

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE NITRÓGENO Y
POTASIO EN SOLUCIÓN HIDROPÓNICA EN EL TOMATE *Lycopersicon*
esculentum MILL. , HÍBRIDO DOMINIQUE, EN CONDICIONES DE
INVERNADERO, BÁRCENA, VILLA NUEVA.

TESIS

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

POR

CÉSAR LEONEL LUNA GARCÍA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCION AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2004.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
01
T(2107)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. M.V. LUIS ALFONSO LEAL MONTERROSO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO:	Dr.	ARIEL ABDERRAMAN ORTÍZ LÓPEZ
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr.	ALFREDO ITZEP MANUEL
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr.	MANUEL DE JESÚS MARTÍNEZ OVALLE
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr.	ERBERTO RAÚL ALFARO ORTÍZ
VOCAL CUARTO:	Br.	LUIS ANTONIO RAGUAY PIRIQUE
VOCAL QUINTO:	Br.	JUAN MANUEL COREA OCHOA
SECRETARIO:	Ing. Agr.	PEDRO PELÁEZ REYES

Guatemala, Febrero 2004

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Distinguidos miembros:

De acuerdo con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a consideración de ustedes el trabajo de tesis titulado:

EVALUACIÓN DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE NITRÓGENO Y POTASIO EN SOLUCIÓN HIDROPÓNICA EN EL TOMATE *Lycopersicon esculentum* MILL. , HÍBRIDO DOMINIQUE, EN CONDICIONES DE INVERNADERO, BÁRCENA, VILLA NUEVA.

Presentado como requisito previo a obtener el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

En espera de su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento.

Atentamente.



César Leqnel Luna García

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS: Por ser el guía de mi vida y darme todo el amor inimaginable. Bendito seas Padre, sin ti no hubiera alcanzado esta meta.

MI PADRE: César Gabriel Luna (QEPD), acá está el fruto de todos tus sacrificios, tu ilusión era verme en este lugar, pero Dios te llamó antes para formar parte de su gloria. Gracias por enseñarme tantas cosas que me sirven cada día.

MI MADRE: Ana Gladys García de Luna, gracias por darme la vida y alcanzar este triunfo, eres una madre ejemplar. Bendigo a Dios por darme una madre como tu, TE AMO MAMÁ.

MIS HERMANOS: Gladys Marila, Angel Gabriel, Xiomara Gabriela y Pablo Andrés, gracias por el amor que me han brindado en toda mi vida, este triunfo es de ustedes.

MIS ABUELOS: Elsa Rivas de García y Angel Emilio García, gracias por ser también mis padres, apoyarme y enseñarme muchas cosas, los quiero mucho.

MIS TÍOS: Por guiarme en mi vida y brindarme todo su amor, en especial a Angel Emilio, Byron Homero y Gloria Violeta.

MIS PRIMOS: Con mucho cariño.

Una persona muy especial que inunda mi vida de felicidad y amor, gracias por existir Mariana Elisa García Silva.

MIS AMIGOS (AS): Kendrik y Karla, Geovanny y Susy, Jessica, Dany, Byron, Güicho, Chato, Linda, Esther, Wendy, Eldris, Viky, Karin, Chiqui, Griselda, Estuardo Barrera, Iván Mansilla, Eduardo Rivas, Francisco Ávila, Mynor Archila, Víctor Ortiz, José H. García, Leonel Manzo, por mencionar algunos.

LAS FAMILIAS: Archila Vielman, López Archila, García Meléndez, García Silva, Silva Narvárez, Manzanares Collado, Gracias por quererme tanto.

MIS ASESORES: Ingenieros Domingo Amador e Iván Dimitri Santos, Gracias por transmitirme sus conocimientos y la paciencia que tuvieron para que esta investigación se llevara a cabo.

TESIS QUE DEDICO

A:

MI HERMOSO PAÍS GUATEMALA

LA TIERRA DE LAS FLORES, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ

LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

CASERÍO LA SOLEDAD

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiar mis pasos y permitir alcanzar esta meta

Ing. Domingo Amador, por el apoyo brindado desde el Ejercicio Profesional Supervisado hasta este momento, gracias por sus acertados consejos y amistad.

Ing. Iván Dimitri Santos, por haberme brindado la oportunidad de realizar esta investigación en los invernaderos a su cargo en la Escuela Nacional Central de Agricultura, muchas gracias por su apoyo.

Ing. Alberto Mazariegos del departamento de producción del Grupo DISAGRO, por haberme proporcionado los fertilizantes para la realización de la investigación.

Ing. Luis Estrada Ligorria, por brindarme su amistad y transmitirme sus conocimientos incondicionalmente.

Ing. Anibal Sacbajá, por su amistad, colaboración y apoyo para la realización de la investigación.

Los trabajadores del área de cultivos bajo invernadero de la Escuela Nacional Central de Agricultura, en especial a Don Luis Ramírez y Don Alejandro, gracias por su apoyo y consejos.

Todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo de tesis.

CONTENIDO

	Página
Contenido	i
Índice de cuadros	iii
Índice de figuras	v
Resumen	vi
1. Introducción	1
2. Planteamiento del problema	3
3. Justificación	4
4. Marco teórico	5
4.1 Marco conceptual	5
4.1.1 Descripción botánica de la planta de tomate	5
4.1.1.1 Clasificación de los cultivares de tomate	11
A Según su hábito de crecimiento	12
B Según el destino de cosecha	13
4.1.1.2 Exigencias ecológicas del tomate	13
4.1.1.3 Podas del tomate	14
4.1.2 Hidroponia	15
4.1.2.1 Generalidades	15
4.1.2.2 Antecedentes	16
4.1.3 Componentes de los sistemas hidropónicos	20
4.1.3.1 Sustratos	20
A Las propiedades de los sustratos	20
a Propiedades físicas	20
b Propiedades químicas	22
c Otras propiedades	25
B Criterios para la elección de un sustrato	25
C Los sustratos y el medio ambiente	27
4.1.3.2 La solución nutritiva	28
a Rol de la aireación en cultivos hidropónicos	35
4.1.4 Estudios realizados en tomate	36
4.1.5 Conceptos fenológicos	40
4.2 Marco referencial	41
4.2.1 Ubicación y descripción del sitio experimental	41
4.2.2 Condiciones climáticas	41
4.2.3 Descripción del híbrido Dominique	41
5. Objetivos	42
6. Hipótesis	43
7. Metodología	44
7.1 Metodología experimental	44
7.1.1 Tratamientos	44
7.1.2 Diseño experimental	45

	Página
7.1.3 Unidad experimental	45
7.2 Variables de respuesta	45
7.3 Manejo del experimento	46
7.4 Análisis de la información	48
7.4.1 Análisis estadístico	48
7.4.2 Análisis económico	49
8. Resultados y discusión	50
8.1 Rendimiento de frutos de tomate en kg/planta y clasificados por calidad	50
8.2 Diámetro de la base del tallo	55
8.3 Peso fresco de frutos de primera calidad	56
8.4 Número de frutos de primera calidad	57
8.5 Análisis económico	60
9. Conclusiones	62
10 Recomendaciones	63
11. Bibliografía	64
12. Apéndice	66

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Cantidad de licopeno que aportan algunos derivados del fruto del tomate.	11
Cuadro 2. Valor alimenticio del fruto del tomate (100 gramos de producto fresco).	11
Cuadro 3. Influencia de la temperatura en el estado fenológico de la planta de tomate.	14
Cuadro 4. Rangos de los de los elementos esenciales en la solución nutritiva, según la Universidad Nacional Agraria La Molina.	35
Cuadro 5. Relación NPK recomendada en la fertigación, de acuerdo a la etapa de desarrollo del cultivo de tomate, según Villareal <i>et al.</i>	37
Cuadro 6. Composición en elementos minerales de la planta y el fruto de tomate, según Burgueño, H.	38
Cuadro 7. Concentraciones de nutrientes en hojas de tomate hidropónico, según el CIHNM.	39
Cuadro 8. Concentraciones de nitrógeno y potasio que se evaluaron según el nivel de nutrición de la planta de tomate.	44
Cuadro 9. Concentración en partes por millón (ppm) de NPK de los tratamientos que se evaluaron según el nivel de nutrición de la planta de tomate.	44
Cuadro 10. Análisis de varianza a la variable rendimiento de frutos de tomate en kg/planta clasificados por calidad, según las concentraciones de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva.	50
Cuadro 11. Resumen de la comparación de medias individuales (Tukey) para el rendimiento de frutos de tomate en kg/planta clasificados por calidad.	51
Cuadro 12. Resumen de la prueba de Dunnett, para la variable rendimiento de frutos de tomate en kg/planta clasificados por calidad.	53
Cuadro 13. Análisis de varianza a la variable diámetro de la base del tallo(cm)	56
Cuadro 14. Análisis de varianza a la variable peso fresco de frutos de primera (g)	56
Cuadro 15. Análisis de varianza a la variable número de frutos de primera calidad.	57

	Página
Cuadro 16. Resumen de la comparación de medias individuales (Tukey) para el número de frutos de primera calidad.	58
Cuadro 17. Resumen de la prueba de Dunnett, para la variable número de frutos de primera calidad.	59
Cuadro 18. Análisis de costos (Q/ha) en la evaluación de tres concentraciones de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva en el cultivo de tomate <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. , Híbrido Dominique.	60
Cuadro 19A. Concentración de nutrientes en partes por millón de la solución que se tomó como base para los tratamientos.	68
Cuadro 20A. Concentración de nutrientes en partes por millón de la solución que se tomó como testigo.	68
Cuadro 21A. Fertilizantes que se utilizaron en la preparación de las soluciones nutritivas, para los microelementos.	68
Cuadro 22A. Cantidad de fertilizante que se utilizó en la preparación de las soluciones nutritivas en el nivel de nutrición vegetativo.	68
Cuadro 23A. Cantidad de fertilizante que se utilizó en la preparación de las soluciones nutritivas en el nivel de nutrición floración.	69
Cuadro 24A. Cantidad de fertilizante que se utilizó en la preparación de las soluciones nutritivas en el nivel de nutrición fructificación.	69
Cuadro 25A. Rendimiento total de tomate en kg/planta, según tratamiento.	69
Cuadro 26A. Diámetro de la base del tallo de plantas de tomate en centímetros, según tratamiento.	70
Cuadro 27A. Peso promedio de 10 frutos de primera (g) por unidad experimental, según tratamiento.	70
Cuadro 28A. Número de frutos de primera calidad promedio por unidad experimental, según tratamiento.	70

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Porcentaje de frutos de primera, segunda y tercera calidad, según su tratamiento.	53
Figura 2. Rendimiento promedio de frutos de tomate (kg/planta), según tratamientos.	54
Figura 3. Comparación gráfica del tratamiento 8 y tratamiento 0 (testigo)	55
Figura 4. Número de frutos de primera calidad según tratamiento	58
Figura 5A. Croquis de campo y descripción de la unidad experimental utilizada en la investigación.	67

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE NITRÓGENO Y POTASIO
EN SOLUCIÓN HIDROPÓNICA EN EL TOMATE *Lycopersicon esculentum* MILL. ,
HÍBRIDO DOMINIQUE, EN CONDICIONES DE INVERNADERO,
EN BÁRCENA, VILLA NUEVA.**

**EVALUATION OF DIFFERENT CONCENTRATIONS OF NITROGEN AND POTASSIUM
IN HYDROPONICS SOLUTION IN TOMATO *Lycopersicon esculentum* MILL. ,
DOMINIQUE HYBRID, UNDER GREENHOUSE CONDITIONS,
BÁRCENA, VILLA NUEVA.**

RESUMEN

El tomate constituye uno de los principales ingredientes en la dieta de los guatemaltecos, consumido en una gran variedad de comidas. Con relación a 10 vitaminas y minerales, el tomate ocupa el lugar 16 entre las hortalizas, pero debido a su alto consumo ocupa el primer lugar por su contribución en la nutrición humana; Además en los últimos años ha despertado un gran interés entre la comunidad científica por el efecto beneficioso que parece tener sobre el organismo, y cada vez son más los estudios que confirman que este vegetal es una fuente inagotable de propiedades preventivas (cáncer de colon, próstata, mama) y curativas(14). La producción de tomate puede llegar a ser económicamente muy rentable, es por ello que cada día son más los productores que escogen este cultivo, llegando a obtener ganancias hasta del 200 %. En la actualidad la producción de esta hortaliza es afectada por varios factores, entre estos se puede mencionar principalmente la contaminación del suelo por plagas y enfermedades. Esta situación a generado la necesidad de cultivar en sistemas protegidos (invernaderos) y buscar otras alternativas de producción como los sistemas hidropónicos. Uno de los aspectos muy importantes en los sistemas de producción hidropónicos es la formulación de la solución nutritiva, la cual viene

siendo una mezcla de agua y nutrientes esenciales en cantidades y proporciones adecuadas para las plantas.

El presente estudio se llevó a cabo en la Escuela Nacional Central de Agricultura, en Bárcena, Villa Nueva con la finalidad de evaluar el efecto de tres concentraciones de nitrógeno y potasio en solución nutritiva sobre el rendimiento del cultivo de tomate indeterminado híbrido Dominique, bajo condiciones de invernadero en cultivo hidropónico. Se evaluaron los tratamientos 150, 200 y 250 partes por millón de nitrógeno en el nivel de nutrición vegetativo, aproximadamente los primeros 60 días del cultivo y 250, 300 y 350 partes por millón de potasio en el nivel de nutrición fructificación, a partir de los 90 días del cultivo aproximadamente, asimismo se tuvo un tratamiento testigo, el cual mantuvo concentraciones de 150 partes por millón de nitrógeno y potasio constantes en todos los niveles de nutrición. La aplicación de la solución nutritiva fue con el agua de riego, procurando que siempre estuviera húmedo el sustrato. Cuando las plantas estaban pequeñas se realizaron riegos de 200 ml de solución dos veces al día y conforme el desarrollo de las plantas se fue aumentando la cantidad de riego hasta un máximo de 600 ml de solución cuatro veces al día. Las variables de respuesta estudiadas fueron: rendimiento en kg/planta clasificado por calidad, peso fresco de frutos de primera calidad, diámetro de la base del tallo, número de frutos de primera calidad. El diseño estadístico utilizado fue completamente al azar bifactorial con arreglo combinatorio; la unidad experimental estuvo formada por seis plantas, las cuales estuvieron sembradas en bolsas plásticas de 12 pulgadas de alto * 12 pulgadas de ancho, calibre 6, que sirvieron como contenedores del cultivo, a una distancia de 50 centímetros entre planta y 50 centímetros entre surco simple y 1 metro entre surco doble. Las

variables fueron analizadas estadísticamente a través de ANDEVAS y pruebas de medias, y económicamente por su rentabilidad y relación beneficio/costo.

Los resultados mostraron la importancia de modificar las concentraciones de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva, durante los estados de desarrollo de la planta de tomate, revelando que en el nivel de nutrición vegetativo la concentración de nitrógeno debe estar en el rango de 200 y 250 partes por millón y en el nivel de nutrición fructificación la concentración de potasio debe estar en el rango de 250 y 300 partes por millón, pues con estas concentraciones se obtuvo el mayor rendimiento, el mayor porcentaje de fruto de primera calidad, la mayor rentabilidad y relación beneficio/costo. Estadísticamente, no existió respuesta en el diámetro del tallo de las plantas y el peso fresco de frutos de primera calidad en las plantas de tomate. En general se determinó que las concentraciones en partes por millón de nitrógeno y potasio más rentables para las condiciones en que se realizó el ensayo son 250 en el nivel vegetativo y 300 en el nivel fructificación respectivamente, con las que se obtuvo una rentabilidad del 186 % y una relación beneficio/costo de 2.85.

Debido a la poca información generada de este sistema de producción en Guatemala, se recomienda utilizar estos resultados bajo las condiciones donde se realizó la investigación e iniciar otras investigaciones modificando otros nutrimentos como el fósforo, calcio y elementos menores para afinar y adaptar la nutrición del tomate indeterminado en cultivo hidropónico para Guatemala.

1. INTRODUCCION

En Guatemala, el tomate *Lycopersicon esculentum* Mill., se produce durante todo el año, sin embargo hay meses de gran afluencia al mercado; destacándose la región oriental como la zona productora más importante del país, la cual genera aproximadamente el 60% de la producción de tomate, y el otro 40% proviene del resto del país(22). Anualmente se siembran 10,000 ha. aproximadamente de tomate, lo que se convierte en una valiosa fuente de ingresos para muchas familias, y parte importante en la dieta del guatemalteco. Zamora (22), menciona que en Guatemala durante el año 2000 se produjeron aproximadamente 2,300,000 Kg, de tomate, del cual el 65 % fue destinado para la venta en supermercados y restaurantes del país y el 35 % para el mercado centroamericano. Asimismo afirma que cada vez son más los productores que eligen este cultivo, debido a sus altos rendimientos y rentabilidad, principalmente en híbridos indeterminados como Daniela, Santa Clara, Alborán, Dominique, entre otros.

En la actualidad la producción en las zonas tomateras del país, se atraviesa por distintas problemáticas; entre las cuales se pueden mencionar la presión de plagas y enfermedades, el deterioro de los ciclos naturales como el del agua, generando precipitaciones erráticas y el sistema suelo tanto en su fertilidad natural como en la contaminación del mismo, principalmente por hongos y bacterias del suelo. Esta situación a creado la necesidad de implementar la producción de cultivos protegidos (bajo invernadero) y dentro de estos, el cultivo en otro sustrato diferente al suelo, esto es producción hidropónica. Lo anterior genera la necesidad de impulsar o buscar nuevas alternativas al manejo de los sistemas hidropónicos, adaptando esta tecnología a las condiciones de Guatemala, por lo tanto se presenta la siguiente

investigación que pretende conocer el efecto de tres concentraciones de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva, sobre el rendimiento del cultivo del tomate híbrido Dominique, bajo condiciones de invernadero en cultivo hidropónico.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las técnicas culturales aplicadas a la producción agrícola, han experimentado cambios rápidos y notables durante las últimas décadas. Parte de estos ha consistido en la sustitución gradual de los cultivos tradicionales en el suelo por los cultivos sin suelo. La principal razón de esta sustitución es la existencia de factores limitantes para la continuidad de los cultivos intensivos en el suelo natural, tanto en campo abierto como en condiciones protegidas (invernadero), particularmente por erosión, salinidad, enfermedades y agotamiento de los suelos agrícolas (8). Frente a los cultivos hortícolas tradicionales, instalados sobre un suelo normal, los cultivos sin suelo aparecen como una alternativa imprescindible, para dar solución a diversos problemas que se presentan, dichos cultivos forman parte de los sistemas de producción hidropónicos(8).

A nivel nacional y específicamente en algunas instituciones como el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FAUSAC), La Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA) y en algunas empresas privadas, entre otras, producen tomate bajo invernadero en cultivo hidropónico, utilizando para ello soluciones nutritivas estáticas, las cuales contienen las mismas concentraciones de nutrientes durante todo el ciclo del cultivo y las emplean para cualquier planta; sin embargo se debe tomar en cuenta que cada cultivo tiene sus propias exigencias nutricionales (principalmente de nitrógeno, fósforo y potasio), el producto a cosechar es diferente en cada una, y cada órgano específico que se cosecha de la planta cultivada necesita nutrientes diferentes.

Hasta el momento no se ha generado información específica del uso de soluciones nutritivas adaptadas a las diferentes fases de crecimiento y desarrollo del cultivo del tomate (soluciones dinámicas), para las condiciones de Guatemala.

3. JUSTIFICACION

El principal cultivo hidropónico a escala mundial es el tomate(20), en los últimos años se ha generado mucha información acerca de este y otros cultivos. En el caso específico del tomate, se menciona que la solución nutritiva debe ser modificada de acuerdo al estado de crecimiento y desarrollo del cultivo. Para el tomate, se han definido tres niveles de nutrición (UNALM) (20): a) el nivel 1 o vegetativo, en donde se debe aumentar la concentración de nitrógeno para inducir un mayor crecimiento vegetativo en las plantas; b) el nivel 2 o floración, en donde se debe aumentar la concentración de fósforo para inducir la floración en las plantas, ya que esta es una de las etapas donde se consumen las mayores cantidades de este elemento; c) el nivel 3 o fructificación, en donde se debe aumentar la concentración de potasio, pues este elemento juega un papel fundamental en la calidad (color, sabor) del fruto, debido a su participación en el desplazamiento de azúcares y en el equilibrio hídrico de la planta (4).

La utilización de soluciones nutritivas dinámicas permiten mantener una nutrición sincronizada entre las fases de crecimiento y desarrollo de las plantas, con la absorción de nutrientes de mayor importancia en cada una de ellas, obteniéndose así productos de mejor calidad.

4. MARCO TEORICO

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 Descripción botánica de la planta de tomate

La planta de tomate se describe como una planta rústica, dicotiledónea, originalmente rastrera (a través del mejoramiento genético llegó a ser erecta), vigorosa, perenne y anual de acuerdo a las condiciones climáticas (22).

A. Raíz

La planta de tomate está constituida por una raíz fuerte, con raicillas que se originan a mediados del prolongamiento del embrión: no llega a más de cincuenta cm. de profundidad, la raíz central tiene un revestimiento hasta cerca de 9 cm, con los pelos capilares; los pelos representan el 70 % de todo el sistema radicular (22).

Las raíces laterales dependen del tipo de sustrato y tienen la función de absorber el agua superficial y sales nutritivas aportadas por los fertilizantes, que se disuelven en el agua. El extremo inferior de la raíz central se divide en raíces gruesas corniformes que se mueven oblicuamente hacia abajo. Otras raicillas que pueden profundizar hasta treinta cm, para absorber los elementos nutritivos orgánicos (22).

Si la planta se origina de semilla, el eje central, es particularmente vigoroso y puede profundizar hasta sesenta cm, si la planta proviene de transplante, el eje central es más o menos ausente, las raíces crecen superficialmente y profundizan los primeros treinta cm del suelo. Esto depende la resistencia de la planta al estrés (cambios de temperatura), especialmente la lluvia (22).

B. Tallo

El tallo al principio es herbáceo, conforme se desarrolla, puede ser más vigoroso, rastrero y glanduloso. Se cree que la velocidad de crecimiento es de 2-3 cm por día de la quinta hoja verdadera hasta el amarre de los primeros frutos, luego la velocidad de crecimiento baja, en concordancia con la maduración de los frutos (22).

Conforme desarrolla el tallo se engrosa, casi leñoso, cubierto de una corteza verde, no uniforme, con mucha pubescencia que al frotarse emana un olor característico. En la parte basal posee muchas yemas (22).

El tallo posee raíces adventicias que pueden suplir eventualmente los problemas de asfixia radicular o lesiones por plagas que ataquen el sistema radicular. Estas raíces le proporcionan un mejor anclaje en el suelo, ya que la función del tallo es amarrar a las raíces con el follaje formando un sistema (22).

C. Hojas

Las hojas son alternas, imparipinadas, compuestas de 7-9 o hasta 11 folíolos, y como todas las partes verdes de la planta, están cubiertas de pelitos glandulares que emanan una sustancia parecida al limón; pueden ser de forma: normal (típica de la especie) compuesta imparipinada, con hojas irregulares de dos dimensiones, alternas con limbo liso o granuloso y bordes generalmente sinuados, talvez dentados como en la papa: con menos números de folíolos y muy grandes, limbo liso o granuloso y bordes generalmente enteros. El tomate puede considerarse planta de día corto, facultativa, en el sentido que en condiciones de foto periodo corto, cerca de 9 horas de luz y a temperatura baja, se obtienen un número inferior de folíolos y hojas antes de la emisión de la primera inflorescencia (22).

D. Flor

La flor presenta cáliz pentámero persistente o separado, corola con cinco pétalos amarillos, androceo con 5-7 estambres de forma cilíndrica o cónica, con crecimiento igual al nivel de las anteras, casi siempre del mismo largo o superior al estilo que se queda cerrado en el mismo, determinando la casi autogamia (22).

De acuerdo a las características mencionadas, la planta de tomate se considera autógena (el óvulo se fecunda de la misma flor); el fenómeno de polinización cruzada es muy limitada (entre 0.5- 4 %), seguramente es inferior a los que se encuentran en las zonas de origen. La autopolinización es favorecida por el tipo de dehiscencia de la antera (procede la antesis o cerradura de la corola, de 24-28 horas, los granos de polen llegan en dirección al estigma, que es fecundado antes que se cierre la corola). La flor no produce néctares, solamente polen, por lo que es raramente visitada por abejas. Si la fecundación no se realiza, pueden deberse a factores climáticos (lluvia, viento, temperatura arriba de 36 grados centígrados o inferior a 12 grados centígrados) o por patógenos (22).

E. Peciolo

Las flores están conectadas a la planta mediante un pedúnculo que además de hacer funciones mecánicas, posee haces basales que alimentan a los frutos sucesivamente. Cerca de la mitad de su longitud o en la zona de inserción del fruto, el peciolo presenta un nudo o unión, formado de células suberosas, que se rompen cuando la maduración del fruto es muy avanzada (22).

F. Semilla

En el interior de la baya, fijado a las paredes radiales del endocarpio se encuentra la semilla, reniforme y aplastada lateralmente, con dimensiones que varían de 3-5 mm de largo por 2-4 mm de ancho; está constituida por un embrión doblado

(curvo), formado por una raíz pequeña (hipocotilo), dos cotiledones; está rodeado de poco endosperma que constituye la reserva. La semilla está protegida en el exterior por un integumento membranoso, generalmente de color amarillo oscuro, recubierto de pelos pequeñísimos, los que se vuelven más abundantes y filiformes en las paredes laterales de las células exteriores del integumento ovular y tienen la función de retener la humedad necesaria para que germine el embrión (22).

En casos en que el fruto carezca de semillas, se dice que son frutos partenocárpicos (aparenia). La cantidad de semilla seca presente en la baya representa el 0.25 % del peso del fruto, generalmente las variedades de fruto redondo contienen más semillas que los frutos alargados (0.2 - 0.5 %); por consecuencia de la distancia conformación de los tejidos de la placenta (más intensa en los frutos multiloculares), en un gramo están presentes aproximadamente 300 semillas, con una variabilidad de 235 - 500 semillas por gramo. Las semillas más grandes poseen mayor reserva alimenticia y generan plántulas más vigorosas (22).

G. Fruto

El fruto es una baya carnosa constituida de (22):

- a. **Epicarpio (Cáscara):** Formado de células poligonales, aplastadas, de color amarillo o raramente incoloro, que forman una película más o menos resistente.
- b. **Mesocarpio (Pulpa):** Formado de células grandes, redondas u ovadas con membranas muy delgadas. contiene gránulos de materia roja (licopeno), en una solución acuosa de principios agrios e insípidos y aromáticos.

c. **Endocarpo subdividido en dos o más lóbulos (carpelos):** Hasta la posibilidad de poseer un número definido, en cuanto al eje estilo, se multiplica capturando numerosas cavidades de pequeñas dimensiones. Los carpelos son delimitados por paredes radiales, los cuales son unidos a la semilla y contienen un líquido mucilaginoso, de color verduzco; su composición es similar al de las células del mesocarpo (celulosa, emicelulosa, sustancias de naturaleza péptica).

La superficie de la baya puede ser lisa, cuando no presenta ondulación o costilla, si la epidermis está dividida en dientes por más de 2/3 de la longitud, mitad costillada cuando las líneas que la unen crean ondulación en la parte de arriba, interesando lo mismo por lo menos de la mitad de la longitud.

H. Color del fruto

La pigmentación del fruto inmaduro se observa por la presencia de clorofila y de la propia intensidad (desde el verde rayado hasta el verde intenso), asimismo depende de factores genéticos. La pigmentación del fruto maduro está condicionada por la cantidad total de carotenoides y por la relación entre dos principales pigmentos: el licopeno (color rojo) y β -caroteno (color amarillo). La formación y acumulación de los pigmentos es lenta; esta inicia con la formación de la baya luego prosigue de una manera gradual e irregular hasta terminar con la plena maduración (22).

I. Sabor del fruto

El sabor del fruto es el resultado de la composición de muchos constituyentes químicos presentes en la baya, de los cuales se pueden mencionar los siguientes (22):

a. **Azúcares:** glucosa y fructosa.

- b. **Ácidos orgánicos:** málico, cítrico, etc.
- c. **Substancias insolubles:** celulosa, pectina, etc.
- d. **Aminoácidos:** ácido glutámico, ácido aspártico, etc.
- e. **Vitaminas:** C, K, caroteno, etc.

Todos estos compuestos están diversamente distribuidos en el epicarpo, mesocarpo y en la placenta. El pericarpo contiene la mayor concentración de los azúcares, mientras en la placenta se encuentran los ácidos orgánicos. El sabor del fruto finalmente resulta del alto contenido de azúcares y la concentración de ácidos (22).

El tomate ha venido despertando en los últimos años un gran interés entre la comunidad científica por el efecto beneficioso que parece tener sobre el organismo, y son cada vez más los estudios que parecen confirmar que este vegetal es una fuente inagotable de propiedades preventivas y curativas (14).

Los primeros estudios se centraron en los beneficios que aportaba en la prevención de ciertos cánceres, mostraban que aquellas personas que lo consumían con frecuencia estaban menos expuestas a cánceres de colon y de próstata (14).

Otros posteriores vinieron a demostrar las propiedades antienvjecimiento de una sustancia únicamente presente en el tomate, el **licopeno**. Un ejemplo de estos estudios es el llevado a cabo con un grupo de 90 monjas, en el Sur de Italia, con edades comprendidas entre los 77 y los 98 años. Aquellas con índices mayores de licopeno en la sangre tenían una mayor agilidad a la hora de realizar todo tipo de actividades (14). Otros estudios relacionan el consumo de tomates y sus derivados con una disminución del riesgo de ataques al corazón. A continuación

se presenta la cantidad de licopeno que aproximadamente aportan algunos de los derivados del tomate (14) (cuadro 1).

Cuadro 1. Cantidad de licopeno que aportan algunos derivados del fruto del tomate (14).

Alimentos elaborados con tomate	Cantidad de licopeno
1/2 taza de salsa de tomate	22 miligramos
1 vaso de zumo de tomate	28 miligramos
2 cucharadas de ketchup	5 miligramos

El fruto verde del tomate contiene además un alcaloide llamado **tomatina**, que posee propiedades antialérgicas, antiinflamatorias y cardiotónicas. En relación a 10 vitaminas y minerales, el tomate ocupa el lugar número 16 entre hortalizas, pero debido a su alto consumo ocupa el lugar número uno por su contribución en la nutrición humana (14) (cuadro2).

Cuadro 2. Valor alimenticio del fruto del tomate (100 gramos de producto fresco) (22).

Constituyente	Concentración
Agua	94 - 95 %
Energía	19 -20 Kcal.
Proteína	0.9 - 1 g.
Grasa	0.2 g.
Carbohidratos	4.3 g.
Fibra	0.5 g.
Calcio	7 mg.
Fósforo	23 mg.
Sodio	8 mg.
Potasio	207 mg.
Vitamina A	1133 U.I.
Vitamina C	17.6 mg.
Cenizas	0.6 - 1.2 %
Celulosa	0.8 - 1.5 %

4.1.1.1 Clasificación de los cultivares de tomate

A. Según su hábito de crecimiento

a. Crecimiento determinado

Dentro de este grupo se incluyen todos los cultivares en los que la penúltima yema permanece en dormancia o bien produce otro racimo floral, limitando la continuación del crecimiento. Estas plantas pueden alcanzar hasta 2.0 metros de altura, su forma es de arbusto la producción se obtiene en un periodo relativamente corto. Las ramas laterales, son de crecimiento limitado. Estos cultivares se originaron a partir de una mutación y es una característica controlada por un solo gen dominante para el hábito indeterminado. La aparición de esta mutación y su incorporación en diferentes cultivares de tomate, revolucionó la siembra en el mundo, pues permite obtener las cosechas en periodos relativamente cortos y hasta mecanizar la labor (22).

b. Crecimiento indeterminado

Dentro de este grupo se incluyen todos los cultivares cuyo desarrollo es indefinido, al producir un tallo vegetativo a partir de la yema axilar inmediatamente abajo de la última inflorescencia. Este tallo empuja a la inflorescencia terminal hacia afuera, de tal manera que el tallo lateral parece una continuación del tallo principal que le dio origen. Estos cultivares son recomendables para establecerlos bajo invernaderos, pues los tallos laterales se podan y deja únicamente el tallo principal, donde se producen grandes cantidades de inflorescencias durante todo el ciclo de crecimiento, separadas únicamente por la producción de hojas en nudos sucesivos, estos cultivares si son manejados adecuadamente pueden llegar a crecer hasta 10 metros (22).

B. Según el destino de cosecha

a. Tomate de mesa

Las variedades o híbridos de tomate de mesa, o para consumo en fresco, producen frutos jugosos, redondos o achatados de tres o más lóculos; la cáscara es delgada y su coloración puede ser desde tonos rojos amarillentos hasta los rojos intensos, además tienen menor concentración de sólidos totales que los tipo de industria (22).

b. Tomate industrial (de cocina o ciruela)

Los tomates que se han desarrollado para uso industrial, por lo general producen frutos de forma alargada o de pera, son biloculares, de color intenso, poseen alta viscosidad, pH menor a 4.5 y de pericarpo más grueso que los destinados al consumo en fresco (22).

4.1.1.2 Exigencias ecológicas del tomate

El origen tropical del tomate, determina la susceptibilidad para climas o ambientes calientes, templados y su sensibilidad en particular al frío; con diferencias amplias entre los valores de los ambientes, respecto a los del sustrato que determinan una constante no normal entre la parte ipogea (raíz) y la parte epigea (follaje) de la planta (22).

Entre las exigencias climáticas de las especies de tomate, la temperatura es la más condicionante, porque está relacionada con la actividad enzimática que regula las relaciones bioquímicas de la planta, más que todo en la absorción de iones minerales. El límite inferior de rango de temperatura a que pueden crecer las plantas

de tomate es de 10 grados centígrados y el límite superior es de 44 grados centígrados. Entre estos valores extremos, el crecimiento normal ocurre entre los 26 y 32 grados centígrados, cuando la temperatura del ambiente baja de 21 a 11 grados centígrados, la acumulación de sustancias se detiene en la planta (22).

Para la germinación, las semillas requieren oscuridad y la temperatura del medio se debe encontrar entre 15 y 25 grados centígrados, de otra manera los porcentajes de germinación se reducen marcadamente o la germinación se inhibe totalmente (22).

La fecundación se inhibe a temperaturas inferiores de 12 grados centígrados y superiores de 35 grados centígrados, para la polinización las temperaturas ideales son de 22 a 28 grados centígrados (diurnas) y de 18 grados centígrados (nocturnas).

La liberación del polen de las anteras y las sucesivas fecundaciones del ovario exigen temperaturas arriba de 16 grados centígrados (22).

Cuadro 3. Influencia de la temperatura en el estado fenológico de la planta de tomate (22).

Estado Fenológico	Efecto de la temperatura
Germinación de la semilla	Por lo menos de 13°C, ideal entre 18-26°C, máxima 36°C.
Desarrollo radicular	Sustrato entre 14 y 18.5°C, ambiente 24°C.
Crecimiento de la planta	Por lo menos 12°C, ideal entre 18 y 20°C, muere a 0°C.
Inducción floral, diferenciación de racimos	Por lo menos 15°C, ideal 25°C.
Polinización y fecundación	Por lo menos 16°C, ideal entre 22 y 28°C (diurno), se inhibe si es inferior a 12°C y superior a 35°C.

4.1.1.3 Podas del tomate

La arquitectura natural de la planta de tomate se puede variar según sea el tipo de cultivar y las condiciones de humedad relativa durante la época de cultivo. El manejo

se puede hacer removiendo los brotes laterales (también llamados hijos), dejando uno o dos tallos por planta (22).

La forma más común de manejo del follaje, es mediante la remoción de los hijos que salen debajo de la ramificación del tallo principal localizada debajo de la primera inflorescencia, a esta ramificación comúnmente se le llama horqueta de la planta. Con este tipo de poda, el tallo principal se divide en dos, con lo que se logra dar a la planta una arquitectura adecuada a las condiciones ambientales (22).

Esta actividad es una de las principales que influyen en la calidad del fruto (tamaño y forma), asimismo la nutrición de la planta y el estado fitosanitario del cultivo. Por lo que es recomendable efectuarlo con bastante frecuencia (cada 5 días), utilizando para ello tijeras o navajas con su debido manejo sanitario, desinfectándolas cada vez que se utilicen de una planta a otra, esto para evitar la diseminación de patógenos en la plantación (22).

4.1.2 Hidroponia

4.1.2.1 Generalidades

El término hidroponia deriva de los vocablos griegos *hidro* o *hudor*, que significan agua, y *ponos*, que es equivalente a trabajo o actividad; entonces, literalmente hidroponia significa “trabajo en agua” o “actividad en agua” (18).

La hidroponia se puede definir como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con soluciones nutritivas que consideran en su formulación aniones y cationes absorbibles por la planta y en el que en vez de suelo, se utiliza como sustrato un material inerte o simplemente la misma solución (18).

Existen otros términos que se usan como sinónimos de la palabra hidroponía, tales como: cultivos sin suelo, nutricultura, quimiocultura, cultivos artificiales, agricultura sin suelo, etc., (18).

4.1.2.2 Antecedentes

La hidroponía no es una técnica moderna, sino una técnica ancestral; en la antigüedad hubo cultura y civilizaciones que la usaron como medio de subsistencia (7).

El crecimiento de plantas sin tierra, debe su desarrollo a los hallazgos de experimentos llevados a cabo para determinar que substancias hacen crecer a las plantas y su composición. Se conocen trabajos de este tipo de fechas cercanas al año 1600. Sin embargo, el crecimiento de las plantas y la cultura del cultivo sin suelo es conocida mucho antes que esto. La hidroponía es por lo menos tan antigua como las pirámides (7).

El cultivo hidropónico es anterior al cultivo en suelo, pero como herramienta de cultivo, muchos creen que empezó en la antigua Babilonia, en los famosos jardines colgantes que se listan como una de las siete maravillas del mundo antiguo, en lo que probablemente fuera uno de los primeros intentos exitosos de cultivar plantas hidropónicamente (7).

Los aztecas de Centro América, una tribu nómada forzada a ubicarse hacia la orilla pantanosa del lago Tenochtitlán, localizado en el gran valle central de lo que es ahora México, y tratados bruscamente por sus vecinos más poderosos que les negaron cualquier tierra cultivable, sobrevivieron desarrollando notables cualidades de invención. Como consecuencia de la falta de tierra, decidieron hacerlo con los materiales que tenían a mano (en lo que debe haber sido un largo proceso de

ensayo y error); ellos aprendieron a construir balsas de caña, dragaban la tierra del fondo del lago y la amontonaban en las balsas. Debido a que la tierra venía del fondo del lago, era rica en una variedad de restos orgánicos y material descompuesto que aportaba grandes cantidades de nutrientes (7).

Estas balsas, llamadas **chinampas**, permitían obtener abundantes cosechas de verduras, flores e incluso árboles eran plantados en ellas. En oportunidades se unían algunas de estas balsas que nunca se hundieron para formar islas flotantes de hasta sesenta metros de largo (7).

El intento científico documentado más antiguo para descubrir los nutrientes de las plantas fue en 1600 cuando el belga Jan Van Helmont mostró en su experimento clásico que las plantas obtienen sustancias del agua (7). El experimento consistió en colocar una planta de sauce de unos 2 Kg. de peso en un tubo que contenía aproximadamente 80 Kg. de suelo seco, el cual fue cubierto para evitar cualquier aporte externo de polvo. Por cinco años, sólo se le añadió agua de lluvia. Al final del experimento la planta aumentó 64 Kg. mientras que el suelo sólo perdió 60 gramos de peso (18). Su conclusión, que las plantas obtienen sustancias para su crecimiento del agua, fue correcta, sin embargo él no comprendió que también requieren dióxido de carbono y oxígeno del aire (7).

En 1699, John Woodward, un miembro de la Sociedad Real de Inglaterra, cultivó plantas en agua que contenía varios tipos de suelo, la primera solución hidropónica artificial, y encontró que el mayor crecimiento en agua con la mayor cantidad de tierra (18). Aunque no pudo identificar los elementos específicos que causaban el crecimiento de las plantas, concluyó que éste era el resultado de ciertas sustancias y minerales que se encontraban en el agua "enriquecida" en lugar de simplemente agua (7).

En 1804, Nicolás De Saussure publicó los resultados de sus investigaciones, indicando que las plantas están compuestas de minerales y elementos químicos obtenidos del agua, tierra y aire. En 1842 se publicó una lista de nueve elementos considerados esenciales para el crecimiento de las plantas (7). Estas proposiciones fueron verificadas después por Jean Baptiste Boussingault en 1851, en sus experimentos con medios de crecimiento inertes, alimentó plantas con soluciones de agua usando varias combinaciones de elementos puros, obtenidos del suelo, arena, cuarzo y carbón de leña, a las cuales agregó soluciones de composición química conocida. Él concluyó que el agua era esencial para el crecimiento de la planta proporcionando hidrógeno y que la materia seca de la planta consiste en hidrógeno más el carbono y oxígeno que provienen del aire. También estableció que las plantas contienen nitrógeno y otros elementos minerales y obtienen todos los nutrientes requeridos del suelo que utilizó (7).

En 1856, Salm-Horsmar desarrolló técnicas para el uso de arena y otros sustratos inertes, varios investigadores habían demostrado por ese tiempo que pueden crecer plantas en un medio inerte humedecido con una solución de agua que contenga los minerales requeridos por la planta. El próximo paso era eliminar completamente el medio y cultivar las plantas en una solución de agua que contuviera estos minerales (7). De los descubrimientos y avances de los años 1859 - 1865 la técnica fue perfeccionada por dos científicos alemanes, Julius Von Sachs en 1860, profesor de Botánica de la Universidad de Wurzburg y W. Knop en 1861, químico agrícola; Knop ha sido llamado "El padre de la cultura del agua", (7) Estos descubren que además de dióxido de carbono, oxígeno e hidrógeno, las plantas requieren de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y hierro (18).

En 1860, el profesor Julius Von Sachs publicó la primera fórmula estándar para una solución de nutrientes que podría disolverse en agua y en la que podrían crecer plantas con éxito. Esto marcó el fin de la larga búsqueda del origen de los nutrientes vitales para las plantas, dando origen a la "Nutricultura". En los años siguientes, investigadores desarrollaron muchas fórmulas básicas diversas para el estudio de la nutrición de las plantas. Algunos que trabajaron en esto fueron Tollens (1882), Totttingham (1914), Shive (1915), Hoagland (1919), Deutschmann (1932), Trelease (1933), Arnon (1938) y Robbins (1946). Muchas de sus fórmulas todavía se usan en investigaciones de laboratorio sobre nutrición y fisiología de las plantas (7).

A final de la década de 1920 e inicio de los años treinta el Dr. William F. Gericke de la Universidad de California extendió sus experimentos de laboratorio y trabajos en nutrición de plantas a cosechas prácticas en aplicaciones comerciales a gran escala, de allí se derivó el termino hidroponia (7). En 1936 Gericke y Travernett publicaron un trabajo en el que desarrollaron un sistema donde reportaron que en 9.2 metros cuadrados de área cultivada obtuvieron una tonelada de tomates de buena calidad al alcanzar las plantas una altura de 7.5 metros en menos de un año. A pesar del entusiasmo que esto despertó en la gente, este método no pudo popularizarse debido al alto grado de conocimientos técnicos y a la experiencia práctica que se requería para manejar económicamente el sistema (18).

Durante la Segunda Guerra Mundial el ejército de los Estados Unidos construyó varias instalaciones hidropónicas con el objeto de abastecer de hortalizas frescas a los soldados estacionados en lugares aislados. Durante el período de la ocupación estadounidense al Japón (al terminar la segunda guerra), el ejército de Estados Unidos construyó en la isla de Chofú la instalación hidropónica más grande del mundo con 31 hectáreas (18).

Después de esta guerra, el desarrollo de la hidroponia se incrementó, tanto comercial, como en programas de investigación. Recientemente, la mayoría de investigaciones trabajan principalmente en dos aspectos; uno es buscar sistemas hidropónicos más baratos y fáciles de manejar por la gente que no tenga conocimientos en fisiología vegetal, asimismo estudios que abarquen diversos aspectos en nutrición mineral (18).

4.1.3 Componentes de los sistemas hidropónicos

4.1.3.1 Sustratos

Se denomina *sustrato* a todo material sólido distinto del suelo, ya sea natural o artificial, que colocado en un contenedor en forma pura o mezclado, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando un papel de soporte para la planta (18).

A. Las propiedades de los sustratos

La primera etapa de la aplicación de un sustrato en hidroponia es la caracterización del mismo, con objeto de conocer sus propiedades física, químicas y biológicas. Las propiedades de los materiales son factores dominantes, que determinan el manejo posterior del sustrato (19).

a. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los sustratos son de primera importancia. Una vez que el medio esté en el contenedor y la planta esté creciendo en él, no es posible modificar prácticamente las características físicas básicas de dicho medio. La caracterización física estudia la distribución volumétrica del material sólido, el agua y el aire (19).

• Espacio poroso total

Es el volumen total del medio de cultivo no ocupado por partículas orgánicas e inorgánicas minerales. Su nivel óptimo se sitúa por encima de un 85% del volumen del

sustrato. El total de poros existentes en un sustrato se reparte entre poros capilares, de tamaño pequeño, los cuales retienen el agua y poros no capilares o macroporos, de mayor tamaño, los cuales se vacían después que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación (19).

- **Agua fácilmente disponible**

Es la diferencia entre el volumen de agua retenida por el sustrato, después de haber sido saturado y dejado drenar a una tensión de 1 kiloPascal (kpa), y el volumen de agua presente en dicho sustrato a una tensión de 5 kPa. El valor óptimo del agua fácilmente disponible oscila entre un 20 y un 30% del volumen (19).

Un sustrato puede tener una baja capacidad de retención de agua fácilmente disponible debido a que (19):

- a. Su porosidad total es reducida.
- b. Los poros son grandes y gran parte del agua se pierde por gravedad.
- c. Los poros son muy pequeños y la planta es incapaz de extraer una parte importante del agua antes de marchitarse.
- d. Una combinación de las situaciones anteriores.

- **Agua de reserva**

Es la cantidad de agua (% en volumen) que libera un sustrato al pasar de 5 kPa a 10 kPa. El nivel óptimo se sitúa entre un 4 y un 10% en volumen (19).

El agua total disponible de un sustrato es la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva. El agua difícilmente disponible es el volumen de agua retenida por el sustrato a una tensión superior de 10 kPa (19).

- **Capacidad de aireación**

Es la proporción del volumen del medio de cultivo que contiene aire después que dicho medio ha sido saturado con agua y dejado drenar, usualmente a 1 kPa de tensión. El nivel óptimo de la capacidad de aireación oscila entre un 20 y 30 % en volumen. La distribución del tamaño de los poros es el factor clave en el estado hídrico y aéreo de los sustratos (19).

- **Distribución del tamaño de las partículas**

El tamaño de las partículas afecta al crecimiento de las plantas a través del tamaño de los poros. La distribución del tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido en agua y en aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad. El mejor sustrato se define como aquel material gruesa a media, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 y 300 μm , equivalente a una distribución del tamaño de las partículas entre 0.25 y 2.5 mm, que retiene suficiente agua fácilmente disponible y posee además, un adecuado contenido de aire (19).

- **Densidad aparente**

Se define como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del medio húmedo, es decir, incluye el espacio poroso entre las partículas. La densidad aparente juega un papel importante ya que los sustratos se transportan durante su manejo y manipulación, consecuentemente se debe de tomar en cuenta su peso. La densidad aparente de los sustratos no debería superar los 0.4 g/cm^3 (19).

- b. **Propiedades químicas**

Las propiedades químicas caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del sustrato (19).

- **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

Se define como la suma de los cationes cambiabiles que pueden ser adsorbidos por unidad de peso (o de volumen) del sustrato. Dichos cationes quedan así retenidos frente al efecto lixiviante del agua y están usualmente disponibles para la planta (19).

El valor óptimo de la CIC de los sustratos depende estrechamente de la frecuencia de la fertirrigación. Si la fertirrigación se aplica permanentemente, la capacidad de adsorción de los cationes no representa ninguna ventaja, siendo recomendable en esta caso la utilización de materiales inertes, con muy baja o nula CIC; si, por el contrario, la fertirrigación se aplica de modo intermitente, será interesante la utilización de sustratos con moderada a elevada CIC, en todo caso, superior a 20 meq./100 g. (19).

Varios autores señalan que los materiales para el cultivo hidropónico deberían poseer una bajísima o nula CIC, es decir, deberían ser químicamente inertes, con el objeto de permitir un mayor control nutricional de las plantas o bien, de evitar problemas de salinización excesiva del sustrato (19).

- **Disponibilidad de nutrientes**

la mayoría de los sustratos minerales no se descomponen biológicamente ni químicamente, y desde un punto de vista práctico, se pueden considerar desprovistos de nutrientes. En cualquier caso, y para un crecimiento óptimo de las plantas, deberán añadirse siempre nutrientes adicionales como fertilizantes durante el ciclo de cultivo (fertirrigación) (19).

En los sustratos minerales, es frecuente la determinación de los nutrientes asimilables en la solución del sustrato. En todo caso, y para conocer si el plan de

fertilización es correcto, es necesario comparar la solución nutritiva de riego con la del sustrato y los drenajes, pudiéndose complementar la información con el análisis de los tejidos vegetales y la observación visual del aspecto de las plantas (19).

- **Salinidad**

Se refiere a la concentración total de sales solubles presentes en la solución del sustrato. Se puede producir un incremento en la salinidad del sustrato, después de estar éste colocado en un contenedor, cuando la cantidad de sales aportadas con la solución nutritiva es superior a las cantidades absorbidas por las plantas o las pérdidas por lixiviación (19).

El incremento en la salinidad del sustrato, si se presentase, puede ser prevenido, o corregido, mediante una lixiviación controlada. La práctica del riego en los sistemas hidropónicos, el agua se maneja de manera excedentaria con objeto de evitar, por lavado, la acumulación de sales (19).

- **pH**

El crecimiento y el desarrollo de las plantas se ven reducidos de modo marcado en condiciones de acidez o alcalinidad extremas. El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilación de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica. Bajo condiciones de cultivo intensivo, se recomienda mantener el pH del sustrato dentro de un intervalo reducido de 5.5 a 6.8 (19).

- **Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)**

La relación C/N se utiliza frecuentemente como un índice del origen de la materia orgánica, de su madurez y de su estabilidad. Una relación C/N inferior a 40 es

considerada como óptima para el cultivo en sustrato y es un indicador de un material orgánico maduro y estable (19).

c. Otras propiedades

Además de las propiedades físicas y químicas que se mencionaron anteriormente, los materiales que se pueden utilizar como sustratos en hidroponía deberían reunir también las siguientes características (19):

1. Libres de semillas de malezas, nemátodos y otros patógenos
2. Disponibilidad
3. Bajo costo
4. Fáciles de mezclar
5. Fáciles de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección
6. Resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales
7. Que las partículas que lo componen tengan un tamaño mayor de 0.2mm y menor de 7 mm.
8. Que retengan una buena cantidad de humedad, pero además que faciliten la salida de los excesos de agua por riego o lluvia.
9. Que no retengan mucha humedad en su superficie.
10. Que no se descomponen o degraden con facilidad.

B. Criterios para la elección de un sustrato

Una cuestión que se plantea frecuentemente es: ¿Existe el sustrato ideal para el cultivo hidropónico?. La respuesta inmediata es **no**. El mejor medio de cultivo en cada caso variará de acuerdo a numerosos factores, tales como: la especie vegetal,

condiciones climáticas, tamaño y forma del recipiente o contenedor, el sistema de riego, algunos aspectos económicos, experiencias locales, entre otros, (19).

Un elevado número de materiales se puede utilizar con éxito en la preparación de los medios de cultivo de las plantas en los recipientes. La elección de un material particular estará determinada por (19):

1. La disponibilidad del mismo
2. La finalidad de la producción
3. Su costo
4. Sus propiedades
5. La experiencia local en su utilización, y
6. Los problemas ambientales de la eliminación de sus residuos.

Los sustratos que han sido probados y que cumplen la mayoría de los requisitos, son los siguientes (19):

- **Cascarilla de arroz**

Esta es necesario lavarla y dejarla bien humedecida antes de mezclarla con otros sustratos y utilizarla.

- **Aserrín de maderas**

El aserrín debe ser apenas una pequeña parte (entre 15 y 20%) del sustrato, pues en cantidades muy grandes son perjudiciales para el desarrollo de algunas plantas.

- **Arenas volcánicas, arenas de río**

Estos materiales pueden ser utilizados solos, pero también algunas mezclas de ellos en diferentes proporciones han sido probadas en cultivos hortícolas de más de 30 especies.

Marulanda, citado por Bautista (3), menciona que las mezclas más recomendadas de acuerdo a varios ensayos hechos en varios lugares son:

50 % de cascarilla de arroz y 50 % de escoria volcánica

80 % de cascarilla de arroz y 20 % de aserrín

50 % de cascarilla de arroz y 50 % arena de río

50 % de cascarilla de arroz y 50 % arena volcánica (pómez)

50 % de cascarilla de arroz y 40 % de escoria volcánica y 10% aserrín.

C. Los sustratos y el medio ambiente

Durante estos últimos años se viene mostrando un marcado interés por el medio ambiente, lo que ha facilitado el estudio del impacto ambiental de la actividad agraria sobre la atmósfera, el suelo y las aguas (superficiales y subterráneas) (19).

Los cultivos sin suelo presentan unas características diferenciales importantes en comparación con el cultivos en el suelo natural, mereciendo el estudio de su impacto ambiental una consideración especial (19).

Los agentes más contaminantes en la industria de los cultivos sin suelo son (19):

1. La lixiviación de los nutrientes, especialmente en los sistemas abiertos, a solución perdida,
2. El vertido de los residuos y los materiales de desecho
3. La emisión de productos fitosanitarios, y
4. La emisión de gases y el consumo extra de energía, como consecuencia de la calefacción, la desinfección, entre otros.

El mayor problema de residuos en la hidroponia lo constituyen, sin duda, los residuos de los materiales utilizados como sustratos. Los materiales transformados o tratados presentan problemas graves de eliminación de residuos, una vez que ha finalizado

su vida útil. Estos problemas ambientales de la eliminación de los residuos han obligado a la búsqueda de nuevos materiales alternativos o sustitutivos, como los materiales orgánicos biodegradables y los materiales de desecho (19).

4.1.3.2 Solución nutritiva

La solución nutritiva se define como el conjunto de elementos nutritivos requeridos por las plantas, disueltos en agua (18).

Desde hace muchos años se ha probado que los siguientes elementos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, boro, cobre, zinc, molibdeno y cloro. Bajo los sistemas de producción hidropónicos, con excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno, todos los elementos esenciales son suministrados a través de una solución nutritiva y en forma asimilable por las raíces de las plantas, por lo tanto se considera un prerrequisito **la solubilidad** de los iones esenciales en el agua (18).

El nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, denominados como macroelementos, se añaden al agua usando casi siempre como fuente, fertilizantes comerciales altamente solubles. El hierro, manganeso, boro, cobre, zinc, molibdeno y cloro, denominados microelementos, van a menudo incluidos como impurezas en el agua y fertilizantes que proporcionan los macroelementos, y a excepción del hierro que sólo se añade a la solución cuando existe necesidad (muy a menudo) (18).

Después de varios años de investigación, se ha llegado a concluir que no existe una solución teórica ideal para un cultivo en particular y que la concentración óptima de elementos nutritivos para una especie vegetal en particular depende de un conjunto de factores, entre los que destacan: la parte de la planta que se va a cosechar (raíz,

tallo, hoja, flor, fruto o semilla), la estación del año, el clima, la calidad del agua y el estado de desarrollo de la planta (18).

Para lograr que las plantas que se desarrollan bajo los sistemas hidropónicos logren un crecimiento adecuado, la cantidad de sales disueltas en la solución nutritiva debe ser de 0.5 a 2.0 atmósferas de presión osmótica. El pH de la solución deberá ajustarse de acuerdo a las necesidades de la especie a cultivar; la mayoría de las plantas se desarrollan con un pH de 5.5 a 6.5 (18).

Al momento de hacer los cálculos para elaborar la solución nutritiva, debe tomarse muy en cuenta la cantidad y el tipo de iones que el agua tiene ya disueltos de acuerdo a su origen. Por ejemplo, si el agua que se utilice para hacer la solución nutritiva contiene cantidades considerables de calcio, magnesio u otro elemento, estos deben descartarse de los fertilizantes que se vayan a usar como fuente de elementos (18).

Las fuentes más comunes y baratas de los elementos esenciales son los fertilizantes comerciales, que deben ser altamente solubles en agua. Sólo cuando se hacen trabajos de nutrición vegetal o como fuente de algunos micronutrientes, es que se justifica el uso de los reactivos analíticos que, por su elevado precio, no se recomiendan en la hidroponía comercial o al nivel de huerto familiar. Algunos fertilizantes proporcionan dos o inclusive más nutrientes, lo cual facilita la elaboración de la solución y reduce su precio (18).

Según Sánchez y Escalante (18), las principales fuentes de los nutrientes que forman parte de una solución nutritiva para los cultivos hidropónicos son las siguientes:

A. NITRÓGENO

Es el componente fundamental de todas las moléculas orgánicas involucradas en los procesos de crecimiento y desarrollo vegetal: aminoácidos (proteínas y enzimas), ácidos nucleicos, clorofila, hormonas y otros compuestos nitrogenados. Por lo tanto, participa activamente en los principales procesos metabólicos: fotosíntesis, la respiración y la síntesis proteica (4).

Entre los efectos que causa el N en las plantas, se pueden mencionar que acentúa el color verde, favorece el desarrollo del follaje, retrasa la maduración de frutos, entre otros (4).

El nitrógeno es absorbido por las plantas casi exclusivamente en forma de nitrato (NO_3) y en forma de amonio (NH_4), soluble en agua. En hidroponía la mayoría del nitrógeno se proporciona en nitratos; el amonio, en la mayoría de los casos, sólo se usa como fuente suplementaria, ya que en concentraciones altas de éste ion, pueden causar daños fisiológicos a la planta (18).

Las principales fuentes de nitrógeno son (18):

- Nitrato de potasio
- Nitrato de calcio
- Nitrato de Amonio
- Sulfato de amonio
- Fosfato monoamónico

B. FÓSFORO

Forma parte de la molécula transportadora de alta energía ATP, por lo tanto participa en todos los procesos metabólicos que involucran energía (4).

Entre los efectos que causa el P en las plantas, se pueden mencionar que fomenta y acelera el desarrollo de raíces, aumenta la fructificación, apresura la maduración de frutos, aumenta la resistencia a enfermedades, entre otros (4).

La forma en que el fósforo es asimilable por las plantas es como ion fosfato (PO_4) (18).

Las principales fuentes de fósforo son (18):

- Fosfato de amonio
- Fosfato diamónico
- Superfosfato de calcio simple
- Superfosfato de calcio triple

C. POTASIO

Participa en casi todos los procesos de respiración, fotosíntesis, aunque no tiene un papel específico, pero se le confiere una participación muy activa en la regulación osmótica e hídrica de la planta y en la permeabilidad de las membranas, además está involucrado muy directamente en el transporte de azúcares vía floema (4).

Entre los efectos que causa el K en las plantas, se pueden mencionar que incrementa la eficacia en la elaboración y movilización de azúcares y almidones, mejora la calidad de los productos, mantiene la turgencia de la planta, aumenta la resistencia a enfermedades y plagas, entre otros (4).

Las principales fuentes de potasio son(18):

- Nitrato de potasio
- Sulfato de potasio
- Cloruro de potasio

D. CALCIO

Su principal papel es estructural, debido a que constituye las láminas medias como pectatos de calcio, la parte cementante de las paredes celulares. Participa en la formación de membranas celulares y posiblemente en el transporte de glúcidos (4).

Entre los efectos que causa el Ca en las plantas, se pueden mencionar que aumenta la resistencia a la penetración de enfermedades y plagas, favorece el cuaje de las flores, proporciona rigidez, fomenta el desarrollo de raíces, entre otros (4).

Las principales fuentes de calcio son (18):

- Nitrato de calcio
- Sulfato de calcio
- Superfosfato simple y triple

E. MAGNESIO

Forma parte de la molécula de clorofila, por lo tanto es determinante sobre la fotosíntesis, participa como activador enzimático principalmente en el metabolismo de los azúcares y la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas (4).

Entre los efectos que causa el Mg en las plantas, se pueden mencionar que produce el color verde, además ayuda en la absorción de fósforo (4).

Las principales fuentes de magnesio son (18):

- Sulfato de magnesio (sal de Epsom)
- Sulfato de magnesio (anhidro)

F. AZUFRE

Forma parte de las proteínas como integrante de los aminoácidos azufrados cistina, cisteína y metionina. Es constituyente de algunas enzimas, vitaminas y coenzimas, que participan en el metabolismo, asimismo ayuda a la estabilización de la estructura de las proteínas (4).

Entre los efectos que causa el azufre en las plantas, se pueden mencionar que aumenta el crecimiento vegetativo y la fructificación, estimula el crecimiento de la raíz, entre otros (4). Normalmente el azufre es utilizado por las plantas en forma de sulfatos (SO_4) (18).

Las principales fuentes de azufre son (18):

- Sulfato de amonio
- Sulfato de potasio
- Superfosfatos
- Sulfato de magnesio (Sal de Epsom)
- Sulfato de calcio

G. HIERRO

Actúa como activador enzimático en la síntesis de clorofila; es un factor necesario, pero no forma parte de la molécula (4).

Las principales fuentes de hierro son (18):

- Sulfato ferroso
- Cloruro férrico
- Quelatos

H. MANGANESO

Actúa como activador enzimático en la respiración y en el metabolismo del N, activando las reductasas. También participa en la síntesis proteica y en la formación de ácido ascórbico (vitamina C) (4).

El manganeso en la solución nutritiva, es proporcionado como sulfato, cloruro o quelatos de manganeso (18).

I. BORO

Su papel específico no está completamente claro, pero afecta muchos procesos en forma indirecta. Interviene en el transporte de azúcares a través de las membranas, absorción activa de sales, relaciones hídricas (4).

Se asimila como borato (BO_3) y su principal fuente es el ácido bórico (18).

J. COBRE

Es componente de ciertas proteínas presentes en el cloroplasto, por lo que es fundamental en la fotosíntesis, además promueve la formación de vitamina A (4).

Sus principales fuentes son el sulfato y el cloruro de cobre (18).

K. ZINC

Actúa como activador de varias enzimas, interviene en la síntesis de la hormona de crecimiento AIA (ácido indolacético), a nivel de su precursor, el triptófano (4).

Se aporta a la solución como sulfato o cloruro de zinc (18).

L. MOLIBDENO

Está fuertemente relacionado con el metabolismo del N. Asimismo con niveles de ácido ascórbico que sirven para proteger al cloroplasto, también se postula su participación en la absorción y transporte del hierro (4).

Este elemento es requerido en tan pequeña cantidad que se encuentra como impureza en otros fertilizantes, por lo tanto no requiere de ninguna fuente adicional (18).

Cuadro 4. Rangos de los elementos esenciales en la solución nutritiva, según la Universidad Nacional Agraria La Molina (16).

Elemento	Concentración En La Solución Nutritiva (ppm)
Nitrógeno	150 – 250
Fósforo	30 – 50
Potasio	200 – 300
Calcio	120 – 200
Magnesio	20 – 50
Azufre	50 – 100
Cloro	50 – 100
Hierro	0.50 – 2
Cobre	0.05 – 0.15
Boro	0.30 – 0.60
Manganeso	0.50 – 0.80
Molibdeno	0.01 – 0.05
Zinc	0.10 – 0.30

a. Rol de la aireación de los cultivos hidropónicos

La aireación del medio en el cual se desarrollan las raíces en el cultivo hidropónico es de vital importancia, no sólo para el crecimiento de las raíces sino sobre todo para realizar su función de absorción de nutrientes, su transporte y acumulación dentro de la planta; puesto que son procesos de absorción y transporte activos con uso de energía metabólica proveniente de la respiración de las mismas raíces (19).

La respiración de las raíces produce energía metabólica en forma de adenosin trifosfato (ATP). Estos ATPs activan los portadores que son sustancias específicas para transportar a un ion específico de la solución nutritiva que baña las raíces y los lleva luego al interior de las células, a través de sus membranas. Por lo tanto, este

aspecto de la aireación de las raíces, debe constituir una permanente atención de los cultivos hidropónicos en todas sus fases, desde la germinación de las semillas en los almácigos hasta la producción final (19).

4.1.4 Estudios sobre nutrición en tomate

Villareal (21) et al, llevaron a cabo una investigación sobre la nutrición balanceada en fertirriego y su efecto en la producción y calidad de tomate. El estudio se llevó a cabo en México y se evaluaron bajo condiciones de campo, dos tratamientos de fertirriego y uno de manejo convencional (riego por surcos y con fertilizantes salinos), con la finalidad de determinar su efecto sobre las curvas de acumulación de biomasa y macronutrientes, la producción y calidad del fruto y finalmente establecer las relaciones NPK recomendables en la solución de fertirriego en varias etapas de desarrollo del cultivo.

El cultivar utilizado para este estudio fue Contessa, el cual se sembró en recipientes de plástico con agrolita como sustrato, las plantas se mantuvieron regadas con la solución de Stainer. La acumulación de materia seca, en general fue mayor en las plantas manejadas con fertirriego que en las fertilizadas y regadas en forma convencional. Los requerimientos nutricionales según las curvas de acumulación del tomate fueron, en orden decreciente, $K > N > Mg > Ca > P$ hasta los 80 días después del trasplante y a partir de esta fecha se observó una intensa absorción de calcio que superó a todos los demás nutrientes hasta la tercera cosecha de frutos. La producción de frutos y algunos parámetros de calidad fueron consistentemente favorecidos por los tratamientos de fertirriego.

Con base a valores de absorción de NPK, calcularon las relaciones de esos tres nutrientes que se debe mantener en la solución de fertigración durante las distintas etapas fenológicas del cultivo de tomate, y esto es lo que recomiendan:

Cuadro 5. Relación NPK recomendada en la fertigración, de acuerdo a la etapa de desarrollo del cultivo de tomate, según Villareal *et al* (21).

Etapa de Desarrollo del Cultivo	R E L A C I O N		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Vegetativa a inicio de floración.	1.0	0.25	1.0
Inicio de floración a cuaje de frutos.	1.0	0.25	2.0
Inicio de cuaje de frutos a madurez	1.0	0.25	2.5

Burgueño, H. (5), realizó una investigación acerca de la cinética de absorción de elementos minerales del cultivo de tomate, en el año 1999 en México. Se monitorearon cuatro lotes comerciales de plantas, a las cuales se les realizaron mediciones agronómicas y su análisis de concentración de nutrientes, tanto en la planta como en el fruto.

Burgueño concluye que a partir del trasplante hasta los 45 días, la planta produce solamente un 7% de materia seca, mientras que al inicio de cosecha alcanza el 30%, notándose un marcado incremento en la producción de materia seca a los 30 días de iniciada la cosecha. También afirma que cuando los frutos aumentan su producción de materia seca, hay una demanda importante, sobre todo de potasio, nitrógeno y fósforo, asimismo hay un aumento en la tasa de calcio y magnesio. Durante la fase de engorde de los frutos, hay un fuerte consumo de potasio y magnesio y durante la fase de maduración de frutos hay un fuerte consumo de calcio.

El investigador divide el ritmo de absorción de nutrientes en cuatro periodos, los cuales son los siguientes:

1. Del trasplante al inicio de floración, hay una débil producción de materia seca.
2. Del inicio de cuajado de frutos al engorde, aproximadamente siete semanas, hay una fuerte producción de materia seca y la asimilación de potasio es muy fuerte.
3. De inicio de cosecha a treinta días de cosecha, la asimilación de nitrógeno, calcio y magnesio es elevada; la asimilación de fósforo se mantiene normal.
4. En el fin de ciclo, baja la asimilación de magnesio, siendo la de potasio y calcio aún muy importantes.

La información anterior concuerda parcialmente con los reportes de Villareal *et al.*

Cuadro 6. Composición en elementos minerales de la planta y el fruto de tomate, según Burgueño, H. (5).

Parte de la planta	% Nitrógeno	% Fósforo	% Potasio	% Calcio	% Magnesio
Planta Entera	25	4	39	25	7
Fruto	29	5	57	6	3
Planta + Fruta	19	7	41	25	8

El Centro de Investigación de Hidroponia y Nutrición Mineral (CIHNM), de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) (20) en Perú, ha desarrollado importante investigación en lo que se refiere hidroponia, incluso desarrollaron una solución nutritiva muy conocida en el ámbito latinoamericano después de varios años de investigación en septiembre de 1,993.

Los investigadores de este centro afirman que el principal cultivo hidropónico a escala mundial es el tomate, asimismo por su larga experiencia en este campo y en el cultivo de tomate, han generado bastante información acerca de este cultivo, la cual se resume a continuación:

Las concentraciones de los macro y micronutrientes en hojas de tomate provenientes de plantas cultivadas bajo un sistema hidropónico son las siguientes:

Cuadro 7. Concentraciones de nutrientes en hojas de tomate cultivadas en sistemas hidropónicos, según el CIHNM (20).

Porcentaje					Partes por millón					
N	P	K	Ca	Mg	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
4.5-5.5	0.6-1.0	4.5-5.5	1.5-2.5	0.4-0.6	80-150	35-60	70-150	30-45	4-6	1-3

La solución nutritiva en el cultivo de tomate debe ser cambiada de acuerdo al estado de crecimiento y desarrollo de las plantas. Asimismo afirman que el tomate y otras hortalizas de fruto, por lo general tienen tres niveles de nutrición:

- 1) Vegetativo
- 2) Floración
- 3) Fructificación

El nivel de nutrición 1 (vegetativo) debe aplicarse los dos primeros meses después del transplante, con esto se logra principalmente el engrosamiento del tallo de las plantas. Para esto se debe mantener una dosis alta de nitrógeno de 180 – 200 partes por millón (ppm), luego reducirla a 150 ppm.

El nivel de nutrición 2 (floración), debe aplicarse del segundo al tercer mes del cultivo, con esto se logra estimular la floración y para ello se debe aumentar el nivel de fósforo de 40 – 50 ppm.

El nivel de nutrición 3 (fructificación), debe aplicarse a partir del tercer mes del cultivo, en donde se debe reducir los niveles de fósforo y elevar el nivel de potasio de 250 – 300 ppm.

4.1.5 Conceptos fenológicos

La fenología es la rama de la ciencia que estudia el crecimiento y desarrollo de los vegetales y animales con respecto al clima del lugar y al tiempo atmosférico, a lo largo del año. La fenología de una especie, depende de su genotipo y del ciclo de dinamismo del medio, sobre todo el climático. Para fijar las fases fitofenológicas, se determina la velocidad relativa del crecimiento de los diferentes órganos vegetales, ya sea por medio de medios ópticos o métricos (6).

El crecimiento consiste en el aumento de materia (tamaño o volumen), a través del tiempo y es objeto de estudio de la fenometría. Como ejemplo de mediciones fenométricas se pueden mencionar la altura de una planta, el área foliar, número de nudos del tallo, número de flores, frutos, etc., asimismo determinaciones del contenido de materia seca de los diferentes órganos vegetales a lo largo de los ciclos vegetativos y reproductivos (6).

El desarrollo es el paso por las distintas fases o estados hasta concluir el ciclo reproductivo de un organismo. Como ejemplo, la brotación, la floración, la maduración de los frutos, la abscisión de las hojas, son fases secuenciales en los vegetales indicadoras de cambios en los procesos fisiológicos y en la distribución de los productos de la fotosíntesis (6).

Durante la fase vegetativa inicial, ocurren cambios internos en las plantas que son preparatorios, luego inicia un rápido incremento en el crecimiento, formando hojas simples o compuestas, alargamiento de tallos, etc. (4).

El inicio de la fase de madurez, está determinada por el genotipo de las plantas. Siendo las fases de floración y fructificación, en donde la planta forma primeramente las flores, ya sean simples o inflorescencias, que posteriormente serán fecundadas y formaran el fruto (4).

4.2 MARCO REFERENCIAL

4.2.1 Ubicación y descripción del sitio experimental

La investigación se llevó a cabo en la sección de cultivos bajo invernadero de la Escuela Nacional Central de Agricultura, la cual se encuentra a una distancia de 23 kilómetros de la ciudad capital y a una altura de 1,300 msnm, entre las coordenadas 14°31'15" latitud norte y 90°36'35" longitud oeste (12).

4.2.2 Condiciones Climáticas

La temperatura media anual se encuentra entre los 14° y 24°C, la precipitación es de 1,000 a 2,000 mm anuales, la evapotranspiración es de 800 a 1,000 mm. Los días de lluvia van de 90 a 120 al año, la zona de vida es bosque húmedo subtropical templado (12).

4.2.3 Descripción Del Híbrido Dominique

Este híbrido presenta un hábito de crecimiento indeterminado, resistencia a V₁, F₁, F₂, Tm (V: *Verticillium*, F: *Fusarium* razas 1 y 2, Tm: virus del mosaico del tabaco), mildew polvoriento, virus Y de la papa. La madurez del fruto es tardía, de vigor fuerte, su consistencia es muy firme y su vida de anaquel es muy prolongada, además es una planta vigorosa cultivable con éxito en condiciones de salinidad moderada, logrando obtener hasta 25 libras por planta. Los frutos cuajan bien en bajas temperaturas y responde satisfactoriamente a los estimulantes de crecimiento (11).

5. OBJETIVOS

5.1 GENERAL

5.1.1 Evaluar el efecto de tres concentraciones de nitrógeno y potasio en solución nutritiva sobre el rendimiento del cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. , Híbrido Dominique.

5.2 ESPECÍFICOS

5.2.1 Establecer la respuesta del cultivo de tomate a tres concentraciones de nitrógeno en solución nutritiva, expresada en rendimiento de frutos en kg/planta.

5.2.2 Establecer la respuesta del cultivo de tomate a tres concentraciones de potasio en solución nutritiva, expresada en rendimiento de frutos en kg/planta.

5.2.3 Evaluar la interacción nitrógeno-potasio sobre el rendimiento del cultivo.

5.2.4 Determinar la rentabilidad y la relación beneficio/costo de los tratamientos evaluados.

6. HIPÓTESIS

- 6.1 Al menos una concentración de nitrógeno en la solución nutritiva, producirá un mayor rendimiento del cultivo.
- 6.2 Al menos una concentración de potasio en la solución nutritiva, producirá un mayor rendimiento de cultivo.
- 6.3 Al menos una concentración de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva producirá un mayor rendimiento de cultivo.
- 6.4 Al menos una concentración de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva producirá una mayor rentabilidad y relación beneficio/costo en el cultivo de tomate,

7. METODOLOGÍA

7.1 Metodología Experimental

7.1.1 Tratamientos

De los tres niveles de nutrición que presenta la planta de tomate según la UNALM (20), el estudio se centró en dos: en el 1 (vegetativo) y el 3 (fructificación), evaluando tres concentraciones de nitrógeno y tres concentraciones de potasio respectivamente, como se muestra en los cuadros 8 y 9.

Cuadro 8. Concentraciones de nitrógeno y potasio que se evaluaron según el nivel de nutrición de la planta de tomate.

NIVEL VEGETATIVO	NIVEL FRUCTIFICACIÓN
Concentración de Nitrógeno	Concentración de Potasio
150 ppm	250 ppm
200 ppm	300 ppm
250 ppm	350 ppm

Cuadro 9. Concentración en partes por millón (ppm) de NPK de los tratamientos que se evaluaron según el nivel de nutrición de la planta de tomate.

Nivel de nutrición	Vegetativo, (60 días)	Floración, (30 días)	Fructificación, (60 días)
Nutriente evaluado	Nitrógeno		Potasio
Tratamientos			
T - 0	150		150
T - 1	150		150
T - 2	150		300
T - 3	150		50
T - 4	200		250
T - 5	200		300
T - 6	200		350
T - 7	250		250
T - 8	250		300
T - 9	250		350
Nutrientes invariables (ppm)	P=50; K=150	N=150; P=50; K=200	N=150; P=50

El tratamiento 0 fue el testigo, el cual mantuvo las concentraciones de nitrógeno y potasio constantes en todo el ciclo del cultivo; La concentración de fósforo en todos los tratamientos incluyendo al testigo fue de 50 ppm,

7.1.2 Diseño Experimental

La distribución de los tratamientos se realizó con un diseño completamente al azar, con 9 tratamientos más un testigo, haciendo un total de 10 tratamientos. El número de repeticiones fue de 4, por lo tanto resultaron 40 unidades experimentales.

7.1.3 Unidad Experimental

La unidad experimental estuvo formada por seis plantas, las cuales estuvieron sembradas en bolsas plásticas de 12 pulgadas de alto * 12 pulgadas de ancho, calibre 6, que sirvieron como contenedores del cultivo, a una distancia de 50 centímetros entre planta y 50 centímetros entre surco simple y 1 metro entre surco doble, figura 4A.

7.2 Variables de Respuesta

Para evaluar el efecto de los niveles de nitrógeno y potasio en el tomate, se midieron las siguientes variables:

7.2.1 Rendimiento en peso de frutos de tomate en kg/planta clasificados por calidad

Se cuantificó la cantidad de frutos producidos por planta, utilizando una balanza en donde se obtuvo el peso de los frutos en gramos. Asimismo se clasificaron de acuerdo a su diámetro en:

Primera: ≥ 7.5 cm y ≤ 8.8 cm

Segunda: ≥ 5.5 cm y ≤ 7.4 cm

Tercera: ≥ 3.3 cm y ≤ 5.4 cm

7.2.2 Peso fresco de frutos de primera calidad

Con los datos tomados de la variable rendimiento en peso de frutos, se realizó un promedio del peso fresco de 10 frutos de primera calidad por unidad experimental expresado en gramos, al final del ensayo.

7.2.3 Diámetro de la base del tallo

Esta variable fue medida al terminar el nivel de nutrición vegetativo, aproximadamente 40 días después del trasplante, y se midió colocando un vernier a 5 centímetros de la base de las plantas obteniendo la lectura en centímetros.

7.2.4 Número de frutos de primera calidad

Con los datos tomados de la variable rendimiento en peso de frutos, se registró el número de frutos de primera calidad promedio de cada unidad experimental, al final del ensayo.

7.3 Manejo Del Experimento

7.3.1 Preparación del sustrato

Se utilizó como sustrato arena blanca, cascarilla de arroz y sustrato orgánico resultado de la industria de la producción de hongos comestibles, en una proporción 1:1:1, basándose en volumen. Los sustratos se lavaron con abundante agua + cloro, para desinfectarlos. Una vez desinfectado el material se llenaron bolsas plásticas de 12 pulgadas de alto * 12 pulgadas de ancho, calibre 6, que se utilizaron como contenedores del cultivo.

7.3.2 Siembra

Para esto se obtuvieron pilones del híbrido de tomate Dominique, provenientes de la ENCA. Primeramente se humedeció el sustrato y se hizo un agujero grande para

colocar el sistema radical del pilón, luego se cubrió el agujero a manera de dejarlo firme.

7.3.3 Tutorado

Cuando las plantas tuvieron una altura de unos 20 centímetros aproximadamente, se colocaron los tutores de rafia, para esto se hizo un nudo en la parte basal del tallo y se enrolló en la planta, luego se sujetó en la parte superior del alambre galvanizado y conforme iba creciendo se conducía de manera que la planta creciera erecta.

7.3.4 Podas de formación

Para esto se realizó la eliminación de brotes laterales a partir de los 25 días después de la siembra aproximadamente, dejando crecer solamente un eje de la planta. Para esto se utilizaron navajas, las cuales se desinfectaron cada vez que se cambiaba de planta con una solución de cloro a 500 ppm, para evitar la diseminación de enfermedades.

7.3.5 Podas de frutos

Esta actividad se realizó para que los frutos que se dejaran en el racimo crecieran uniformemente. Esto se realizó una vez que los frutos estaban cuajados y se dejaron solamente 6 frutos por racimo. La cosecha se realizó solamente a seis racimos de la planta, debido a problemas de espacio dentro del invernadero en la parte alta.

7.3.6 Riego

La aplicación de la solución nutritiva fue con el agua de riego, procurando que siempre estuviera húmedo el sustrato. Cuando las plantas estaban pequeñas se realizaban riegos de 200 ml dos veces al día y conforme fueron creciendo las plantas se fue aumentando la cantidad de riego hasta un máximo de 600 ml cuatro veces al día. En las épocas de mayor temperatura dentro del invernadero se intercaló un riego

de agua y uno de solución nutritiva durante el día, además los días sábado y domingo se regaba solamente con agua.

7.4 Análisis de la información

7.4.1 Análisis estadístico

Para la evaluación de las tres concentraciones de nitrógeno y potasio sobre el rendimiento del tomate, se efectuaron análisis de varianza a las variables rendimiento en peso de frutos de tomate clasificados por calidad en kg/planta, diámetro de tallo en centímetros, número de frutos de primera calidad y peso fresco de frutos de primera calidad en gramos, utilizando el modelo estadístico bifactorial, en donde se estudió el efecto del nitrógeno (Factor A) y potasio (Factor B) por separado y su interacción, sobre el rendimiento de frutos en el tomate, ambos factores tuvieron tres niveles.

A las variables que mostraron diferencias significativas se les realizó la prueba de medias de Tukey y Dunnett al 5 % de probabilidad.

El modelo estadístico es el siguiente (9):

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$$i = 1, 2, 3.$$

$$j = 1, 2, 3.$$

$$k = 1, 2, 3, 4.$$

donde:

Y_{ijk} = Rendimiento de frutos de tomate en Kg/planta en la ijk -ésima unidad experimental.

μ = Efecto medio general

τ_i = Efecto de la i-ésima concentración de nitrógeno en la solución nutritiva.

β_j = Efecto de la j-ésima concentración de potasio en la solución nutritiva.

$\tau\beta_{ij}$ = Efecto de la interacción de la i-ésima concentración de nitrógeno con la j-ésima concentración de potasio en la solución nutritiva.

ε_{ijk} = Efecto del error experimental asociado a la ijk-ésima unidad experimental.

7.4.2 Análisis económico

El análisis económico se realizó por medio del cálculo de la rentabilidad de los tratamientos, de la siguiente manera:

$$R = \frac{IN}{CT} * 100$$

Donde:

R = Rentabilidad de los tratamientos.

IN = Ingreso Bruto – Costos Totales.

CT = Costos Fijos + Costos Variables.

La relación beneficio/costo se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Rel. B/C} = \frac{IB}{CT}$$

Donde:

IB = Ingresos brutos.

CT = Costos Totales.

8. RESULTADOS Y DISCUSION

8.1 Rendimiento de frutos de tomate en kg/planta y clasificados por calidad.

Para medir esta variable se pesó cada uno de los frutos producidos por planta (2 veces por semana) y se clasificó basándose en su diámetro en fruto de primera, segunda y tercera, a partir del momento en que los primeros frutos alcanzaron la madurez adecuada para la venta, hasta el sexto racimo, debido a problemas de espacio dentro del invernadero en la parte alta.

En el cuadro 25A, se presentan los rendimientos alcanzados en cada uno de los tratamientos con su respectiva repetición, los cuales estuvieron en el rango de 3.304 y 5.118 kg/planta para el tratamiento 2 y 7, respectivamente.

Cuadro 10. Análisis de varianza a la variable rendimiento de frutos de tomate en kg/planta clasificados por calidad, según las concentraciones de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva.

Fuente de Variación	Media de cuadrados	F _c	F _t
Concentración N	5.5296953	132.70 *	3.35
Concentración K	0.1100023	2.63	3.35
Interacción	0.3222668	7.73 *	2.73
Error	0.0416703		
Total			

* = Existe significancia al 5 %.

C. V. = 4.76 %

Los resultados del cuadro 10, muestran los efectos significativos que tienen las concentraciones de nitrógeno en el nivel vegetativo de la planta de tomate, indicando que existe al menos una concentración de nitrógeno que produce mayores rendimientos; resultando lo contrario para las concentraciones de potasio en el nivel de fructificación. Asimismo muestran que existe una interacción significativa entre la

concentración de nitrógeno y potasio sobre el rendimiento del fruto de tomate. Esto demuestra que aunque el efecto de los nutrientes por separado sea diferente, la interacción entre ellos es fundamental para obtener un mayor rendimiento. Rodríguez D., (16) menciona que ambos nutrientes son esenciales en los cultivos donde el producto económico final es un fruto. Esto se puede observar en el cuadro 11, en donde los tratamientos que produjeron los mayores rendimientos son los que tuvieron 250 ppm de nitrógeno en el nivel de nutrición vegetativo y 250 a 300 ppm de potasio en el nivel de nutrición fructificación.

Debido a diferencias significativas en la interacción de las concentraciones de nitrógeno y potasio, se procedió a realizar la prueba de comparación de medias individuales de cada tratamiento usando el comparador de Tukey al 5%.

Cuadro 11. Resumen de la comparación de medias individuales (Tukey) para el rendimiento de frutos de tomate en kg/planta clasificados por calidad.

Tratamiento	Media (kg/planta)	Grupo Tukey
7	5.118	A
8	5.090	A B
9	4.468	C
4	4.455	C
5	4.406	C
6	4.389	C
3	3.753	D
1	3.601	D
2	3.304	D

Los tratamientos con la misma letra de Tukey no presentan diferencias significativas.

Los resultados del cuadro 11, muestran la importancia de modificar las concentraciones de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva, durante los estados de desarrollo de la planta de tomate, pues los tratamientos que produjeron los

mayores rendimientos fueron el tratamiento 7 con 5.118 kg/planta y el tratamiento 8 con 5.090 kg/planta. Estadísticamente las medias de estos tratamientos se consideran equivalentes, al no existir diferencias significativas entre ellas. Estos resultados concuerdan parcialmente con lo que sugiere la UNALM(16); ellos indican que la solución nutritiva en el cultivo de tomate debe ser modificada de acuerdo al estado de crecimiento y desarrollo de las plantas, aumentando la concentración de nitrógeno en los primeros 60 días y la concentración de potasio a partir de los 90 días hasta el final de la cosecha.

Los tratamientos 7 y 8 poseen la concentración de nitrógeno más elevada (250 ppm), esto provocó que las plantas tuvieran un rápido crecimiento vegetativo, lo que se traduce en mayor área foliar y mayor área fotosintética, aumentando el vigor de la planta y su rendimiento. Con relación al potasio, se puede decir que las plantas que producen frutos como el tomate, requieren de concentraciones moderadas en el nivel de fructificación (250 – 300 ppm), pues este elemento juega un papel fundamental en el llenado de los frutos, remarcando la calidad de estos en el color, sabor, etc., debido a su participación en el desplazamiento de azúcares y en el equilibrio hídrico de la planta, el cual es demandado en las etapas más avanzadas de desarrollo de la planta (4) (6).

A continuación se presenta el resumen de la prueba de medias de Dunnett; esta se realizó para conocer cuál o cuales de los tratamientos producen diferencias significativas en relación al testigo.

Cuadro 12. Resumen de la prueba de Dunnett, para la variable rendimiento de frutos de tomate en kg/planta clasificados por calidad.

Tratamiento	Media	Comparadores	Significancia
7	5.118	1.404	*
8	5.090	1.376	*
9	4.468	0.754	*
4	4.455	0.741	*
5	4.406	0.692	*
6	4.389	0.675	*
3	3.753	0.039	NS
1	3.601	0.113	NS
2	3.304	0.410	NS

* = Existen diferencias significativas. Comparador Dunnett = 0.415, al 5 %.
Media del testigo = 3.714 kg/planta.

Según la prueba de Dunnett, existen seis tratamientos que producen diferencias significativas en relación al testigo, los cuales son los que contienen 200 y 250 ppm de nitrógeno en la solución nutritiva. Estos resultados muestran la importancia de aumentar la concentración de dicho elemento en el nivel de nutrición vegetativo, para aumentar los rendimientos.

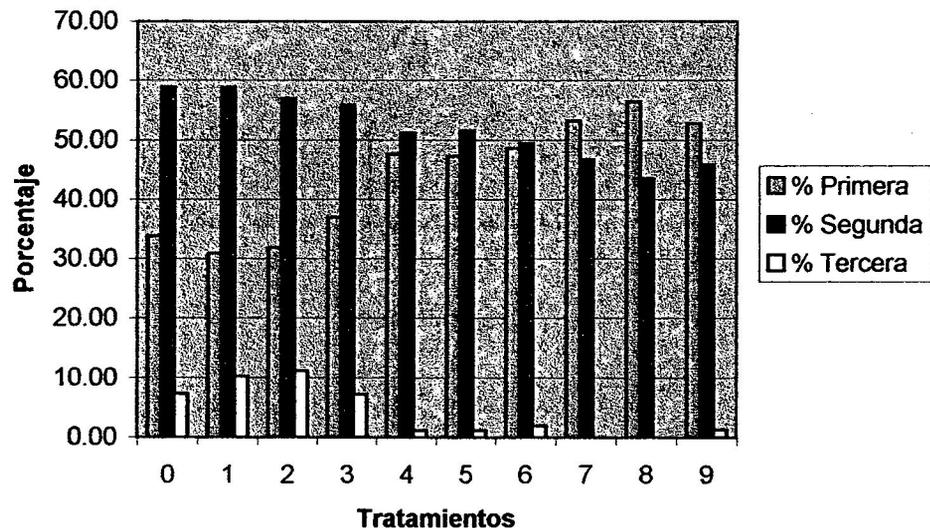


Figura 1. Porcentaje de frutos de primera, segunda y tercera calidad, según su tratamiento.

En la figura 1, se puede observar el porcentaje total de las categorías de clasificación del fruto de tomate que produjo cada tratamiento, en donde resalta que el tratamiento 8, fue el mayor (56.48%), siguiendo los tratamientos 7 y 9, con 53.27 y 52.78 % respectivamente. Cabe mencionar que estos tres tratamientos fueron los que tuvieron las mayores cantidades de nitrógeno en la solución nutritiva, volviendo a mostrar los beneficios de modificar los nutrientes a lo largo de los estados de desarrollo del cultivo.

En la figura 2 se muestran los rendimientos promedio de cada tratamiento en kg/planta; Obsérvese como aumenta el rendimiento conforme se incrementa la concentración de nitrógeno, pero en el tratamiento 9, hay un descenso del mismo, que puede corresponder a un efecto tóxico o un desequilibrio entre los nutrientes (4).

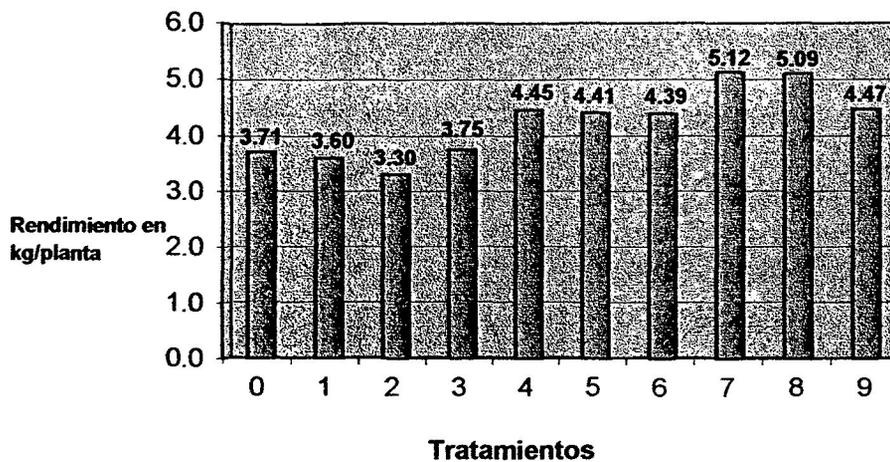


Figura 2. Rendimiento promedio de frutos de tomate (kg/planta), según tratamientos.



Figura 3. Comparación gráfica del tratamiento 8 y el tratamiento 0 (testigo).

En figura 3, se observan los frutos que se obtuvieron de las plantas que fueron tratadas con altas concentraciones de nitrógeno y moderadas de potasio (T8) en la solución nutritiva en los diferentes niveles de nutrición, comparándolas con el tratamiento testigo, que además de recibir bajas concentraciones de nitrógeno y potasio, éstas concentraciones no fueron modificadas durante el desarrollo y crecimiento de las plantas, observándose una diferencia en el tamaño de la fruta y obviamente en el rendimiento.

8.2 Diámetro de la base del tallo (cm).

Para la medición del diámetro de tallo de las plantas se utilizó un Vernier, colocándolo a 5 centímetros de la base de las plantas y se tomó la lectura en centímetros, a 40 días después del transplante aproximadamente.

El cuadro 26A muestra los resultados obtenidos del diámetro de la base de los tallos de las plantas en cada uno de los tratamientos y en su respectiva repetición, manifestando una gran similitud entre ellos; sin embargo, se realizó el análisis de varianza a los datos y los resultados son los siguientes:

Cuadro 13. Análisis de varianza a la variable diámetro de la base del tallo (cm).

Fuente de Variación	Media de cuadrados	F _c	F _t
Concentración de N	0.0025	0.2783 NS	3.35
Concentración de K	0.0233	2.5935 NS	3.35
Interacción	0.00833	0.9272 NS	2.73
Error	0.008983925		
Total			

C. V. = 7.29 %

El análisis de varianza muestra que no existen efectos significativos entre los tratamientos sobre el diámetro del tallo de las plantas de tomate.

8.3 Peso fresco de frutos de primera calidad (g).

Esta variable fue medida al final del ensayo con los datos del rendimiento de las plantas de cada unidad experimental, haciendo un promedio con el peso fresco de 10 frutos de primera, expresado en gramos.

Para conocer el efecto del nitrógeno, el potasio y la interacción de ambos en el peso fresco de frutos de primera, se realizó el análisis de varianza a los datos del cuadro 27A.

Cuadro 14. Análisis de varianza a la variable peso fresco de frutos de primera (g).

Fuente de Variación	Media de cuadrados	F _c	F _t
Concentración de N	125.559519	1.8018 NS	3.35
Concentración de K	58.5858028	0.8407 NS	3.35
Interacción	94.3404138	1.3538 NS	2.73
Error	69.6855481		
Total			

C. V. = 4.58 %

El análisis de varianza muestra que no existen efectos significativos entre los tratamientos sobre el peso fresco de frutos de primera de las plantas de tomate.

8.4 Número de frutos de primera calidad.

Esta variable fue registrada al final del ensayo con los datos tomados del rendimiento en peso de frutos, obteniéndose el promedio de cada unidad experimental, los resultados se muestran en el cuadro 28A.

Para conocer el efecto del nitrógeno, el potasio y la interacción de ambos en el número de frutos de primera calidad, se realizó el análisis de varianza a los datos.

Cuadro 15. Análisis de varianza a la variable número de frutos de primera calidad.

Fuente de Variación	Media de cuadrados	F _c	F _t
Concentración de N	278.77778	168.2011 *	3.35
Concentración de K	0.1111111	0.067039	3.35
Interacción	7.4444445	4.49162 *	2.73
Error	1.6574074		
Total			

C. V. = 9.79 %

El análisis de varianza muestra que existe una interacción significativa entre las concentraciones de nitrógeno y potasio sobre el número de frutos de primera calidad.

Para determinar que tratamiento produjo el mayor número, se realizó la prueba múltiple de media de Tukey al 5%, los resultados se encuentran en el cuadro 16.

Cuadro 16. Resumen de la comparación de medias individuales (Tukey) para el número de frutos de primera calidad.

Tratamiento	Media	Grupo Tukey
8	19	A
7	18	A
9	16	A
4	14	B
5	14	B
6	14	B
3	9	B C
1	8	C
2	7	C

Los tratamientos con la misma letra de Tukey no presentan diferencias significativas.

Los resultados obtenidos con la prueba de medias de Tukey indican que los tratamientos 8, 7 y 9 presentan el mayor número de frutos de primera calidad respectivamente, estas medias son estadísticamente equivalentes, al no existir diferencias significativas entre ellas. Esto significa que aumentar las concentraciones de nitrógeno y potasio durante el nivel de nutrición vegetativo y fructificación, favorece la formación de frutos de primera calidad, obsérvese la figura 3.

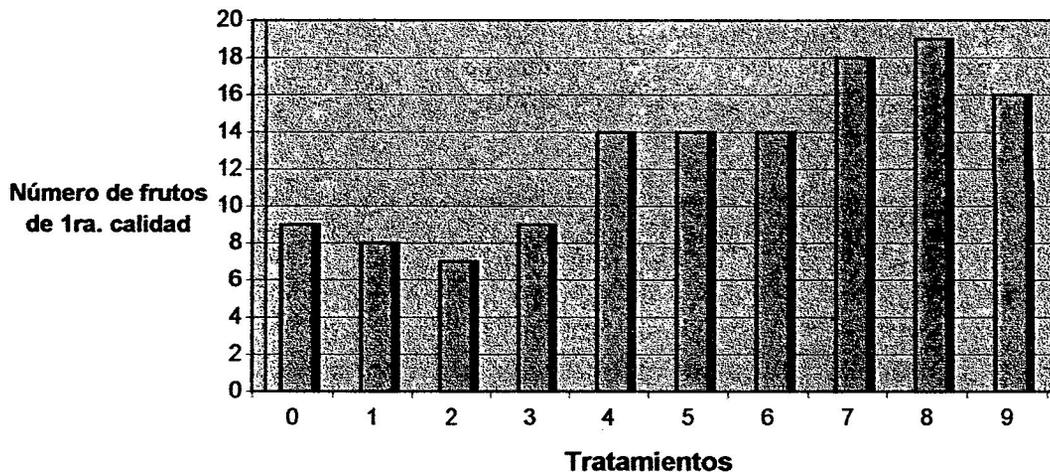


Figura 4. Número de frutos de primera calidad según tratamiento

Para conocer cual de los tratamientos producen diferencias significativas contra el testigo, se muestra la prueba de medias de Dunnett en el cuadro 17.

Cuadro 17. Resumen de la prueba de Dunnett, para la variable número de frutos de primera calidad.

Tratamiento	Media	Comparadores	Significancia
8	19	10	*
7	18	9	*
9	16	7	*
4	14	5	*
5	14	5	*
6	14	5	*
3	9	0	NS
1	8	1	NS
2	7	2	NS

* = Existen diferencias significativas.

Media del testigo = 9.

Comparador Dunnett = 2.62 al 5 %.

Los resultados de la prueba de Dunnett, muestra que existen seis tratamientos que producen diferencias significativas contra el testigo, siendo los que poseen moderadas y altas concentraciones de nitrógeno y potasio. Esto refuerza los resultados obtenidos por otros autores, indicando que para mejorar los rendimientos del tomate, se deben modificar las concentraciones de los elementos más importantes en los diferentes niveles de nutrición y no mantener concentraciones constantes en todo el ciclo del cultivo (5) (10) (16) (19) (21).

Con relación a las variables que mostraron diferencias significativas, como el rendimiento y el número de frutos de primera calidad se puede decir que está muy relacionado con el manejo agronómico de la planta de tomate, específicamente en las podas de brotes laterales y frutos, logrando que la planta distribuya uniformemente los compuestos elaborados en un solo eje y los frutos dejados por racimo, obteniéndose un mayor porcentaje de frutos de primera. Sin embargo, los resultados de la investigación muestran que además del manejo agronómico,

también es importante aumentar las concentraciones de nitrógeno y potasio en los primeros 60 días y a partir de los 90 días, respectivamente.

8.5 Análisis Económico

En el siguiente cuadro se observa la rentabilidad y la relación beneficio/costo (B/C) de cada tratamiento, si la relación B/C es mayor a 1, el tratamiento se considera factible, esto indica que los ingresos que generan sus operaciones alcanzan a cubrir costos y gastos.

Cuadro 18. Análisis de costos (Q/ha) en la evaluación de tres concentraciones de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva en el cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. , Híbrido Dominique.

RUBRO	Tratamiento 0	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4	Tratamiento 5	Tratamiento 6	Tratamiento 7	Tratamiento 8	Tratamiento 9
Egresos										
Costos variables										
Labores Manuales	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00	106560.00
Labores de transporte	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00	10000.00
Insumos	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00	46000.00
Fertilizantes	33613.50	36221.74	37141.04	38060.33	36798.26	37717.56	38636.85	37374.79	38294.09	39213.38
Costos fijos	37000.00	37000.00	37000.00	37000.00	37000.00	37000.00	37000.00	37000.00	37000.00	37000.00
Costos Totales	233173.50	235781.74	236701.04	237620.33	236358.26	237277.56	238196.85	236934.79	237854.09	238773.38
Ingresos										
Ingreso Bruto	452863.13	431811.88	396804.38	462560.31	576083.75	569287.81	568425.00	675475.63	678428.44	587008.13
Ingreso Neto	219689.63	196030.14	160103.34	224939.98	339725.49	332010.25	330228.15	438540.84	440574.35	348234.75
RENTABILIDAD	94 %	82 %	66 %	94 %	144 %	140 %	139 %	186 %	186 %	146 %
RELACION B/C	1.94	1.83	1.68	1.95	2.44	2.40	2.39	2.85	2.85	2.46

Desde el punto de vista económico los resultados obtenidos muestran que los tratamientos 7 y 8 son los más factibles con relación a los demás tratamientos, ya que presentan la mayor rentabilidad y relación beneficio costo; Si analizamos la rentabilidad del tratamiento 7 que es 186 %, esto quiere decir que por cada 100 quetzales invertidos se obtienen 186 quetzales de ganancia. Asimismo la relación B/C del tratamiento 7 que es 2.85, nos indica que por cada quetzal invertido se

recupera 2.85 quetzales. Nuevamente se muestra la importancia de modificar las concentraciones de nitrógeno y potasio en la solución nutritiva durante el desarrollo de la planta de tomate.

Los resultados de la rentabilidad y la relación B/C indica que mantener concentraciones de 250 ppm de nitrógeno en el nivel vegetativo y 300 ppm de potasio en el nivel fructificación en la solución nutritiva, genera ingresos más altos para cubrir costos y gastos de una forma eficiente.

9. CONCLUSIONES

- 9.1 En el nivel de nutrición vegetativo la concentración de nitrógeno debe estar en el rango de 200 y 250 partes por millón.
- 9.2 En el nivel de nutrición fructificación la concentración de potasio debe estar en el rango de 250 y 300 partes por millón.
- 9.3 Manteniendo las concentraciones en 250 ppm de nitrógeno en el nivel vegetativo y 300 ppm de potasio en el nivel fructificación en la solución nutritiva, favorece la formación de frutos de primera calidad.
- 9.4 Las concentraciones en partes por millón de nitrógeno y potasio más rentables para la producción de fruto de tomate de primera calidad bajo sistema hidropónico son de 250 en el nivel vegetativo y 300 en el nivel fructificación respectivamente.

10. RECOMENDACIONES

- 10.1 Se recomienda mantener las concentraciones de nitrógeno entre 200 y 250 partes por millón en la solución nutritiva durante los primeros 50 días después del transplante.
- 10.2 Mantener las concentraciones de potasio entre 250 y 300 partes por millón en la solución nutritiva a partir de los 70 días después del transplante
- 10.3 Continuar con otras investigaciones modificando otros elementos como el fósforo, calcio, etc., para mejorar la respuesta del cultivo bajo diferentes condiciones.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Alarcón Vera, AL. 2001. Los cultivos hidropónicos de hortalizas extra tempranas (en línea). Murcia, España. Consultado 13 May. 2000. Disponible en http://antonioalarcon.blogspot.com/?/2001_0225_AntonioAlarcon.htm
2. Barrera, C; García, W; Estrada, C. 2000. Evaluación de cinco concentraciones de una solución nutritiva en cultivo hidropónico de chile pimiento *Capssicum annum*. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Maestría en Manejo Sostenible de suelo y agua. 22 p.
3. Bautista, R. 1999. Evaluación del rendimiento de cuatro variedades de lechuga *Lactuca sativa* L. en cultivo hidropónico, utilizando como sustrato arena y cascarilla de arroz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 57 p.
4. Bertsch, F. 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica, Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 163 p.
5. Burgueño, H. 1999. La fertigación en cultivos hortícolas con acolchado plástico. 4 ed. México, Lar corporativo gráfico. v. 2, 72 p.
6. Castellanos, JZ. 1997. Las curvas de acumulación nutrimental en los cultivos hortícolas y su importancia en los programas de fertigación. *In* Simposium internacional de ferti-irrigación (2., 1997, México). Memorias. México, INIFAP. 10 p.
7. Castillo, C. 2001. La hidroponia como alternativa de producción vegetal (en línea). Maracaibo, Venezuela. Consultado 13 May. 2000. Disponible en <http://chcastillo.tripod.com/hidroponia/cursoba.htm>
8. Duran, J; Martínez, E; Navas, L. 1999. Los cultivos sin suelo: de la hidroponia a la aeroponia. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 10 p.
9. Estrada Muy, R; González Ramírez, B; Álvarez Cajas, V; Barrientos García, M. 1998. Diseño y análisis de experimentos, curso precongreso. *In* Foro de estadística (2., 1998, Guatemala). Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, Centro de Estadística y Cálculo. 52 p.
10. Etchevers, JD. 1997. Evaluación del estado nutrimental del suelo y de los cultivos ferti-irrigados. *In* Simposium internacional de fertigación (2., 1997, México). Memorias. México, INIFAP. 10 p.
11. HAZERA, IS. 2002. Catálogo de semillas. Israel, REGASA. 1 CD
12. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1977. Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala. tomo 1, 833 p.

13. INAFOR (Instituto Nacional Forestal, GT). 1983. Mapas de zonas de vida a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Geográfico Militar. Esc. 1:600,000.
14. JUVER Alimentación, ES. 1999. El milagroso tomate (en línea). Revista Fruta Viva. Consultado 13 May. 2000. Disponible en <http://www.juver.com/nutricion/articulo/tomate.htm>.
15. Robredo P; Quiroga M; Echazu, R. 2000. Análisis comparativo de soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos en invernadero (en línea). Buenos Aires, Argentina, Universidad Nacional de Salta. Consultado 13 May. 2000. Disponible en <http://g.unsa.edu.ar/asades/actas2000/02-13.html>.
16. Rodríguez Delfín, A; Hoyos Rojas, M; Chang La Rosa, M. 2001. Soluciones nutritivas en hidroponía; formulación y preparación. Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina, Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. 99 p.
17. Sampeiro Ruiz, G. 1997. Hidroponía básica; el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra. México, Diana. 153 p.
18. Sánchez Del C, F; Escalante R, E. 1981. Hidroponía, un sistema de producción. México, Universidad Autónoma Chapingo. 176 p.
19. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1996. Curso-taller internacional de hidroponía. Editor Alfredo Rodríguez Delfín. Lima, Perú, Mekanobooks. 393 p.
20. Universidad Nacional Agraria La Molina. 2002. Boletines informativos (en línea). Perú. Consultado 13 May. 2000. Disponible en <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia/boletin10.htm>
21. Villareal, M *et al.* 1997. Nutrición balanceada en fertigración y su efecto en la producción y calidad de tomate. *In* Simposium internacional de fertigración (2., 1997, México). Memorias. México, INIFAP. 8 p.
22. Zamora Salazar, MD. 2000. Efecto de dos tipos de poda en el cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill., híbrido Daniela, bajo condiciones de invernadero, San José Pinula, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, URL, Facultad de Ciencias Agrícolas. 34 p.



Vo. Bg. Rolando Barrios

12. APÉNDICE

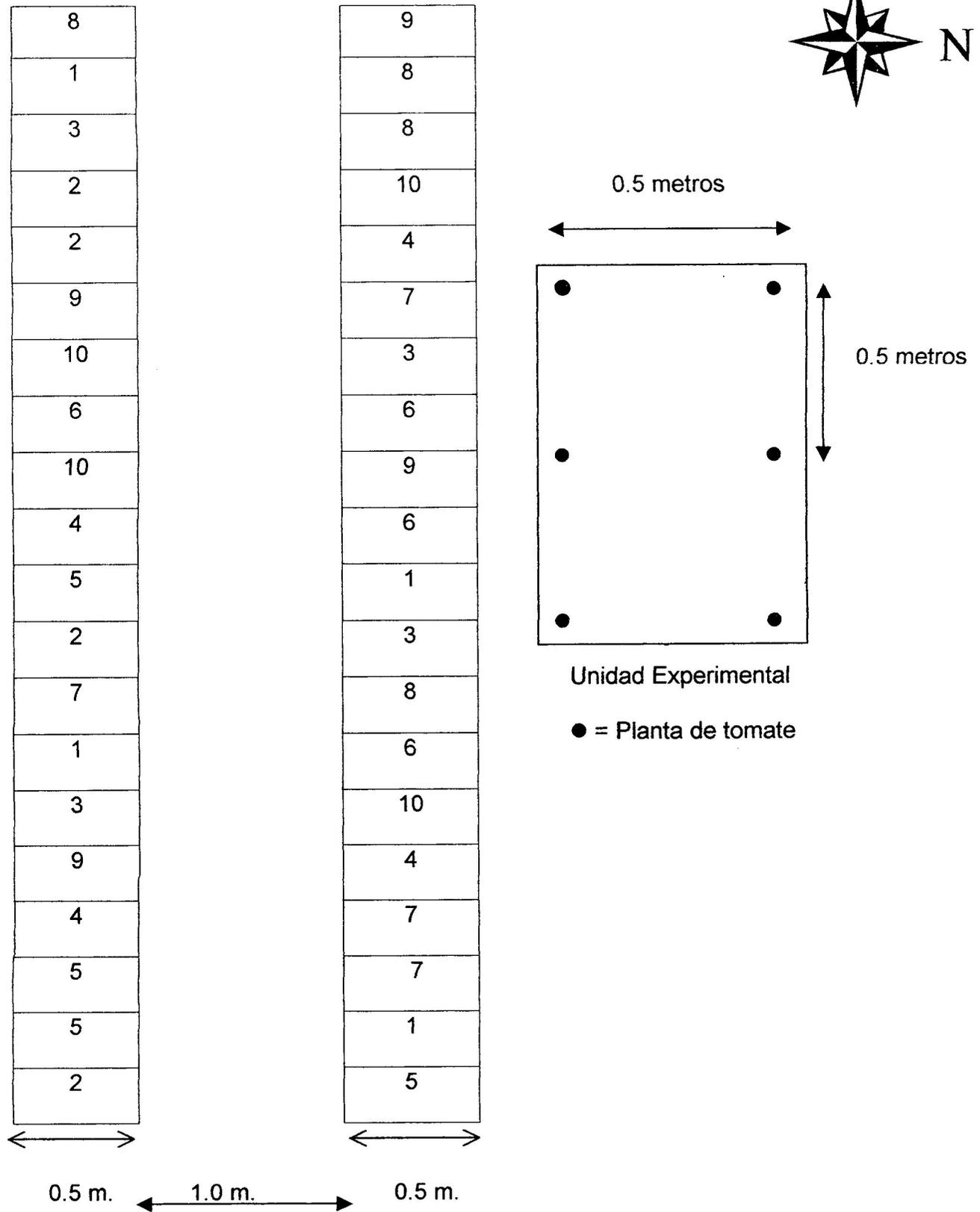


Figura 5A. Croquis de campo y descripción de la unidad experimental utilizada en la investigación.

Metodología de la preparación de las soluciones nutritivas

Cuadro 19A. Concentración de nutrientes en partes por millón de la solución que se tomó como base para los tratamientos.

P	Ca	Mg	S	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo
50	150	35	65	1.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.10

Cuadro 20A. Concentración de nutrientes en partes por millón de la solución que se tomó como testigo.

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo
150	50	150	150	35	65	1.50	0.50	0.50	0.25	0.25	0.10

Cuadro 21A. Fertilizantes que se utilizaron en la preparación de las soluciones nutritivas, para los microelementos.

Nombre	Nutrientes Principales	Cantidad / litro de solución
Quelato de hierro	5.0 % Fe, 3.0% S	0.03 ml.
Quelato de boro	10.0 % B.	0.005 ml.
Quelato de manganeso	5.0 % Mn, 3.0% S	0.01 ml.
Quelato de zinc	7.0 % Zn, 3.0% S	0.0035 ml.
Quelato de cobre	5.0 % Cu, 3.0% S	0.005 ml.
Quelato de Molibdeno	4.0 % Mo.	0.0025 ml.

Cuadro 22A. Cantidad de fertilizante que se utilizó en la preparación de las soluciones nutritivas en el nivel de nutrición vegetativo.

Nombre	Fórmula	Nutrientes Principales	Cantidad / litro de solución
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15.5% N, 18.57% Ca	0.807 g
Fosfato monopotásico	KH_2PO_4	22.60% P, 28.33% K	0.221 g
Nitrato de potasio	KNO_3	13.0% N, 38.33% K	0.192 g
Sulfato de potasio	K_2SO_4	41.66% K, 17.0% S	0.036 g
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	9.5 % Mg, 13.0% S	0.338 g

Para aumentar el nitrógeno en 200 y 250 partes por millón en los respectivos tratamientos se utilizó una solución concentrada de nitrato de amonio, la cual se preparó agregando 113.0 gramos del fertilizante en un galón de agua y de esta solución se tomaron alícuotas de 5 y 10 mililitros respectivamente por cada litro de solución que se preparó.

Cuadro 23A. Cantidad de fertilizante que se utilizó en la preparación de las soluciones nutritivas en el nivel de nutrición floración.

Nombre	Fórmula	Nutrientes Principales	Cantidad / litro de solución
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15.5% N, 18.57% Ca	0.807 g
Fosfato monopotásico	KH_2PO_4	22.60% P, 28.33% K	0.221 g
Nitrato de potasio	KNO_3	13.0% N, 38.33% K	0.192 g
Sulfato de potasio	K_2SO_4	41.66% K, 17.0% S	0.156 g
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	9.5 % Mg, 13.0% S	0.385 g

Cuadro 24A. Cantidad de fertilizante que se utilizó en la preparación de las soluciones nutritivas en el nivel de nutrición fructificación.

Nombre	Fórmula	Nutrientes Principales	Cantidad / litro de solución
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15.5% N, 18.57% Ca	0.807 g
Fosfato monopotásico	KH_2PO_4	22.60% P, 28.33% K	0.221 g
Nitrato de potasio	KNO_3	13.0% N, 38.33% K	0.192 g
Sulfato de potasio	K_2SO_4	41.66% K, 17.0% S	0.274 g
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	9.5 % Mg, 13.0% S	0.315 g

Para aumentar el potasio en 300 y 350 partes por millón en los respectivos tratamientos se utilizó una solución concentrada de sulfato de potasio, la cual se preparó agregando 90.84 gramos del fertilizante en un galón de agua y de esta solución se tomaron alícuotas de 5 y 10 mililitros respectivamente por cada litro de solución que se preparó.

Los fertilizantes se pesaron en una balanza analítica marca Sartorius BP-610, con capacidad máxima de 610 gramos.

Cuadro 25A. Rendimiento total de tomate en kg/planta, según tratamiento.

Tratamiento	Repeticiones				Media (kg/planta)
	I	II	III	IV	
0	3.766	4.103	3.539	3.447	3.714
1	3.418	3.533	3.758	3.696	3.601
2	3.149	3.801	2.743	3.522	3.304
3	3.778	3.826	3.841	3.568	3.753
4	4.312	4.715	4.418	4.373	4.455
5	4.426	4.276	4.588	4.335	4.406
6	4.461	4.352	4.323	4.419	4.389
7	5.127	5.224	5.044	5.078	5.118
8	5.347	5.176	4.993	4.842	5.090
9	4.463	4.619	4.472	4.316	4.468

Cuadro 26A. Diámetro de la base del tallo de plantas de tomate en centímetros, según tratamiento.

Tratamiento	Repeticiones				Media (cms)
	I	II	III	IV	
0	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3
1	1.4	1.3	1.1	1.3	1.3
2	1.5	1.2	1.3	1.3	1.3
3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3
4	1.3	1.2	1.4	1.3	1.3
5	1.5	1.4	1.3	1.4	1.4
6	1.3	1.1	1.3	1.2	1.2
7	1.3	1.1	1.4	1.2	1.3
8	1.2	1.3	1.4	1.3	1.3
9	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

Cuadro 27A. Peso promedio de 10 frutos de primera (g) por unidad experimental, según tratamiento.

Tratamiento	Repeticiones				Media (gramos)
	I	II	III	IV	
0	181.50	169.16	173.63	196.00	180.07
1	175.50	180.90	171.11	175.00	175.63
2	192.77	186.60	165.00	190.50	183.72
3	182.85	177.50	167.00	184.50	177.96
4	185.00	171.42	196.87	188.00	185.32
5	170.00	181.25	182.50	180.00	178.44
6	174.00	182.22	181.00	189.50	181.68
7	185.55	186.81	177.00	173.88	180.81
8	177.77	203.50	190.95	195.33	191.89
9	183.75	174.50	190.00	187.50	183.94

Cuadro 28A. Número de frutos de primera calidad promedio por unidad experimental, según tratamiento.

Tratamiento	Repeticiones				Media
	I	II	III	IV	
0	8	10	8	8	9
1	8	7	7	8	8
2	6	8	5	9	7
3	8	10	10	9	9
4	12	13	15	16	14
5	14	13	15	14	14
6	15	14	13	15	14
7	17	19	17	18	18
8	20	20	19	16	19
9	16	17	15	15	16



REF. Sem. 08/2004

LA TESIS TITULADA:

"EVALUACIÓN DE DIFERENTES
CONCENTRACIONES DE NITRÓGENO Y
POTASIO EN SOLUCION HIDROPÓNICA
EN EL TOMATE (*Lycopersicon esculentum*
Mill.) HÍBRIDO DOMINIQUE, EN
CONDICIONES DE INVERNADERO,
BARCENA, VILLA NUEVA".

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE :

CESAR LEONEL LUNA GARCIA

CARNE:

9610440

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES :

Ing. Agr. Ovidio Anibal Sacabajá Galindo
Ing. Agr. Francisco Javier Vásquez Vásquez
Ing. Agr. Juan Alberto Herrera

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

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

Ing. Agr. Iván Dimitri Santos Castillo
A S E S O R

Dr. David Monterroso Salazar
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS
DIRECCIÓN DE LA IIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS

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

DMS/nm
c.c. Archivo
IIA
Control Académico

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central