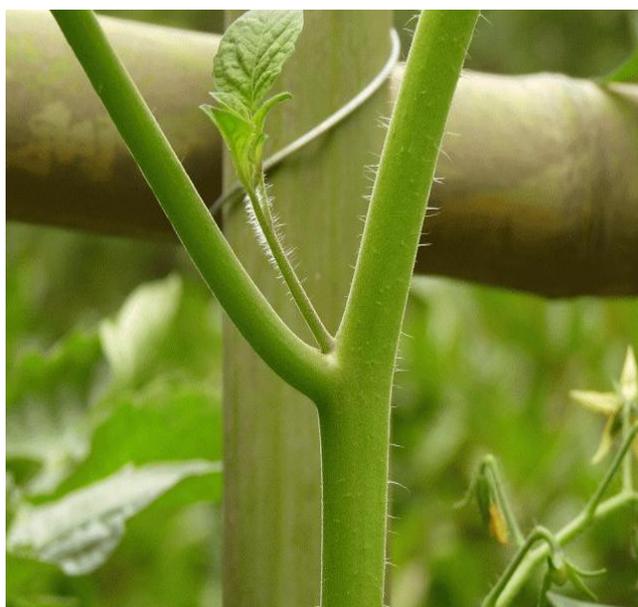


Figura 3.5.2. Brote axilar de tomate

3.7. Variables evaluadas

3.7.1. Variables evaluadas en la solución nutritiva

Las variables evaluadas en la solución nutritiva fueron: potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), potencial de óxido reducción (ORP), consumo en litros por maceta (CL M⁻¹), eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA ms⁻¹) y eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a los elementos minerales (EUA n⁻¹).

3.7.1.1. Medición de la conductividad eléctrica (CE)

Para realizar la medición de la CE se utilizó un instrumento portátil marca HANNA modelo HI 98130 (Figura 3.7.1.1). Las mediciones se hicieron directamente en el invernadero donde estaba ubicado el trabajo experimental (Invernadero del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro).



Figura 3.7.1.1. Medidor de CE

3.7.1.2. Medición del potencial de hidrógeno (pH)

Para realizar la medición del pH se utilizó un instrumento marca HANNA modelo 8519 (Figura 3.7.1.2). Las mediciones se realizaron en el laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.



Figura 3.7.1.2. Potenciómetro

3.7.1.3. Medición del potencial de óxido reducción (ORP)

Para realizar la medición del ORP se utilizó un instrumento portable marca American Marine Inc, modelo PINPOINT® ORP Monitor, con un rango de medición de $-2,000$ mV a $+2,000$ mV (Figura 3.7.1.3). Las mediciones se hicieron directamente en el invernadero donde estaba ubicado el trabajo experimental (Invernadero del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro).



Figura 3.7.1.3. Medidor de ORP

3.7.1.4. Consumo en litros por maceta (CL M^{-1})

Se contabilizó el consumo de solución nutritiva de cada tratamiento y de cada repetición, cuando la maceta necesitaba solución nutritiva, se le adicionó y se contabilizó.

3.7.1.5. Eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA ms^{-1})

Se estimaron las eficiencias del uso de solución nutritiva con respecto a materia seca con los datos de peso seco de planta y con los datos de consumo de litros por maceta, mediante la ecuación $\text{EUA ms}^{-1} = \text{ms}/\text{ET}$, como lo hacen Fernández y Camacho (2005) citados por Requejo (2008), es decir se consideró el peso seco de la planta (ms) y el denominador ET lo conformó el consumo de solución nutritiva por cada tratamiento.

3.7.1.6. Eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a los elementos minerales ($EUA\ n^{-1}$)

Se estimaron las eficiencias del uso de solución nutritiva con respecto a los elementos minerales, con los datos de los resultados de los análisis de tejidos y con los datos que se tomaron de el consumo en litros por maceta, mediante la ecuación $EUA\ n^{-1} = n/ET$, como lo hacen Fernández y Camacho (2005) citados por Requejo (2008), es decir se consideraron los resultados de los análisis de tejidos y la concentración de cada elemento mineral (N,P,K,Ca,Mg,S,Fe,B,Cu,Mn,Zn) y el denominador (ET) lo conformó el consumo de solución nutritiva por cada tratamiento.

3.7.2. Variables evaluadas en la planta

Se evaluaron las variables; altura de la planta (AP), diámetro de tallo (DT), peso fresco de raíz (PFR), peso seco de raíz (PSR), peso fresco aéreo (PFA), peso seco aéreo (PSA), frutos cuajados (FC) y peso de frutos (PF).

3.7.2.1. Altura de planta (AP)

Esta variable se registró a los 71 días después del trasplante de las plántulas. Se obtuvo la altura de cada tratamiento y de cada repetición, para ello se empleó una cinta métrica tomando la distancia en cm de la base de la planta hasta el ápice (Figura 3.7.2.1).



Figura 3.7.2.1. Medición de altura de planta (AP)

3.7.2.2. Diámetro de tallo (DT)

El diámetro del tallo, se obtuvo midiendo con un vernier a una altura de 1.5 cm sobre el cuello de cada tratamiento y de cada repetición (Figura 3.7.2.2). La evaluación se realizó a los 71 días después del trasplante y se tomaron los datos en milímetros.



Figura 3.7.2.2. Medición de diámetro de tallo (DT)

3.7.2.3. Peso fresco de raíz (PFR)

El peso fresco de raíz se obtuvo a los 71 días después del trasplante, se pesó cada tratamiento y cada repetición con una balanza electrónica marca Sartorius modelo 1216 MP con capacidad de 1,200 g.

3.7.2.4. Peso seco de raíz (PSR)

El peso seco de raíz se obtuvo a los 71 días después del trasplante. Se metieron las raíces a una estufa de secado marca MAPSA modelo HDP – 334 a una temperatura de 60° C durante 48 horas. Se utilizó una balanza electrónica marca Sartorius modelo 1216 MP con capacidad de 1,200 g, para pesar las muestras, se le restó el peso fresco al peso seco.

3.7.2.5. Peso fresco aéreo (PFA)

El peso fresco de planta se obtuvo a los 71 días después del trasplante. Se pesó cada tratamiento y cada repetición con una balanza electrónica marca Sartorius modelo 1216 MP con capacidad de 1,200 g.

3.7.2.6. Peso seco aéreo (PSA)

El peso seco aéreo se obtuvo a los 71 días después del trasplante se metieron las plantas a una estufa de secado marca MAPSA modelo HDP – 334 a una temperatura de 60° C durante 48 horas. Se utilizó una balanza electrónica marca Sartorius modelo 1216 MP con capacidad de 1,200 g (Figura 3.7.2.6), para pesar las muestras, se le restó el peso fresco al seco.



Figura 3.7.2.6. Peso seco aéreo

3.7.2.7. Frutos cuajados (FC)

El número de frutos se obtuvo a los 71 días después del trasplante, a cada planta se le contabilizó el número de frutos cuajados.

3.7.2.8. Peso de frutos (PF)

El peso de frutos se obtuvo a los 71 días después del trasplante, se pesaron todos los frutos de cada tratamiento y de cada repetición. Para ello se utilizó una balanza electrónica marca Sartorius modelo 1216 MP con capacidad de 1,200 g.

3.8. Análisis estadístico

Se utilizó el programa “Statistical Product and Service Solutions” (SPSS) (página web [13]), en la versión 7.0 para realizar el análisis estadístico y la prueba de medias de Tukey. El diseño experimental usado fue el de bloques al azar con diez tratamientos y cuatro repeticiones.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 4.1 se presentan los cuadrados medios y significancia correspondientes a las variables evaluadas en el experimento. En él se puede observar que hubo diferencia significativa entre tratamientos para la variable óxido reducción 2 (ORP 2). Se encontró diferencia altamente significativa para repeticiones en la variable potencial de óxido reducción 1 (ORP 1) y diferencia significativa entre repeticiones para la variable consumo de solución nutritiva (CSN). No hubo diferencia significativa para tratamientos ni para repeticiones en las variables; altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), racimos florales (RF), frutos cuajados (FC), peso fresco aéreo (PFA), peso fresco de raíz (PFR), peso de frutos (PF), peso seco aéreo (PSA) y peso seco de raíz (PSR),

Cuadro 4.1. Cuadrados medios y prueba de F de los análisis de varianza para tomate establecido en un sistema hidropónico de raíz flotante

FV	GL	CSN	ORP1	ORP2	AP	DT	RF	FC	PFA	PFR	PF	PSA	PSR
T	9	50.54	159.6	3161.07	668.9	5.3	5.3	26.8	921600.4	3488.6	8845.1	159.9	33.4
		NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
R	3	185.41	7718.2	67.62	552.4	4.1	3.7	61.9	351875.1	7643.1	19834.4	351.0	69.4
		*	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
EE	40	56.72	231.7	108.89	806.6	4.4	3.7	31.1	2723107.5	3855.6	10378.0	269.8	38.1
CV		50.16	5.20	4.1	31.80	20.8	42.9	97.3	684.0	57.7	160.4	40.9	41.6

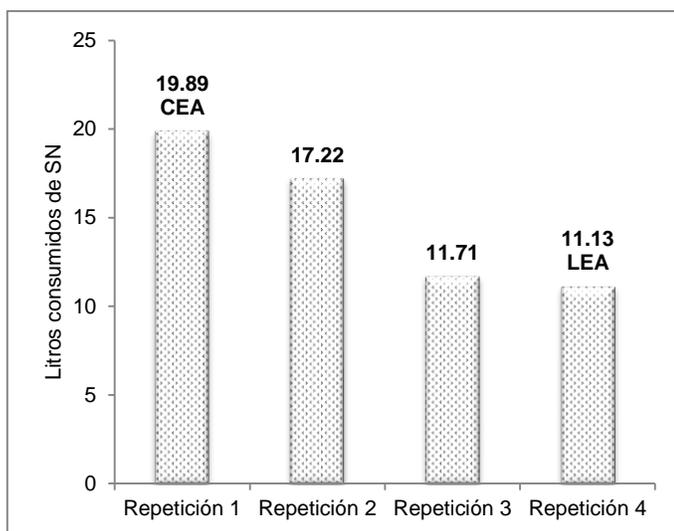
FV = Fuente de variación, T = Tratamientos, R = Repeticiones, EE = Error experimental, CV = Coeficiente de variación, GL = Grados de libertad, CSN = Consumo de solución nutritiva, ORP1 = Potencial de óxido reducción 1, ORP2 = Potencial de óxido reducción 2, AP = Altura de planta, DT = Diámetro de tallo, RF = Racimos florales, FC = Frutos cuajados, PFA = Peso fresco aéreo, PFR = Peso fresco de raíz, PF = Peso de frutos, PSA = Peso seco aéreo, PSR = Peso seco de raíz, NS = No significativo, * Significancia al 0.05, ** Significancia al 0.01

4.1. Comparación de medias para cada variable

Debido a que no hubo diferencia estadística entre los tratamientos se hizo la descripción de los valores numéricos.

4.1.1. Consumo de solución nutritiva (CSN)

El ANVA para el CSN no fue significativo para tratamientos, sin embargo hubo significancia entre repeticiones (Cuadro 4.1). Esto se debe a que en el invernadero en el que se realizó el experimento no tiene condiciones homogéneas. Esa heterogeneidad del invernadero produjo que la repetición 1 tuviera una media de CSN de 19.89 litros, mientras que alejado del extractor de aire (EA) la repetición 4 tuvo una media de CSN de 11.13 litros. La repetición 2 tiene una media de CSN de 17.22 litros y la repetición 3 tuvo una media de consumo de solución nutritiva de 11.71 litros como se muestra en la Figura 4.1.1.



SN = Solución nutritiva, CEA = Cerca de extractor de aire, LEA = Lejos de extractor de aire

Figura 4.1.1. Medias de consumo de solución nutritiva (CSN) por repetición en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

Rodríguez (2001) menciona que la temperatura influye en todos los procesos fisiológicos de la planta (Cuadro 4.1.1), como son la transpiración, fotosíntesis, etc. Temperaturas altas afectan de manera significativa al crecimiento y rendimiento del cultivo del tomate. Cerca del abanico las temperaturas oscilaron entre 22 y 28° C; mientras que alejado del abanico las temperaturas oscilaron entre 32 y 38° C.

Cuadro 4.1.1. Efectos de la temperatura ambiente en la planta de tomate

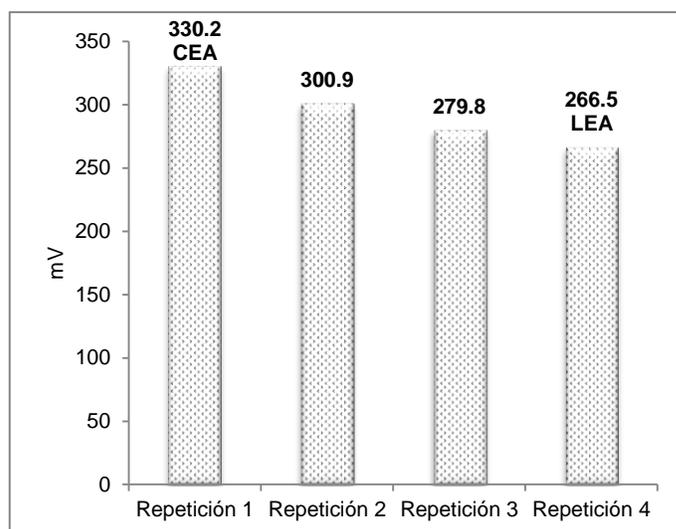
Temperatura	Efecto que produce en la planta
Mínima 8 – 12° C	Los procesos de toma de nutrientes y crecimiento alcanzan una intensidad mínima o se detienen; si la temperatura mínima se prolonga por varios días la planta se debilita, y si ocurren temperaturas por debajo de este nivel, la planta sufre una progresiva decadencia o muere.
Óptima 21 – 27° C	Todos los procesos bioquímicos se desarrollan normalmente; el crecimiento vegetativo, la floración y la fructificación son adecuados.
Máxima 32 – 36° C	Los procesos bioquímicos y de toma de nutrientes están al máximo, son excesivos y agotadores para la planta, se presentan desórdenes fisiológicos y se detiene la floración; cuando estas temperaturas se prolongan ocurre la muerte de la planta.

Fuente: Página web [15]

4.1.2. Potencial de óxido reducción 1 (ORP1)

El ANVA para ORP1 no fue significativo para tratamientos, sin embargo hubo una alta significancia entre repeticiones (Cuadro 4.1). Esto se debe a que en el invernadero en el que se realizó el experimento no tiene condiciones homogéneas. Esa heterogeneidad del invernadero produjo que la repetición 1 tuviera una media de ORP1 de 330.2 mV , mientras que alejado del extractor de aire (EA) la repetición 4 tuvo una media de ORP1 de 266.5 mV. La repetición 2 tiene una media de ORP1 de 300.9 mV y la repetición 3 tuvo una media de ORP1 de 279.8 mV como se muestra en la Figura 4.1.2. Al subir la temperatura del ambiente también sube la temperatura de la solución nutritiva. Esto concuerda con lo que describe Gilzans (2007) que menciona que a mayor temperatura de la

solución nutritiva los valores de oxígeno (O_2) descienden. La disponibilidad de oxígeno está muy relacionada con la temperatura, la estrecha correlación entre ella es inversa, de forma que en una disolución nutritiva disminuye el oxígeno disuelto conforme aumenta de temperatura (Morard y Silvestre, 1996).



mV = Minivoltios, CEA = Cerca de extractor de aire, LEA = Lejos de extractor de aire

Figura 4.1.2. Medias de la variable potencial de óxido reducción 1 (ORP1) por repetición en solución nutritiva en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

4.1.3. Potencial de óxido reducción 2 (ORP2)

Para esta variable se observó diferencia significativa entre tratamientos y no para repeticiones (Cuadro 4.1). El tratamiento 1 (testigo) y el tratamiento 2 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AE) fueron favorecidos en su ORP con lecturas de 306.25 (T1) y 299 (T2) y forman parte del grupo “a” en la prueba de Tukey al 0.05 y los peores tratamientos fueron el tratamiento 7 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de LL), el tratamiento 8 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AF) y el tratamiento 10 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de AF), con lecturas de 231 mV (T7), 232.5 mV (T8) y 233.5 mV (T10) como se muestra en la Figura 4.1.3 y se agrupan en “c” por la prueba Tukey al 0.05.

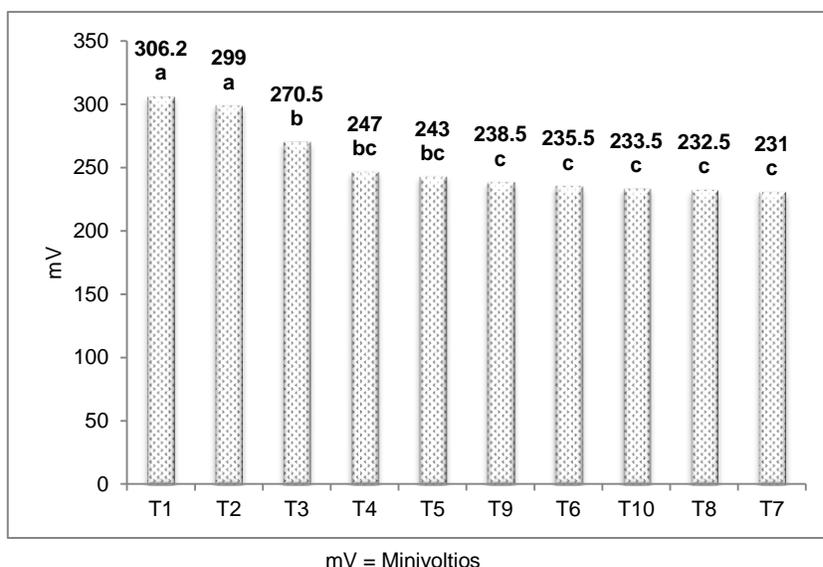


Figura 4.1.3. Respuesta del potencial de óxido reducción 2 (ORP2) en solución nutritiva en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

El T1 tiene el ORP2 más alto porque no tiene carga microbiana. Tan pronto se adicionan coadyuvantes a la solución nutritiva (SN) disminuye el ORP debido a que la carga microbiana demanda oxígeno y eso desfavorece el comportamiento de la planta. Lo anterior coincide con lo reportado en la página web [3] que mencionan que las bacterias agotan el oxígeno del medio donde se encuentren. Al faltar el oxígeno los microorganismos toman oxígeno de los minerales para su respiración, como consecuencia las plantas tienen un menor crecimiento. La actividad metabólica microbiana puede alterar el ORP como resultado de una respiración aeróbica intensa y de la secreción de sustancias reductoras (página web [5]).

El tratamiento con valor más bajo fue el 7 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de LL). En la etiqueta del producto (líquido de lombriz utilizado en el experimento), se describe que en cada mililitro de líquido de lombriz se encuentra una población de 1,000,000 de bacterias formadoras de colonias benéficas; es de esperarse que al haber una alta carga bacteriana tengamos los valores más bajos de ORP ya que las bacterias consumen el oxígeno de la SN.

4.1.4. Altura de planta (AP)

Para esta variable no hubo diferencia significativa para tratamientos ni para repeticiones (Cuadro 4.1), en donde los tratamientos más destacados fue el tratamiento 3 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de AE) y 4 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de AE), con una altura promedio de 102.2 cm. El tratamiento con la menor altura fue el tratamiento 8 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AF) con 63 cm como se muestra en la Figura 4.1.4.

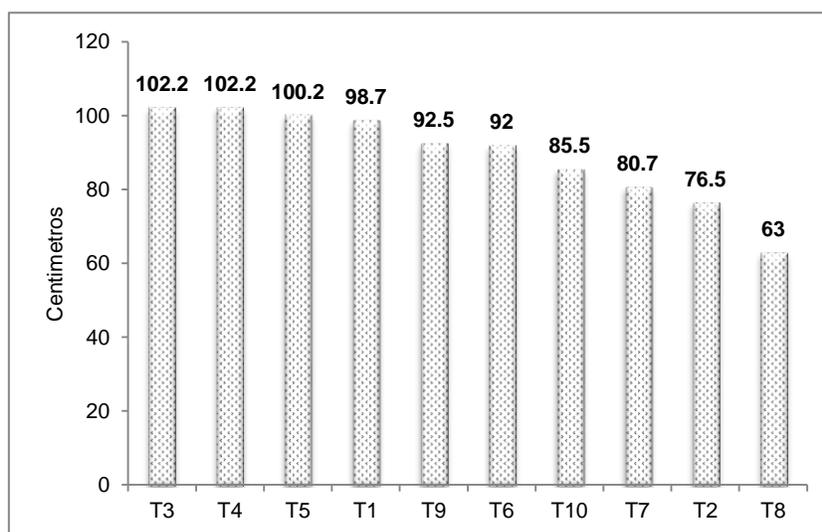


Figura 4.1.4. Respuesta de altura de planta (AP) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

Lo anterior concuerda con lo publicado por Canales (1999) que asegura que el producto Algaenzims® contiene sustancias naturales con efectos similares a los reguladores de crecimiento de las plantas tales como: auxinas, citocininas y giberelinas. Las auxinas han sido implicadas en la regulación de varios procesos fisiológicos. Uno de ellos es que promueven el crecimiento y diferenciación celular, por lo que se cree que tienen un impacto directo en el crecimiento en longitud de la planta (página web [16]).

4.1.5. Diámetro de tallo (DT)

Para esta variable no hubo diferencia significativa para tratamientos ni para repeticiones (Cuadro 4.1), en donde los tratamientos más destacados fue el tratamiento 3 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de AE) y 5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL), con un DT promedio de 11.25 mm (T3) y 11 mm (T5). El tratamiento con el menor DT fue el tratamiento 8 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AF) con 7.37 mm como se muestra en la Figura 4.1.5.

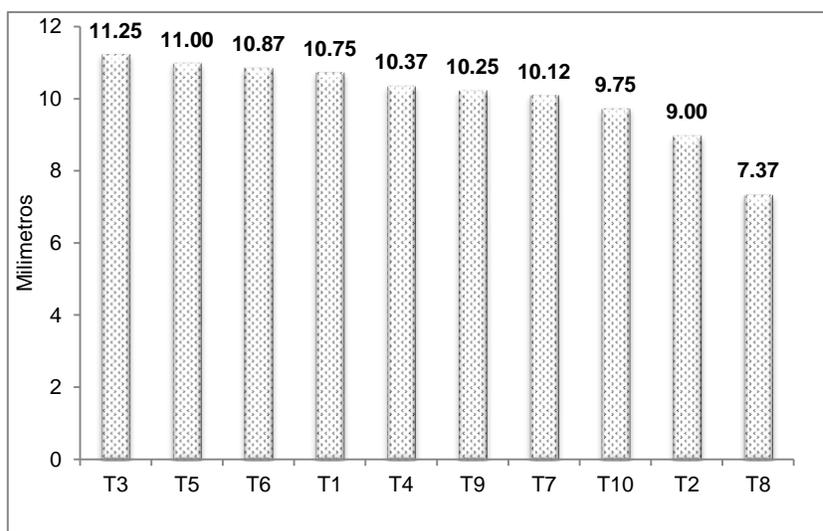


Figura 4.1.5. Respuesta de diámetro de tallo (DT) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

Enríquez del Valle *et al.*, (2000) mencionan que el diámetro de tallo tiene estrecha relación con la concentración de la solución nutritiva (SN). En un experimento que realizó en plántulas de tomate encontró que a mayor concentración de nutrientes en la SN, las plántulas presentaban mayor diámetro. Los tallos de las plántulas desarrolladas sin fertilizante tuvieron en promedio 2.5 mm mientras que el diámetro de las plántulas fertilizadas oscilaron entre 2.9 y 3.0 mm. Canales (1999) menciona que Algaenzims® contiene todos los macronutrientes, micronutrientes y todos los elementos traza que ocurren en las plantas. Al adicionar Algaenzims® a razón de 0.375 ml L⁻¹ se incrementó el DT,

debido a que se cree que el producto AE elevó la concentración de nutrientes disponibles en la SN.

4.1.6. Racimos florales (RF)

Para esta variable no hubo diferencia significativa para tratamientos ni para repeticiones (Cuadro 4.1), en donde los tratamientos más destacados fue el tratamiento 5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL), 3 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de AE) y el tratamiento 1 (testigo) con un número de racimos florales promedio de 6.5 RF (T5) y 5 RF (T3 Y T1). El tratamiento con menor número de RF fue el tratamiento 8 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AF) con 2 RF como se muestra en la Figura 4.1.6.

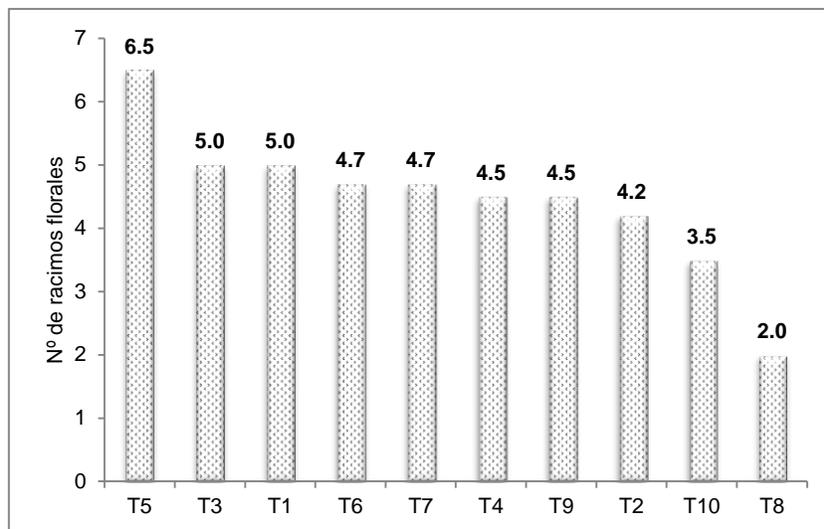


Figura 4.1.6. Respuesta de racimos florales (RF) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

Nuez *et al.*, (1995) reporta que la floración es un proceso complejo que es afectado por numerosos factores entre los que destacan las condiciones ambientales, la nutrición mineral y los tratamientos con los reguladores del crecimiento. La iniciación de la floración se retrasa cuando existen deficiencias en

la nutrición mineral de la planta, particularmente en nitrógeno (N), fósforo (P) o potasio (K), pudiendo provocar incluso el aborto de las mismas. Entre las hormonas, las citoquininas desempeñan un papel importante en el mantenimiento y la formación de racimos flores. Gajalakshmi citado por Jiménez (2008) señala que dentro de los beneficios de las vermicompostas y el lixiviado de las mismas (líquido de lombriz) está la aportación de enzimas y hormonas que estimulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por otro lado, Barbado (2003) citado por Sandoval (2011) menciona que los lixiviados de la lombricomposta son ricos en fósforo, potasio y gran cantidad de micronutrientes, así mismo, Durán y Enríquez (2007) mencionan que el líquido de lombriz está compuesto por C, O₂, N, así como macro y micro nutrientes en diferentes proporciones. El líquido de lombriz contiene N, P y K además de sustancias hormonales como las citoquininas, por lo que se cree que las plantas tratadas con líquido de lombriz a razón de 0.125 ml L⁻¹ fueron favorecidas en mayor número de racimos florales.

4.1.7. Frutos cuajados (FC)

Para esta variable no hubo diferencia significativa para tratamientos ni para repeticiones (Cuadro 4.1), en donde los tratamientos más destacados fue el tratamiento 5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL), 3 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de AE) y el tratamiento 6 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de LL) con un número promedio de FC de 9.7 (T5), 8 FC (T3) y 7.5 FC (T6). El tratamiento con menor número de FC fue el tratamiento 8 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AF) con 0.2 FC promedio como se muestra en la Figura 4.1.7.

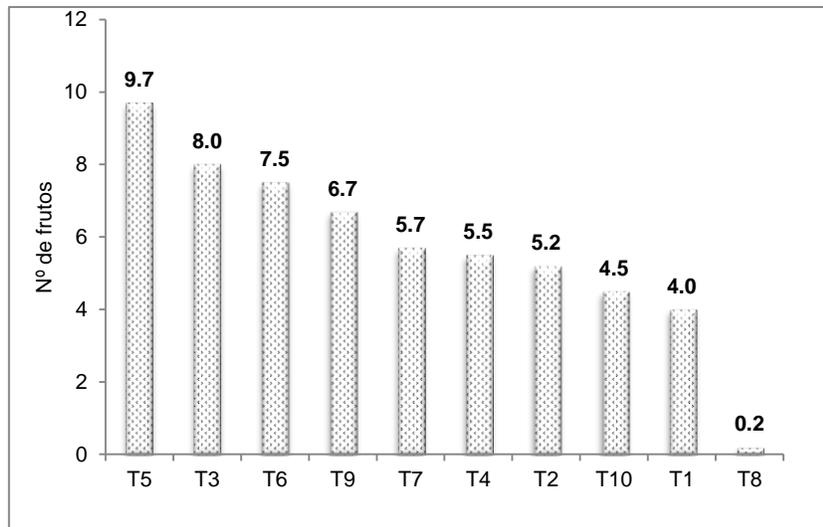


Figura 4.1.7. Respuesta de cuajado de frutos (FC) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

Una polinización satisfactoria inicia en el crecimiento del óvulo, que es lo que se conoce como cuajado de fruto (Taiz y Zeiger, 2006). En la práctica, las condiciones ambientales son una causa frecuente de los fallos en la fecundación o cuajado de fruto. Entre las causas ambientales más comunes que pueden provocar fallas en el cuajado de frutos se destacan las temperaturas extremas (38 - 40° C) y el estrés hídrico que son los problemas más frecuentes que afectan la germinación del polen y la fertilización de los óvulos durante la floración (Nuez *et al.*, 1995). Las temperaturas altas del invernadero (parte alejada del extractor de aire) se cree que pudieron influir negativamente en la formación de racimos florales y en el cuajado de los frutos independientemente del tratamiento.

En el Manual de producción de semillas hortícolas se menciona que bajo condiciones ambientales anormales el cuaje de frutos puede ser mejorado con sustancias hormonales como las auxinas. También se menciona que la caída de flores se puede presentar por una deficiencia de boro (B) en la planta, especialmente en época de floración o cuando se hacen aplicaciones excesivas de nitrógeno (N). El método de Diagnóstico Óptimo Porcentual (DOP) reportó como los elementos más deficientes en todos los tratamientos al nitrógeno (N) seguido del boro (B) y el hierro (Fe) como se muestra en el Cuadro 4.3.2. Por lo

que pudiera ser que la falta de boro (B) influyera negativamente en el cuajado de frutos. Como ya se mencionó anteriormente el LL contiene sustancia hormonales (Gajalakshmi, 2001, citado por Jiménez, 2008) y elementos minerales (Barbado, 2003, citado por Sandoval, 2011). El tratamiento que presentó mayor cuajado de frutos (CF) fue el T5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL) que se cree que fue consecuencia del efecto de las sustancias hormonales (auxinas) y de los elementos minerales que contiene el líquido de lombriz.

4.1.8. Peso fresco aéreo (PFA)

Para esta variable no hubo diferencia significativa para tratamientos ni para repeticiones (Cuadro 4.1), en donde los tratamientos más destacados fueron el tratamiento 6 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de LL), 1 (testigo) y el tratamiento 5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL) con un PFA promedio de 307.7 g (T6), 306.9 g (T1) y 306.5 g (T5). El tratamiento con menor PFA fue el tratamiento 8 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AF) con 70.2 g como se muestra en la Figura 4.1.8.

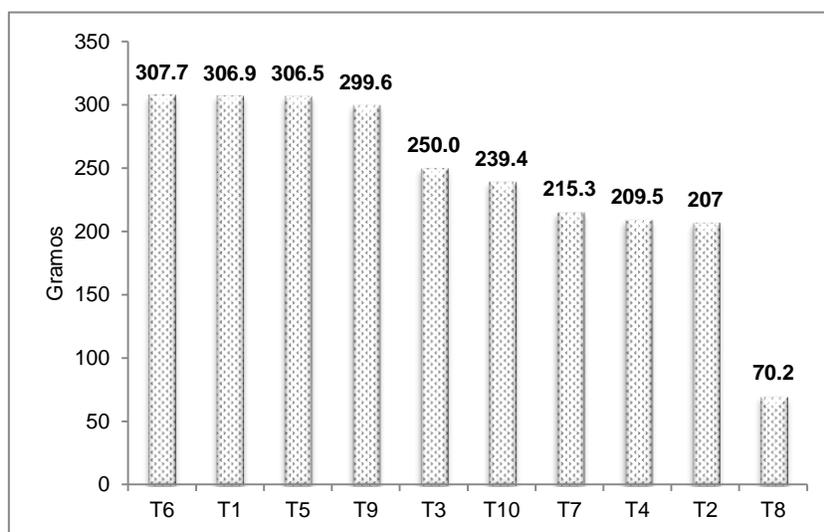


Figura 4.1.8. Respuesta del peso fresco aéreo (PFA) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

Estas respuestas concuerdan con las que encontraron González et al., (2013) en un experimento que realizaron en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillos, donde mencionan que el té de vermicompost (extracto acuoso de alta calidad biológica que se consigue por una fermentación aeróbica del vermicompost y es producido mezclando éste con agua) favoreció el crecimiento de albahaca y lechuga de forma similar a la solución mineral (Steiner), obteniéndose en ambos tratamientos los mejores resultados en altura, diámetro de tallo, área foliar y peso de hojas.

4.1.9. Peso fresco de raíz (PFR)

Para esta variable no hubo diferencia significativa para tratamientos ni para repeticiones (Cuadro 4.1), en donde los tratamientos más destacados fue el tratamiento 5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL), 1 (testigo) y el tratamiento 6 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de LL) con un PFR promedio de 142.7 g (T5), 124.6 g (T1) y 120.9 g (T6). El tratamiento con menor PFR fue el tratamiento 8 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AF) con 31 g como se muestra en la Figura 4.1.9.

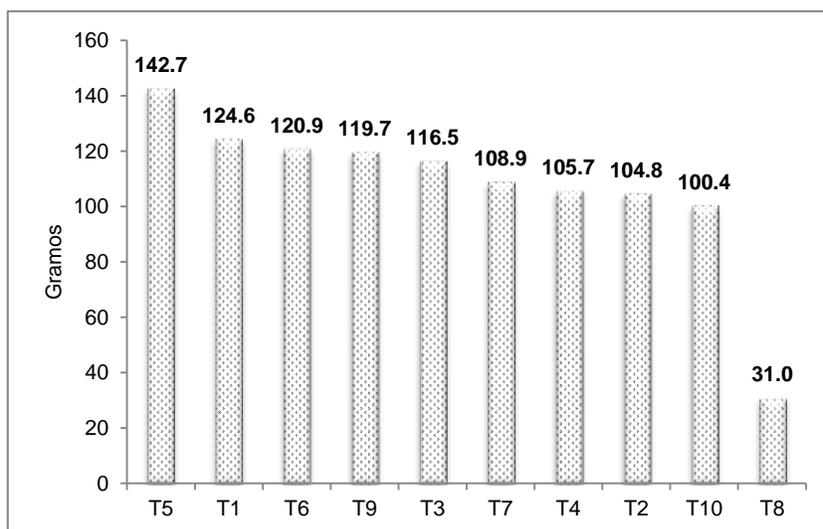


Figura 4.1.9. Respuesta del peso fresco de raíz (PFR) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

Musco (1999) citado por Jiménez (2008) encontró que la aplicación de excretas de lombriz a células de zanahoria provocaron los mismos efectos que al tratarlas con auxinas (AIA), promoviendo crecimiento celular e incrementando la cantidad de aminoácidos. Concluyó que la vermicomposta puede influenciar el crecimiento vegetal vía efectos fisiológicos gracias a que contienen sustancias húmicas de bajo peso molecular que tenían efectos parecidos a hormonas reguladoras del crecimiento, por otro lado Domínguez y Lazcano (2010) mencionan que numerosos estudios han demostrado que la adición de humus de lombriz a los cultivos tiene efectos beneficiosos sobre el crecimiento y desarrollo de los mismos. Los mecanismos a través de los que se produce esta estimulación incluyen el aporte de nutrientes y el aporte de microorganismos beneficiosos para el desarrollo vegetal capaces de aumentar la disponibilidad de nutrientes y producir sustancias con efectos fitohormonales. Se cree que el T5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL) fue favorecido positivamente en la variable PFR, porque el líquido de lombriz contiene sustancias hormonales como las auxinas y elementos minerales como el fósforo (P) que participan activamente en la formación de raíces. Por último Taiz y Zeiger (2006) mencionan que concentraciones altas de auxinas pueden actuar como inhibidores del crecimiento de las raíces. Es por eso que se cree que las concentraciones bajas de líquido de lombriz (0.125 ml L⁻¹) superaron a las concentraciones altas (0.625 ml L⁻¹) de líquido de lombriz.

4.1.10. Peso de frutos (PF)

Para esta variable no hubo diferencia significativa para tratamientos ni para repeticiones (Cuadro 4.1), en donde los tratamientos más destacados fueron los tratamientos adicionados con el líquido de lombriz en sus 3 concentraciones; tratamiento 5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL), 6 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de LL) y el tratamiento 7 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de LL) con un PF promedio de 130.2 g (T5), 125.8 g (T6) y 107.1 g (T7). El peor tratamiento fue el 8 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AF) ya que no tuvo frutos como se muestra en la Figura 4.1.10.1.

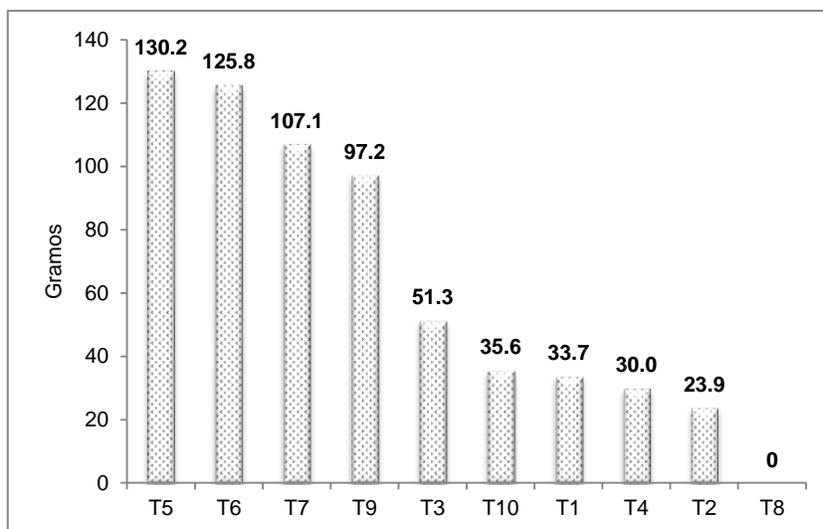
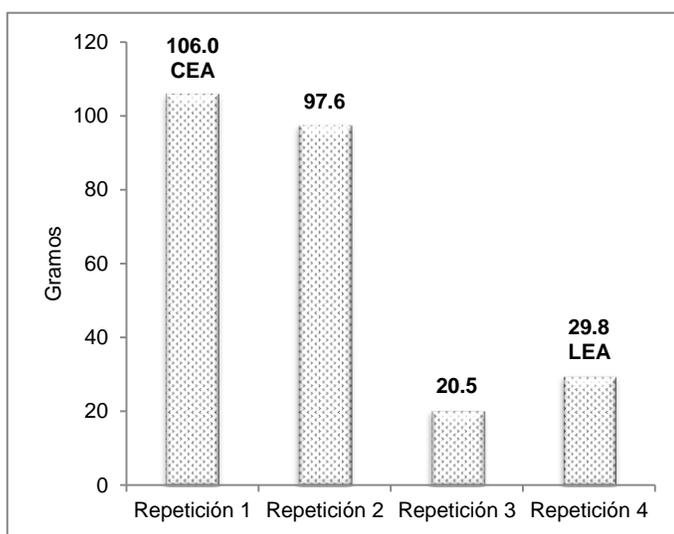


Figura 4.1.10.1. Respuesta del peso de frutos (PF) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

Bacigaluppo *et al.*, 2006 afirman que las variaciones del rendimiento de los cultivos pueden explicarse a partir de efectos de genotipo (G), ambiente (A) y de su interacción (G x A). El efecto ambiental explica comúnmente, la mayor parte de las variaciones. En un experimento en soya realizado por Bacigaluppo *et al.*, 2006 encontraron que el análisis de varianza para el rendimiento mostró que el efecto del ambiente explicó un 83 % de la variación del rendimiento en el experimento. El ambiente fue netamente el factor principal de variación de los rendimientos. Como ambiente consideró a las variables: radiación, humedad relativa, temperatura y el suelo. Por otro lado Taiz y Zeiger (2006) mencionan que existen numerosas evidencias que sugieren que las auxinas están implicadas en la regulación del desarrollo del fruto. Las auxinas se producen en el polen, en el endospermo y en el embrión de las semillas en desarrollo y es posible que el estímulo necesario para el crecimiento del fruto sea consecuencia de la polinización. Una polinización satisfactoria inicia en el crecimiento del óvulo, es lo que se conoce como cuajado de fruto. Tras la fertilización, el desarrollo del fruto depende de las auxinas producidas en las semillas en desarrollo. El líquido de lombriz a razón de 0.125 ml L^{-1} (T5) ha favorecido satisfactoriamente a las variables; número de racimos

florales (NRF) y a la variable frutos cuajados (FC), es de esperarse que también tenga un efecto positivo en la variable peso de frutos (PF). Estas respuestas se cree que se deben a la concentración de reguladores del crecimiento (principalmente auxinas) y elementos minerales presentes en el líquido de lombriz. Por último se cree que el ambiente tuvo un efecto negativo en el rendimiento independientemente de los tratamientos, causado por la condición heterogénea del invernadero. En la Figura 4.1.10.2 se muestra el impacto de la temperatura en la variable peso de frutos (rendimiento).



CEA = Cerca del extractor de aire LEA = Lejos del extractor de aire

Figura 4.1.10.2. Medias de peso de frutos (PF) por repetición en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

4.1.11. Peso seco aéreo (PSA)

Para esta variable no hubo diferencia significativa para tratamientos ni para repeticiones (Cuadro 4.1), en donde los tratamientos más destacados fueron los tratamientos 1 (testigo), 3 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de AE) y el tratamiento 5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL) con un PSA promedio de 45.8 g (T1), 44.2 g (T3) y 43.9 g (T5). El tratamiento con menor PSA fue el tratamiento 8 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AF) con 24.1 g como se muestra en la Figura 4.1.11.

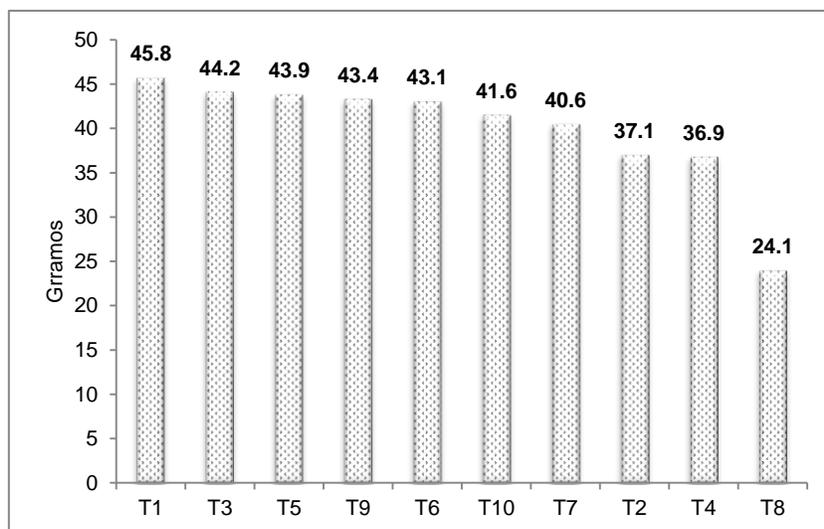


Figura 4.1.11. Respuesta del peso seco aéreo (PSA) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

Los asimilados, producidos por la fotosíntesis en los órganos “fuente” (principalmente hojas), pueden ser almacenados o distribuidos vía floema entre los diferentes órganos “sumideros” de una planta. Las hortalizas de fruto, cultivadas en invernadero, tales como pepino, tomate, pimiento y berenjena, se caracterizan, en su mayoría, por un crecimiento indeterminado. Estas presentan solamente crecimiento vegetativo en una primera fase muy corta de desarrollo inicial. A continuación, los frutos inician su desarrollo, pasando a ser recolectados continuamente durante un largo período, en el cual los restantes órganos de la planta continúan su crecimiento. Los frutos son los principales órganos sumideros y compiten entre ellos y con los órganos vegetativos por los asimilados disponibles. La distribución de materia seca puede cambiar durante el desarrollo de un cultivo, debido a cambios en la potencia de sumidero de un órgano individual y a alteraciones del número de sumideros (frutos) creciendo en la planta. Existe la posibilidad de que un control hormonal esté involucrado en la regulación de la distribución de materia seca, por ejemplo las hormonas podrían afectar la potencia de sumidero de un órgano (Peil *et al.*, 2006).

Lo anterior puede explicar las respuestas de los tratamientos para las variables peso de frutos (PF) y peso seco aéreo (PSA); El T1 (testigo) obtuvo mayor peso seco aéreo (PSA) que los tratamientos tratados con coadyuvantes. Es posible que el T3 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de AE) y el T5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL) contengan reguladores de crecimiento (auxinas y citocininas) que indujeron a los frutos a tomar más asimilados, lo que favoreció a la variable peso de fruto (PF). Sin embargo estos tratamientos fueron desfavorecidos en la variable peso seco aéreo (PSA), porque la mayoría de los asimilados se fueron a los sumideros (frutos) y no a las fuentes (hojas) que es el peso seco aéreo (PSA). El T1 (testigo) fue favorecido positivamente en la variable PSA porque este tratamiento registró menor número de sumideros (frutos) por lo que la mayoría de asimilados se fueron a las fuentes (hojas y tallos).

4.1.12. Peso seco de raíz (PSR)

Para esta variable no hubo diferencia significativa para tratamientos ni para repeticiones (Cuadro 4.1), en donde los tratamientos más destacados fueron los tratamientos 5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL), 6 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de LL) y el T1 (testigo) con un PSR promedio de 18.8 g (T5), 18.2 g (T6) y 16.6 g (T1). El tratamiento con menor PSR fue el tratamiento 8 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AF) con 8.8 g como se muestra en la Figura 4.1.12.1.

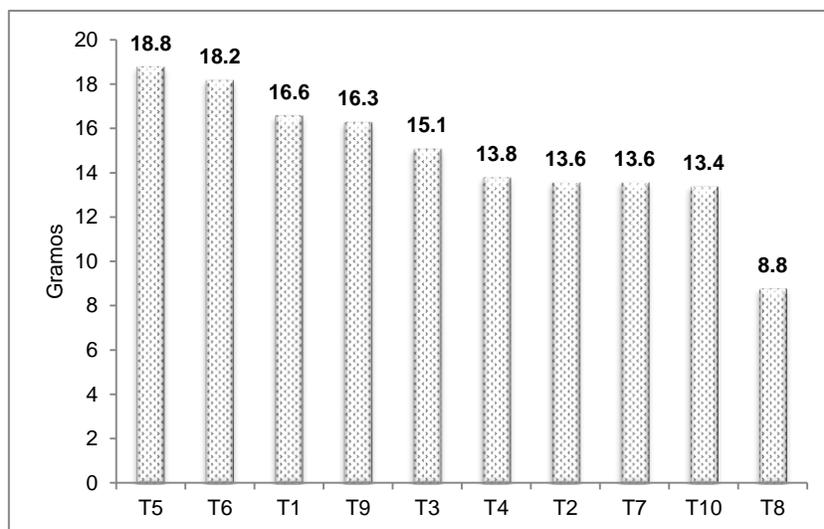


Figura 4.1.12.1. Respuesta del peso seco de raíz (PSR) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

Las raíces forman frecuentemente una pequeña fracción de la materia seca total de los cultivos desarrollados bajo invernadero (Marcelis y De Koning 1995 citados por Peil *et al.*, 2006). En el caso del tomate, la fracción de materia seca destinada a las raíces varía entre un 17 % y un 20 % en el estadio inicial; y entre un 1% y un 10 % en el estadio generativo (Ehret y Ho 1986 citados por Peil *et al.*, 1996). Peil *et al.*, (1996) ponen de manifiesto que en las condiciones de cultivo en substratos artificiales en invernadero, con un aporte de agua y nutrientes próximos al óptimo, se puede lograr un crecimiento máximo de las plantas con un sistema radical reducido. En el caso de las hortalizas de fruto, el crecimiento radical se reduce de manera significativa, dándose incluso la muerte de parte de las raíces al iniciarse el período de crecimiento generativo (Hurd 1979 citado por Peil *et al.*, 1996). La distribución de materia seca entre las raíces y la parte aérea de las plantas puede ser descrita por un equilibrio funcional entre la actividad del sistema radical (absorción de agua y nutrientes) y la actividad de la parte aérea (fotosíntesis) (Peil, *et al.*, 1996). Por último se sabe que el crecimiento de la raíz también se reduce marcadamente en condiciones de deficiencia de fósforo (P) (página web [17]).

Como ya se ha mencionado antes el líquido de lombriz (LL) contiene sustancias reguladoras de crecimiento (Gajalakshmi 2001 citado por Jiménez 2008) y elementos minerales (Barbado 2003 citado por Sandoval 2011). Los tratamientos que presentaron mayor PSR fue el T5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL) y el T6 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de LL) que se cree que fue consecuencia del efecto de las sustancias hormonales (auxinas y citocininas) que promueven el crecimiento radical en conjunto con el fósforo (P) (sustancias y mineral que están presentes en el líquido de lombriz). En la Figura 4.1.12.2 se puede observar el sistema radical sano y vigoroso del tratamiento 5 repetición 1.



Figura 4.1.12.2. Sistema radical del tratamiento 5 repetición 1

4.2. Resultados del monitoreo de la conductividad eléctrica (CE) y el potencial de hidrógeno (pH)

4.2.1. Datos de medias de las mediciones de la conductividad eléctrica (CE)

Se tomaron 5 lecturas de CE en las fechas; 7 de mayo, 16 de mayo, 23 de mayo, 31 de mayo y 12 de junio de 2013. En la primera, segunda, tercera y cuarta lectura (7 de mayo, 16 de mayo, 23 de mayo y 31 de mayo) no hubo diferencias significativas entre tratamientos para esta variable (el valor medio osciló entre 2.2 y 2.3 dS m⁻¹) como se muestra en la Figura 4.2.1.1

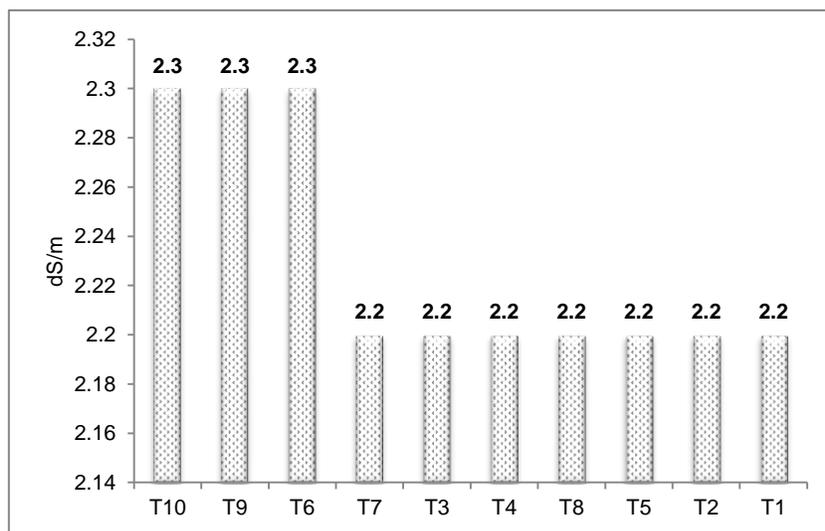


Figura 4.2.1.1. Valores medios de CE de 4 fechas de medición (7, 16, 23 y 31 de mayo de 2013) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

La conductividad eléctrica (CE) apropiada para la producción de tomate está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales; humedad relativa, temperatura y luz (Lara, 1999). Steiner y Resh 1973 citados por Lara (1999) mencionan que una solución nutritiva (SN) con conductividad eléctrica (CE) menor que la que requieren las plantas (menor que 2 dS m⁻¹) puede inducir deficiencias nutrimentales. La respuesta de las plantas a la concentración total de

sales varía ampliamente según las diferentes especies. Normalmente, niveles bajos de salinidad en un cultivo no presenta síntomas y, ante aumentos de la concentración salina leves, aun puede llegar a mejorar su rendimiento. Sin embargo, un eventual incremento en la salinidad en el contendor llega a lo que se llama “valor umbral de salinidad”. A partir de ese valor, toda elevación de la concentración de sales está acompañada por una depresión en los rendimientos (página web [18]). Maldonado y Álvarez *et al.*, (2004) mencionan que el umbral de tolerancia de CE del tomate es de 2.5 dS m^{-1} . Por último la solución madre calculada (Cadahia, 2005) tiene una CE de 2.1 dS m^{-1} , por lo que se cree que los valores de la CE en las fechas de medición del día 7 de mayo, 16 de mayo, 23 de mayo y 31 de mayo se encontraban dentro de un rango óptimo para el cultivo del tomate (2.2 a 2.3 dS m^{-1}).

Sin embargo en la última medición (12 de junio de 2013) se encontró que los tratamientos 6 (SN + 0.375 ml L^{-1} de LL), T7 (SN + 0.625 ml L^{-1} de LL) y el T10 (SN + 0.625 ml L^{-1} de AF) presentaron una alta CE como se muestra en la figura 4.2.1.2.

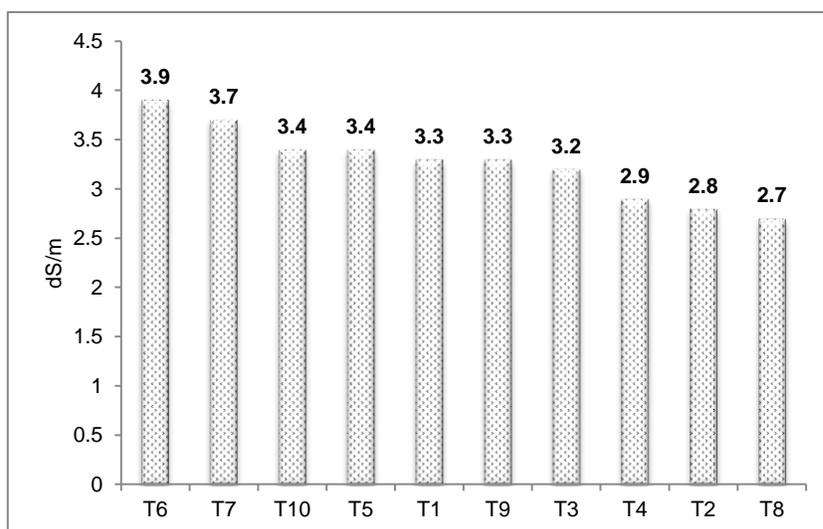


Figura 4.2.1.2. Valores medios de CE (12 de junio de 2013) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

Sánchez - Monedero *et al.*, (2001) menciona que conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso. Se cree que se incrementó la CE de todos los tratamientos por la acumulación de sales minerales en el fondo de las macetas. Y se sospecha que el incremento de la CE de los tratamientos 6 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de LL) y 7 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de LL) fueron ocasionados por el contenido del líquido de lombriz, que es rico en macro y micro nutrientes en diferentes proporciones, tales como Ca, K, Fe, Mn y Zn entre otros minerales (Fraile y Obando citados por Durán y Enríquez 2007).

4.2.2. Datos de medias de las mediciones del potencial de hidrógeno (pH)

Se tomaron 5 lecturas de pH (7 de mayo, 16 de mayo, 23 de mayo, 31 de mayo y 12 de junio). La primera y segunda lectura (7 de Mayo y 16 de Mayo) tuvieron valores similares por lo que se sacó la media de las 2 fechas. El T10 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de AF) y el T8 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AF) fueron los valores más alejados del pH óptimo que requiere la solución nutritiva (5.5 a 6.0), con un valor promedio de 6.69 (T10) y 6.66 (T8). El T1 (testigo) mostró el valor más cercano al óptimo (6.32) como se muestra en la Figura 4.2.2.1.

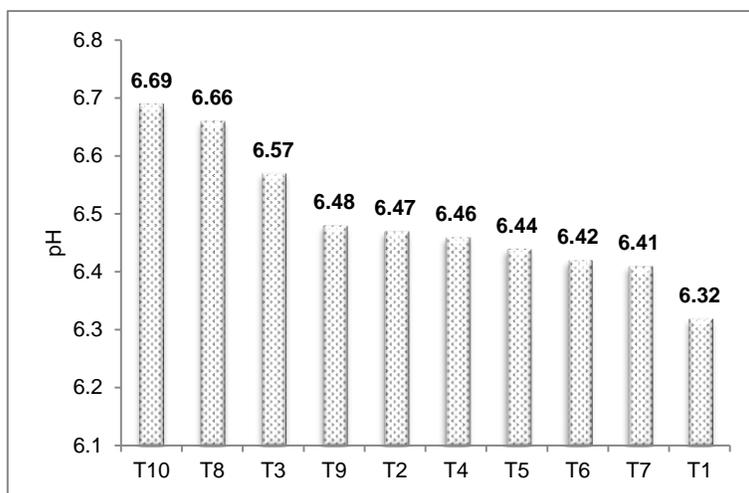


Figura 4.2.2.1. Valores medios de pH (7 y 16 de mayo de 2013) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

De Reijck y Schrevens 1998 citados por Lara (1999) mencionan que el pH óptimo de la SN debe oscilar entre 5.5 y 6.0. Maldonado y Álvarez (2004) mencionan que el pH de la solución nutritiva está relacionado con la absorción de iones. Se cree que el T1 se mantuvo en un rango promedio de pH de 6.3 porque no tuvo otras sustancias (coadyuvantes) que pudieran alterar el pH. Por otro lado se sospecha que los ácidos fúlvicos utilizados en el experimento fueron elaborados de una forma inadecuada; ya que Melo (2006) menciona que los ácidos fúlvicos generalmente tienen un carácter ácido por lo que se esperaría una respuesta favorable de los tratamientos 8 y 10 (pH cercano al óptimo requerido, por la naturaleza ácida de los AF). Finalmente Gilzans (2007) menciona que el nivel de pH influye directamente en la absorción de nutrientes; esto concuerda con las anteriores respuestas encontradas en las variables evaluadas, en donde los tratamientos 8 y 10 han sido desfavorecidos en las variables ORP, AP, DT, RF, NF, FC, PF, PFA, PSA, PFR y PSR como consecuencia de un pH inadecuado donde las plantas no asimilaban correctamente los iones presentes en la solución nutritiva.

En la tercera, cuarta y quinta lectura (23 de mayo, 31 de mayo y 12 de junio) también se observaron valores similares por lo que se procedió a sacar los valores medios. El T7 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de LL) y el T4 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de AE) fueron los valores más alejados del pH óptimo que requiere la solución nutritiva (5.5 a 6.0), con un valor de pH promedio de 6.44 (T7) y 6.4 (T4). El T1 (testigo) mostró el valor más cercano a lo óptimo (6.07) como se muestra en la Figura 4.2.2.2.

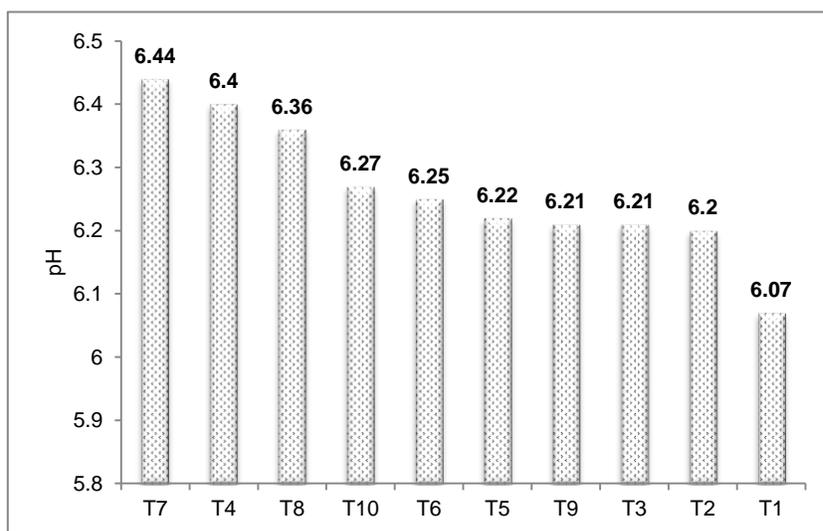


Figura 4.2.2.2. Valores medios de pH (23 de mayo, 31 de mayo y 12 de junio) en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

Se dice que el ciclo de un cultivo se divide según las etapas fenológicas y con ello se definen las diferentes concentraciones o cantidades de nutrientes a aplicar, con sus respectivas relaciones; por ejemplo, en tomate se consideran 3 etapas: establecimiento-floración, floración-cuajado de frutos, maduración – fin de ciclo. En cada etapa, las concentraciones de NO₃⁻:K⁺ van aumentando, y la relación NO₃⁻:K⁺ va disminuyendo, ya que el potasio (K⁺) es absorbido en gran cantidad durante la etapa reproductiva del cultivo (página web [20]). Cuando las plantas absorben cationes (+) las raíces de las mismas liberan iones H⁺; de manera inversa cuando absorben aniones (-) las raíces liberan OH⁻, de esta

manera se mantiene la neutralidad eléctrica, lo que provoca una disminución o un aumento en el pH en el entorno de las raíces según sea el caso (página web [20]). González (2013) menciona que el valor de pH del efluente (líquido de lombriz) varía en función del origen de la vermicomposta, aunque normalmente este valor oscila entre 8.3 y 7.6 que es un pH alcalino; por otro lado, el producto Algaenzims® es obtenido mediante hidrólisis alcalina de algas marinas y adición de compuestos orgánicos (página web [19]). Simbaña (2011) menciona que la hidrólisis alcalina consiste en romper íntegramente proteínas en sus aminoácidos constitutivos en el cual se utiliza hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH).

Se puede concluir con lo anterior que el pH del tratamiento 7 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de LL) y del tratamiento 4 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de AE) fueron alcalinizados por la naturaleza de los coadyuvantes del líquido de lombriz y del producto Algaenzims®, por otro lado, se notó una ligera disminución en el pH del tratamiento 1 en comparación con las mediciones anteriores, porque se cree que la planta estaba consumiendo más cationes (+) principalmente potasio (K⁺) y menos aniones (-) nitratos (NO₃⁻), esto causado por la etapa fenológica en la que se encontraba la planta (reproductiva) lo que provocó que la raíz expulsara iones H⁺ y acidificara la solución nutritiva.

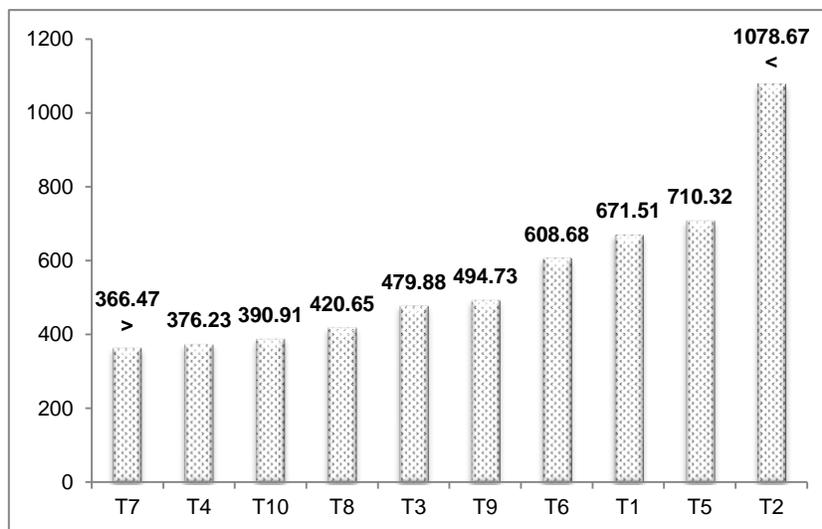
4.3. Resultados de los análisis de tejido vegetal con el método de Diagnóstico Óptimo Porcentual (DOP)

Se analizaron los resultados de los análisis de tejido con el método DOP, con los valores de referencia del Manual Plant Analysis An Interpretation (Reuter y Robinson, 1986). El tratamiento 7 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de LL), fue el tratamiento mejor equilibrado nutricionalmente de acuerdo al análisis DOP y el tratamiento con menor equilibrio nutricional fue el tratamiento 2 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AE) como se muestra en el Cuadro 4.3.1 y en la Figura 4.3.

Cuadro 4.3.1. Resultados de la sumatoria de los índices absolutos DOP

Tratamiento	Coadyuvante	Dosis ml L ⁻¹	Sumatoria de índices absolutos DOP ordenados de nivel bajo a alto.
7	Líquido de lombriz	0.625	366.47
4	Algaenzims®	0.625	376.23
10	Ácidos fúlvicos	0.625	390.91
8	Ácidos fúlvicos	0.125	420.65
3	Algaenzims®	0.375	479.88
9	Ácidos fúlvicos	0.375	494.73
6	Líquido de lombriz	0.375	608.68
1	Testigo		671.51
5	Líquido de lombriz	0.125	710.32
2	Algaenzims®	0.125	1078.67

Se pueden observar en el Cuadro 4.3.1. que los niveles altos de los 3 coadyuvantes de la nutrición: líquido de lombriz, extracto de algas marinas (Algaenzims®) y ácidos fúlvicos a razón de 0.625 ml L⁻¹ fueron favorecidos positivamente en cuanto a su balance nutricional, sin embargo esto no quiere decir que sean los mejores tratamientos ya que fueron superados por los tratamientos 5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL) y 3 (0.375 ml L⁻¹ de AE) en las variables altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), racimos florales (RF), frutos cuajados (FC), peso fresco de raíz (PFR), peso de frutos (PF), peso seco aéreo (PSA) y peso seco de raíz (PSR).



> = Tratamiento con mayor equilibrio nutricional, < = Tratamiento con menor equilibrio nutricional

Figura 4.3. Resultados de la sumatoria de los índices absolutos DOP en plantas de tomate variedad Río Grande con la aplicación de coadyuvantes orgánicos y fertilización mineral, en condiciones de invernadero, UAAAN 2013.

Los elementos minerales más deficientes en el tejido vegetal de la mayoría de los tratamientos fueron el nitrógeno (N), el boro (B) y el hierro (Fe). Se cree que la deficiencia de nitrógeno se debió a la hipoxia de la solución nutritiva; ya que las bacterias no tenían suficiente O_2 y como consecuencia tomaron oxígeno de los iones nitrato (NO_3^-). Thompson y Troeh (1988) mencionan que la disponibilidad del boro (B) disminuye cuando el pH tiende a la alcalinidad; por lo que se cree que la deficiencia de boro (B) fue consecuencia de un pH con tendencia alcalina; aunque también se cree que esta deficiencia pudo ser causada por un aporte menor de boro (B) del que requiere la planta de tomate. La deficiencia de hierro (Fe) se cree que fue consecuencia de un antagonismo por parte del mineral manganeso (Mn^{++}) y del zinc (Zn^{++}).

Los elementos más abundantes en el tejido vegetal de la mayoría de los tratamientos fueron el manganeso (Mn^{++}), el zinc (Zn^{++}) y el azufre (S) como se muestra en el Cuadro 4.3.2. Esto se cree que esto fue consecuencia del pH con que prevaleció en la solución nutritiva. Se sospecha que si se hubiera subido la cantidad de boro (B) y hierro (Fe) en la solución nutritiva, los niveles de manganeso (Mn^{++}), zinc (Zn^{++}) y azufre (S) hubieran bajado proporcionalmente.

Los análisis de tejido se realizaron en los laboratorios del Patronato para la Investigación Agrícola del Estado de Coahuila (PIAEC) que están ubicados en Arteaga, Coahuila.

Cuadro 4.3.2. Concentrado de datos obtenidos del análisis de tejido con el método de Desviación Óptima Porcentual (DOP) de un experimento de tomate en un sistema hidropónico de raíz flotante, UAAAN 2013

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Mn	Fe	B	IDN	Orden de Requerimiento	
1	C	3.55	0.63	4.67	3.8	0.73	0.46	12.7	68	243	187	48.99	671.51	N>B>Fe>P>K>Mg>Cu>Ca>S>Zn>Mn
	I	-29	+5	+16.75	+40.74	+16.8	+109.09	+27	+172	+224	-6.5	-24.63		
2	C	3.35	0.61	5	4.77	0.73	0.46	17.40	79.80	359	241	49.29	1078.67	N>B>P>Fe>K>Cu>Ca>S>Mg>Zn>Mn
	I	-33	+1.6	+25	+76.66	+116.8	+109.09	+74	+219.2	+378.66	+20.5	-24.16		
3	C	3.5	0.62	4.84	3.73	0.65	0.36	11.9	65.90	154	189	47.87	479.88	N>B>Fe>P>Mg>Cu>K>Ca>S>Mn >Zn
	I	-30	+3.33	+21	+38.14	+4	+63.63	+19	+163.6	+105.33	-5.5	-26.35		
4	C	3.4	0.58	5.17	3.51	0.72	0.35	12.10	50.10	107.6	173	45.56	376.23	N>B>Fe>P>Mg>Cu>K>Ca>Mn>S>Zn
	I	-32	-3.33	+29.25	+30	+15.2	+59.09	+21	+100.4	+43.46	-13.5	-29		
5	C	3.65	0.61	4.48	4.32	0.7	0.34	14.8	61	310.8	178	48.24	710.32	N>B>Fe>P>K>P>Cu>S>Ca>Zn>Mn
	I	-27	+1.6	+12	+60	+12	+54.54	+48	+144	+314.4	-11	-25.78		
6	C	3.5	0.6	4.99	4.17	0.72	0.34	15.6	52.4	248.3	202	44.14	608.68	B>N>P>Fe>Mg>K>Ca>S>Cu>Zn>Mn
	I	-30	0	+24.75	+54.44	+15.2	+54.54	+56	+109.6	+231.06	+1	-32.09		
7	C	3.7	0.58	4.41	3.33	0.66	0.35	11.8	52.9	119	154	47.05	366.47	B>N>Fe>P>Mg>K>Cu>Ca>Mn>S>Zn
	I	-26	-3.33	+10.25	+23.33	+5.6	+59.09	+18	+111.6	+58.66	-23	-27.61		
8	C	3.05	0.57	3.84	2.6	0.63	0.32	7.4	52.6	162.5	118	46.38	420.65	Fe>N>B>Cu>P>K>Ca>Mg>S>Zn>Mn
	I	-39	-5	-4	-3.7	+0.8	+45.45	-26	+110.4	+116.66	-41	-28.64		
9	C	3.55	0.6	4.56	3.6	0.67	0.33	11.7	59.2	200.8	180	45.71	494.73	B>N>Fe>P>Mg>K>Cu>Ca>S>Zn>Mn
	I	-29	0	+14	+33.33	+7.2	+50	+17	+136.8	+167.73	-10	-29.67		
10	C	3.4	0.61	4.76	3.41	0.69	0.35	9.5	52.8	124	137	45.86	390.91	N>Fe>B>Cu>P>Mg>K>Ca>S>Mn>Zn
	I	-32	+1.66	+19	+26.29	+10.4	+59.09	-5	+111.2	+65.33	-31.5	-29.44		

C = Concentración en tejido vegetal

I = Valor índice DOP

IDN = Índice de desbalance nutricional

4.4. Resultados de la estimación de la eficiencia de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA m⁻¹) expresados en g L⁻¹

Los datos de la estimación de la eficiencia de la solución nutritiva con respecto a materia seca expresados en g L⁻¹ se presentan en el Cuadro 4.4.1.

Cuadro 4.4.1. Promedio de datos por tratamiento de la estimación de la eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA ms⁻¹) en g L⁻¹

Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Promedio de PSA	45.87	37.17	44.25	36.95	43.9	43.02	40.6	24.17	43.47	41.67
Promedio de CSN	17.5	12.95	15.78	12.79	16.94	17.45	18.40	6.46	15.21	16.39
PSA/CSN = g L ⁻¹	2.62	2.87	2.80	2.88	2.59	2.46	2.20	3.73	2.85	2.54

El mejor tratamiento en aprovechamiento de la solución nutritiva con respecto a materia seca fue el tratamiento 8 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AF), seguido del tratamiento 4 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de AE) y del tratamiento 2 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de AE). Con 3.74 g L⁻¹ (T8), 2.88 g L⁻¹ (T4) y 2.87 g L⁻¹ (T2) respectivamente. El tratamiento que acumuló menos materia seca por litro de solución nutritiva (g L⁻¹) fue el tratamiento 7 con 2.2 g por cada litro de solución nutritiva (Figura 4.4.1).

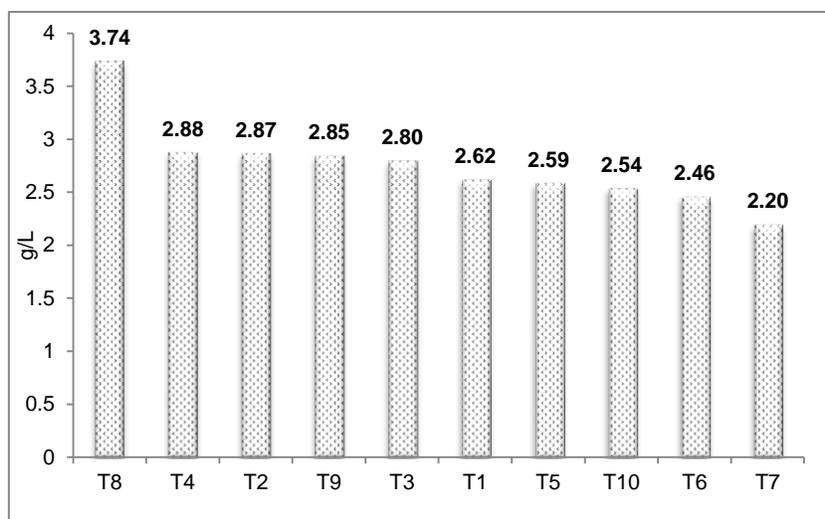


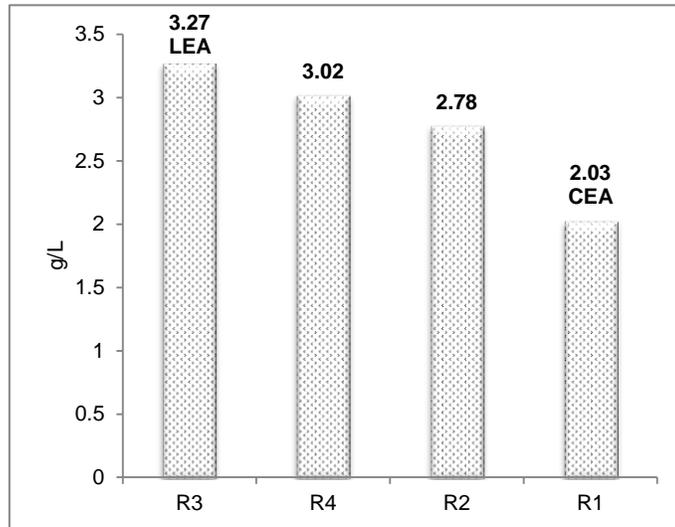
Figura 4.4.1. Promedio de datos por tratamiento de la estimación de la eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA ms⁻¹) en g L⁻¹ ordenados de mayor a menor.

Los datos por repetición de la estimación de la eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a materia seca en g L⁻¹ se presentan en el Cuadro 4.4.2.

Cuadro 4.4.2. Promedio de datos por repetición de la estimación de la eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA ms⁻¹) en g L⁻¹

Repetición	R1	R2	R3	R4
Promedio de PSA	40.47	47.9	38.41	33.66
PROMEDIO DE CSN	19.89	17.22	11.71	11.13
PSA/CSN = g L⁻¹	2.03	2.78	3.27	3.02

La repetición que tuvo un aprovechamiento mayor en cuanto a EUA ms⁻¹ fue la repetición 3 con un promedio de 3.27 g L⁻¹ seguido de la repetición 4 con un promedio de 3.02 g L⁻¹. Las repeticiones con menor aprovechamiento fueron la repetición 2 y la repetición 1 con un promedio de 2.78 g L⁻¹ (R2) y 2.03 g L⁻¹ (R1), como se muestra en la Figura 4.4.2.



CEA= Cerca del extractor de aire LEA = Lejos del extractor de aire

Figura 4.4.2. Promedio de datos por repetición de la estimación de la eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a materia seca (EUA ms^{-1}) en g L^{-1} ordenados de mayor a menor.

4.5. Resultados de la estimación de la eficiencia de la solución nutritiva con respecto a los elementos minerales presentes en la materia seca (EUA n^{-1}) expresado en g g^{-1}

Los datos de la estimación de la eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a los elementos minerales presentes en la materia seca (EUA/N , P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe y B) en g g^{-1} se presentan en el Cuadro 4.5.

Cuadro 4.5. Promedio de datos por tratamientos de la estimación de la eficiencia del uso de la solución nutritiva con respecto a los elementos minerales presentes en la materia seca (EUA/N , P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe y B) en g g^{-1}

Tratamientos	g g^{-1}						mg g^{-1}				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Zn	Mn	Fe	B
1	0.093	0.016	0.122	0.099	0.019	0.012	0.332	1.78	6.37	4.9	1.28
2	0.096	0.017	0.143	0.136	0.021	0.013	0.499	2.29	10.3	6.91	1.41
3	0.098	0.017	0.135	0.104	0.018	0.010	0.33	1.84	4.31	5.29	1.34
4	0.098	0.016	0.149	0.101	0.020	0.010	0.349	1.44	3.10	4.99	1.31
5	0.094	0.015	0.116	0.111	0.018	0.008	0.383	1.58	8.05	4.61	1.25
6	0.086	0.014	0.123	0.102	0.017	0.008	0.384	1.29	6.12	4.97	1.08
7	0.081	0.012	0.097	0.073	0.014	0.007	0.260	1.16	2.62	3.39	1.03
8	0.113	0.021	0.143	0.097	0.023	0.011	0.276	1.96	6.07	4.40	1.73
9	0.101	0.017	0.130	0.102	0.019	0.009	0.334	1.69	5.73	5.14	1.30
10	0.086	0.015	0.121	0.086	0.0175	0.008	0.241	1.34	3.15	3.48	1.16

El mejor tratamiento en aprovechamiento de la solución nutritiva con respecto a los elementos minerales presentes en la materia seca (EUA n^{-1}) fue el tratamiento 7 (solución nutritiva + 0.625 ml L^{-1} de líquido de lombriz); ya que se necesitaron menos gramos de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) y hierro (Fe), para formar un gramo de materia seca. Es por eso que se dice que el tratamiento 7 fue el tratamiento más eficiente en cuanto al uso de los elementos minerales. El peor tratamiento en cuanto a EUA n^{-1} fue el tratamiento 8 por que se necesitaron más gramos de elementos minerales (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe y B) para formar un gramo de materia seca.

V. Conclusiones

El tratamiento 7 (solución nutritiva + 0.625 ml L⁻¹ de líquido de lombriz) fue el tratamiento más equilibrado nutricionalmente de acuerdo al método DOP, seguido del tratamiento 4 (solución nutritiva + 0.625 ml L⁻¹ de Algaenzims®) y del tratamiento 10 (solución nutritiva + 0.625 ml L⁻¹ de ácidos fúlvicos), es decir, que los tratamientos con las dosis altas (0.625 ml L⁻¹) de coadyuvantes orgánicos fueron los tratamientos mejor equilibrados nutricionalmente.

Los tratamientos 5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de LL), 6 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de LL) y 7 (SN + 0.625 ml L⁻¹ de LL), fueron los tratamientos que tuvieron la mejor respuesta numérica en la variable peso de fruto (PF). Por lo que se concluye que el líquido de lombriz tuvo un efecto positivo sobre el rendimiento del tomate.

En el método DOP reportó al nitrógeno (N), al boro (B) y al hierro (Fe) como los elementos más deficientes en la mayoría de los tratamientos.

De los 10 tratamientos empleados 2 fueron los más sobresalientes; el tratamiento 5 (SN + 0.125 ml L⁻¹ de líquido de lombriz) y el tratamiento 3 (SN + 0.375 ml L⁻¹ de Algaenzims®). Estos tratamientos fueron los que generaron una mayor respuesta numérica en las variables; altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), racimos florales (RF), frutos cuajados (FC), peso fresco de raíz (PFR), peso de frutos (PF), peso seco aéreo (PSA) y peso seco de raíz (PSR).

VI. Recomendaciones

Se recomienda para trabajos futuros. Realizar un análisis químico previo de los coadyuvantes orgánicos a utilizar, no confiar en los datos proporcionados por el fabricante, muchas veces varía el contenido nutrimental y biológico de los coadyuvantes a emplear; esto puede ser consecuencia del material de origen del producto, tiempo de almacenamiento, modo de preparación, etc.

Equipar el invernadero donde se realizan los experimentos para homogenizar el ambiente y con esto obtener resultados reales del efecto de los tratamientos.

Utilizar semillas de materiales híbridos para generar las plántulas a utilizar. Los materiales que se usan en los invernaderos de producción agrícola de baja, media y alta tecnología de todo el país son híbridos de variedades indeterminadas con un alto potencial de producción por m².

Trabajar con coadyuvantes orgánicos y utilizar sustratos; ya que como comprobamos las bacterias que traen los coadyuvantes necesitan de oxígeno suficiente para trabajar y en el sistema de raíz flotante no es suficiente la cantidad que se le puede aportar o proporcionar. Probar dosis de coadyuvantes a razón de 1.0, 1.5 y 2.0 ml L⁻¹ en tomate y en sustratos.

VII. Bibliografía

- Alcántar, G. G., Sandoval, M. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Almaguer, L. J. 2012. Evaluación del efecto del humus líquido obtenido por 3 métodos, en condiciones de maceta y de campo, utilizando maíz (*Zea mayz. L.*) y remolacha azucarera (*Beta vulgaris L.*) respectivamente. Revista local sostenible. Volumen 5. Pag 1 – 6. Disponible en la página web <http://www.eumed.net/rev/delos/15/llhp.pdf>
Consultado el 14 de Enero de 2014
- Álvarez, V.J. 2000. Los Extractos de Algas Marinas en el Rendimiento y Calidad del Tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Aparicio, J.O. 2013. Producción de chile de agua (*Capsicum annum L.*) en hidroponía bajo invernadero: Una opción productiva para los espacios periurbanos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Puebla. México.
- Aranda, D.E., Barois, I.B. 1999. Desarrollo y perspectivas de la lombricultura en México. Lombricultura y Abonos Orgánicos. Universidad Autónoma Chapingo. Colegio de Postgraduados. Pag 120 - 125. Disponible en la página web <http://repiica.iica.int/docs/B1895e/B1895e.pdf>
Consultado el 15 de enero de 2014
- Arteaga, J.P. 2013. Eficiencia del Cultivo del Tomate (*Lycopersicum esculentum*) Bajo Diferentes Dosis de Fertilización Apoyada con Coadyuvantes de la Nutrición. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Bacigaluppo, S.J. *et al.*, 2006. Variaciones del rendimiento de soja en el sur de Santa Fe, factores limitantes de clima y suelo. Revista del Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Informaciones Agronómicas. Número 32. Pag 12 - 15. Red de nutrición de la región CREA Sur de Santa Fe, Resultados y Discusiones de los primeros seis años. Acaassuso, Buenos Aires, Argentina. Disponible en la página web [http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/\\$webindex/F419F2AEA9ADCB8103257242006B101F/\\$file/3.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.nsf/$webindex/F419F2AEA9ADCB8103257242006B101F/$file/3.pdf)
Consultado el 10 de Febrero de 2014
- Bollo, T.E. 2005. Humus de lombriz y su aplicación. Lombricultura Pachamama S.A. Viña del Mar, Chile. Pag 28. Disponible en la página web <http://www.ofertasagricolas.cl/articulos/articulo/161>

- Bueno, M.P. *et al.*, 2007. Factores que alteran el proceso de compostaje. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS). Pag 1 – 16. Sevilla, España. Disponible en la página web <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
Consultado el 12 de Febrero de 2014
- Cadahia, L. C. 2005. Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Canales, L.B. 1999. Enzimas-Algas: Posibilidades de su uso para estimular la producción agrícola y mejorar los suelos. Terra. Volumen 17, Pag 271 – 276. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México. Disponible en la página web https://www.google.com.mx/webhp?source=search_app&gws_rd=cr&ei=DjHTUuJBoj0oAS3ulKgCg#q=Crouch+and+J.+van+Staden+1992
Consultado el 15 de Enero de 2014
- Canales, L.B. 2001. Uso de derivados de algas marinas en la producción de tomate, papa, chile y tomatillo. Resultados de investigación. Investigación de la Empresa Palau Bioquimic, S.A. de C.V., fabricante de derivados de algas marinas para uso en la agricultura Pag 1 - 24. Buena Vista, Saltillo, Coahuila, México. Disponible en la página web http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio1/Ponencia_03.pdf
Consultado el 12 de Enero de 2014
- Carmona, E.C. 2013. Elaboración de Dos Soluciones Nutritivas Orgánicas y su Control de Calidad en Laboratorio e Invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Xalapa de Enríquez, Veracruz, México.
- Casco, A.C. 2003. Producción de biofertilizantes líquidos a base de lombricompost. Cátedra de Microbiología Agrícola, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2005. Resumen A-063. Corrientes, Argentina. Disponible en la página web <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2005/5-Agrarias/A-063.pdf>
Consultado el 14 de Enero de 2014
- Castellanos, J.Z. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Editorial INTAGRI. México. P. 132 – 133. Fracción de libro disponible en la página web <http://www.intagri.com.mx.html>
Consultado el 28 de Diciembre de 2013
- De la Cruz, R. R. 2006. Aprovechamiento de residuos orgánicos a través de composteo y lombricomposteo. Pag 1 - 14. Disponible en la página web http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio5/05-aprov_residuos.pdf
Consultado el 12 de Enero de 2014

- Domínguez, J., Lazcano, C. 2010. Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. Acta Zoológica Mexicana. Volumen 26. Número especial 2. Pag 359 – 371. Disponible en la página web
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372010000500027
Consultado el 16 de Enero de 2014
- Durán, L., Enríquez, C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. Agronomía Costarricense. Volumen 31. Costa Rica. Pag 41 – 51. Disponible en la página web
http://www.mag.go.cr/rev_agr/v31n01_041.pdf
Consultado el 15 de Enero de 2014
- Enríquez del Valle, J.R. *et al.*, 2000. Fertilización para la óptima adaptación y vigor de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) obtenidos in vitro. Revista Fitotecnia Mexicana. Volumen 23. Pag 59 – 68. Disponible en la página web
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61023106>
Consultado el 1 de Febrero de 2014
- FIRA, 2010. Boletín Informativo. Nueva Época. Número 7. Año 2010. Oportunidades de negocio en agricultura protegida. Pag 1- 20. México. Disponible en la página web
<http://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/TemasUsuario.jsp>
Consultado el 6 de Diciembre de 2013
- FIRA, 2011. Boletín Informativo. Nueva Época. Número 13. Año 2011. Oportunidades de inversión en la producción de tomate rojo en México. Pag 1- 30. Disponible en la página web
http://www.aarfs.com.mx/imagenes/informacion/estudios/013_-_Oportunidades_de_Inversi%C3%B3n_en_la_Producci%C3%B3n_de_Tomate_Rojo_en_M%C3%A9xico.pdf
Consultado el 6 de Diciembre de 2013
- Gilzans, J.C. 2007. Hidroponía. Editorial INIA. Pag 1 - 12. Montevideo, Uruguay, Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología. Disponible en la página web
http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad_509.pdf
Consultado el 13 de Enero de 2014.
- González, R.D. 2013. Efecto de Coadyuvantes de la Nutrición del Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) establecido en un Sistema Hidropónico de Raíz Flotante. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

González, S.K. 2013. Efluente y te de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja en sistema de NFT. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillos. Texcoco, Estado de México.

González, S.K. *et al.*, 2013. Efluente y te de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja en sistema NFT. Interciencia. Volumen 38. Pag 864 - 869. Diciembre de 2013. Disponible en la página web http://www.interciencia.org/v38_12/863.pdf
Consultado el 11 de Febrero de 2014

Guía técnica para la producción de lombricomposta. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste. Pag 1 – 15. Disponible en la página web http://intranet.cibnor.mx/personal/bmurillo/docs/manual_de_lombricomposta_FINAL.pdf
Consultado el 17 de Enero de 2013

Hernández, A.H. 2011. Ácidos húmicos y fúlvicos en la producción hidropónica de chile manzano (*Capsicum pubescens R y P*). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillos. Texcoco, Estado de México.

Jiménez, V.D. 2008. Extractos de vermicomposta en la producción de lechuga en hidroponía. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillos. Texcoco, Estado de México.

Lara, H.A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra Latinoamericana. Volumen 17, P. 221 -229. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Disponible en la página web <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317306>> ISSN 1870-9982
Consultado 1 de febrero de 2014

López, C.R. 2002. Comportamiento de sustancias húmicas de diverso origen en la física de un suelo limo-arcilloso y en la fisiología del tomate. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

Maldonado, T.R. *et al.*, 2004. Nutrición de cultivos hortícolas en invernadero. Universidad Autónoma Chapingo. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Torreón, Coahuila, México, Octubre del 2004. Pag 54 - 68. Disponible en la página web <http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio4/04-Seleccion-sustratos-prodhortinvernadero.pdf>
Consultado el 14 de Enero de 2014

Manual de producción de semillas hortícolas. Tomate. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina. Capítulos 1 – 10, disponibles en la página web

<http://inta.gob.ar/documentos/manual-de-produccion-de-semillas-hortícolas.-tomate>

Consultado el 10 de Febrero de 2014

Martínez, R.A. 2005. Efecto del potencial redox sobre los parámetros del cultivo de *Trypanosoma cruzi* desarrollado en medio líquido agitado. Revista Argentina de Microbiología. Volumen 37. Pag 165 – 168. Buenos Aires, Argentina. Disponible en la página web

http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-75412005000400001

Consultado el 15 de Enero de 2014

Martínez, B.D. 2011. Fertilización orgánica: lombricultura y compostas. 1^{er} Curso nacional de agricultura sostenible. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible. Pag 253 - 258. Disponible en la página web

<http://www.somas.org.mx/Publicaciones#>

Consultado el 14 de Enero de 2014

Melo, L.L. 2006. Análisis y caracterización de ácidos fúlvicos y su interacción con algunos metales pesados. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.

Montañés, L.L. *et al.*, 1991. Desviación del Optimo Porcentual (DOP): Nuevo índice para la interpretación del análisis vegetal. Pag 93 – 107. Disponible en la página web

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/4114/1/analesv.20n.3-4-1991-pp93.pdf>

Consultado el 17 de Enero de 2014

Morard, P.P., Silvestre, J.J. 1996. Plant injury due to oxygen deficiency in the root environment of soilless culture: a review. Plant and Soil. Plant Botany, Western Australia. Pag 243 – 244. Disponible en la página web

<http://link.springer.com/article/10.1007/BF00010453#page-1>

Consultado el 27 de Enero de 2014

Nava, A.D. 2006. Dinámica y diagnóstico nutrimental del guayabo en Iguala, Guerrero, México. Terra Latinoamericana. Volumen 24. Pag 125 – 132. Sociedad Mexicana de Ciencias del Suelo. México. Disponible en la página web

<http://www.redalyc.org/pdf/573/57311494015.pdf>

Consultado el 16 de Enero de 2014

NMX-FF-109-SCFI-2007. Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba. Norma Oficial Mexicana. Disponible en la página web <http://200.77.231.100/work/normas/nmx/2007/nmx-ff-109-scfi-2008.pdf>
Consultado el 15 de Enero de 2013.

Nuez, F. *et al.*, 1995. El cultivo del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. 1ª edición. Barcelona, España. Pag 793. Disponible en la página web <http://books.google.com.mx/books?id=EMXnooyk-TQC&pg=PA68&lpg=PA68&dq=induccion+de+racimos+florales+en+tomate&>
Consultado el 8 de Febrero de 2014

Ojeda, R.R. 1989. Libro gratis de hidroponía. Ediciones Valencia. 1ª edición. Venezuela. Pag 1 - 33. Disponible en la página web <http://es.scribd.com/doc/39776793/libro-gratis-Hidroponia>
Consultado el 18 de Diciembre de 2013

Ortega, L.D. 2010. Efecto de los Sustratos en el Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*) Bajo Condiciones de Invernadero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Puebla. México.

Peil, R.M. *et al.*, 2006. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. Agrociencia. Volumen 11. Pag 5 – 11. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Estado de México. Disponible en la página web <http://www.periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/viewFile/1171/966>
Consultado el 10 de Febrero de 2014

Ramos, A.G. 2011. Calidad de la fresa Variedad San Andreas producida con vermicompost en invernadero. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Michoacán. Jiquilpan, Michoacán, México.

Rauthan, B.S., Schnitzer, M. 1981. Effects of a soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Cucumis sativus*) plants. Pag 491 – 492. Chemistry and Biology Research Institute, Agriculture, Ottawa, Canada. Disponible en la página web <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02370049#page-1>
Consultado el 17 de Enero de 2014

Recycled Organics Unit, 2003. How to Use Recycled Organics Products: A Guide on the Proper Use of Recycled Organics Products. Third edition. Disponible en la página web <http://www.recycledorganics.com>
Consultado el 16 de Enero de 2014

- Requejo, L.R. 2008. Acondicionamiento Nutricional de Plantulas y Optimizacion de Sustratos en Tomate (*Lycopersicum esculentum Mill.*) Bajo Invernadero. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Monterrey, Nuevo León, México.
- Reuter, D.J., Robinson, J.B. 1986. Manual Plant Analysis An Interpretation. Inkta Press, Melbourne, Sydney, Australia.
- Rodríguez, R.R. 2001. Cultivo moderno del tomate. 2 Edición. Mundi-Prensa. Barcelona, España. Disponible en la página web
<http://books.google.com.mx/books?id=Ujmv3wMlrIMC&pg=PA15&lpg=PA15&dq=caracteres+botanicos+del+tomate&source=bl&ots=R3yJiWqhch&sig=I4QZ>
Consultado el 20 de Diciembre de 2013
- Rodríguez, M.D. 2008. Extracción secuencial y caracterización fisicoquímica de sustancias húmicas y su efecto sobre el crecimiento del trigo. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Michoacán. Jiquilpan, Michoacán, México.
- Rojas, A.N. 2010. Cultivo hidropónico y manejo nutrimental de la producción anual de *Antirrhinum majus L.* en condiciones de invernadero. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillos. Texcoco, Estado de México.
- Russell, E.W. 1989. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Edición Española. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. Disponible en la página web
<http://books.google.com.mx/books?id=gE6x5iluhGYC&pg=PA955&lpg=PA955&dq>
Consultado el 10 de Enero de 2013.
- SAGARPA, 2010. Monografía de cultivos, jitomate. Pag 10. Disponible en la página web
<http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/pablo/Documentos/Monografias/Jitomate.pdf>
Consultado el 20 de Diciembre de 2013
- Sánchez Monedero, M.A. *et al.*, 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. Biores. Technol. Disponible en la página web
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11341692>
Consultado el 10 de Febrero de 2014
- Sandoval, E.C. 2011. Alternativas sostenibles para la nutrición de cultivos. 1^{er} Curso nacional de agricultura sostenible. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible. Disponible en la página web
<http://www.somas.org.mx/Publicaciones#>
Consultado el 14 de Enero de 2014

Schnitzer, M., Khan, S.U. 1972. Humic Substances in the Environment. Marcel Dekker. Environ, Quality. Volumen 3. Pag 186. New York, E.U.A. Disponible en la página web

<https://www.agronomy.org/publications/jeq/abstracts/3/2/.../pdf>
Consultado el 15 de Enero de 2014

SIAP, 2009. Produce México 39.5 toneladas de jitomates por cada hectárea. Disponible en la página web

<http://www.siap.gob.mx/produce-39-toneladas-jitomate/>
consultado el 22 de Diciembre de 2013

Simbaña, C.L. 2011. Estudio de las propiedades físicas y funcionales de un hidrolizado enzimático de proteínas de chocho a escala piloto y su aplicación como fertilizante. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrias. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. Disponible en la página web

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3762/1/CD-3535.pdf>

Taiz, L., Zeiger, E. 2006. Fisiología vegetal. 3ª edición. Publicacions de la Universitat Jaume I, 2006. Castelló de la Plana, España. Disponible en la página web

<http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=1PRucJTuvrQC&oi=fnd&pg=PA699&dq=efecto+de+auxinas&ots=CQk1BXC28I&sig=3hUmhzzfz6LOuUxpLLysLtYyPQ4#>
Consultado el 10 de Febrero de 2014

Thompson, L.M., Troeh, F.R. 1988. Los suelos y su fertilidad. 4ª edición. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España. Disponible en la página web

<http://books.google.com.mx/books?id=AegjDhEIVAQC&pg=PA225&lpg=PA225&dq=cationes+monovalentes+y+polivalentes&source=bl&ots=QlhKFAmk2Q&sig=>
Consultado el 13 de Febrero de 2014

Vázquez, L.D. 2012. Efecto de ácidos humicos y fulvicos en acelga (*Beta vulgaris L.*) en un sistema de raíz flotante. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.

Páginas web consultadas

[1]http://www.conevyt.org.mx/educhamba/guias_emprendizaje/SOLUCION_NUTRITIVA.pdf

Fecha de consulta: 15 de Diciembre de 2013

[2]<http://www.ugr.es/~mota/Parte2-Tema05.pdf>

Fecha de consulta: 17 de Diciembre de 2013

[3]https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Siac/Indicadores%202013/Hojas%20Metodologicas/SIMA%20HM/62%20HM%20DBO%20continental%203.pdf

Fecha de consulta: 18 de Diciembre de 2013

[4]<http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-redox.pdf>.

Fecha de consulta: 19 de Diciembre de 2013

[5]<http://www.agroestrategias.com/pdf/Nutricion%20m%20Humedad%20y%20Disponibilidad%20de%20Nutrientes.pdf>

Fecha de consulta: 21 de Diciembre de 2013

[6]<http://www.palaubioquim.com/algaenzims1.pdf>

Fecha de consulta: 23 de Diciembre de 2013

[7]<http://www.dasur.com.mx/plm/fscommand/src/prods/palau/palau01.htm>

Fecha de consulta: 28 de Diciembre de 2013

[8]http://www.fps.org.mx/divulgacion/index.php?option=com_content&view=article&id=827:se-estudia-el-lixiviado-de-lombriz-en-maiz&catid=37:sinaloa-produce&Itemid=373

Fecha de consulta: 5 de Enero de 2014

[9]<http://terranovalombricultores.com/que-es-la-lombricomposta/informacion-tecnica/>

Fecha de consulta: 7 de Enero de 2014

[10]http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio5/11-sust_humicas.pdf

Fecha de consulta: 8 de Enero de 2014

[11]http://www.soiglobal.net/oikossolutions/uploaded/mod_documentos/La_Leonardit

Fecha de consulta: 12 de Enero de 2014

[12]<http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/acidos-humicos-y-acidos-fulvicos>

Fecha de consulta: 14 de Enero de 2014

- [13]**<http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/>
Fecha de consulta: 20 de Enero de 2014
- [14]**<http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/downloads.html>
Fecha de consulta: 22 de Enero de 2014
- [15]**<http://www.fao.org/co/manualtomate.pdf>
Fecha de consulta: 28 de Enero de 2014
- [16]**<http://www.dav.sceu.frba.utn.edu.ar/homovidens/brunner/TRABAJO%20FINAL/Hormonas%20vegetales.html>
Fecha de consulta 28 de Enero de 2014
- [17]**[http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/7EFD356D05AA06EA05256A31007595F9/\\$file/Funciones+del+F%C3%B3sforo.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/7EFD356D05AA06EA05256A31007595F9/$file/Funciones+del+F%C3%B3sforo.pdf)
Fecha de consulta 10 de Febrero de 2014
- [18]**http://www.new-plant.com.ar/infonewplant/Info_NewPlant_No9.pdf
Fecha de consulta 10 de Febrero de 2014
- [19]**http://www.smbb.com.mx/congresos%20smbb/puertovallarta03/TRABAJOS/AREA_V/ORAL/OV-7.pdf
Fecha de consulta 12 de Febrero de 2014
- [20]**<http://www.kno3.org/es/product-features-a-benefits/nitrate-no3-versus-ammonium-nh4>
Fecha de consulta 12 de Febrero de 2014
- [21]**<ftp://ftp.at.fcen.uba.ar/maestria/SUELOS/MaterialDeLectura/I-IONI.pdf>
Fecha de consulta 13 de Febrero de 2014
- [22]**http://www.aguablk.com/documentos/13_razones_importante_para_el_acido_fulvico.doc
Fecha de consulta 20 de Febrero de 2013