

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO**



Uso de soluciones nutritivas en la calidad de la fresa variedad. "Camino Real" en condiciones protegidas.

Por:

**Jessica Elizabeth Martínez Vázquez**

TESIS

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:  
INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Febrero de 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Uso de soluciones nutritivas en la calidad de la fresa variedad. "Camino Real" en  
condiciones protegidas.

Por:

**Jessica Elizabeth Martínez Vázquez**

TESIS

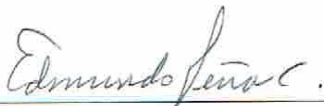
Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como  
requisito para obtener el título de:

**INGENIERO AGRICOLA Y AMBIENTAL**

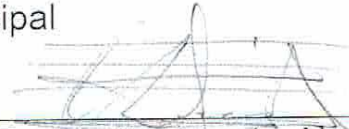
Aprobada por:



Dr. Rubén López Cervantes  
Asesor Principal



Dr. Edmundo Peña Cervantes  
Co-asesor



Dr. Emilio Rascón Alvarado

Co-asesor  
Universidad Autónoma Agraria  
"Antonio Narro"



Dr. Luis Samaniego Moreno  
Coordinador de la División de Ingeniería de la División  
de Ingeniería



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Febrero de 2018

## AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater *Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”* por brindarme la oportunidad de concluir mis estudios profesionales; mi corazón es oro y negro.

Al *Dr. Rubén López Cervantes* por el apoyo brindado para presentar este trabajo de investigación.

Al *Dr. Edmundo Peña Cervantes* por su catedra, amable apoyo y atenciones prestadas a este trabajo de investigación.

Al *Dr. Emilio Rascón Alvarado* por su apoyo y todas las atenciones prestadas a este trabajo de investigación.

Al *M.C: Fidel Maximiano Peña Ramos* por sus consejos, su apoyo y sus amables palabras.

A la planta docente del *Departamento de Ciencias del Suelo* por su catedra, sus enseñanzas y el apoyo que me brindaron a lo largo de mi carrera profesional.

A la *Sra. Coco, Adriana y Fer* por estar ahí, ser tan amables y todas las atenciones que siguen teniendo conmigo.

A todas las personas que de una u otra forma intervinieron para poder llevar a cabo este trabajo de tesis.

Gracias

## DEDICATORIA

A **Dios**, Gracias Señor por concederme esta vida y vocación para apreciarte en cada flor, en cada hoja, en cada amanecer, Señor sin Ti no soy nada.

A mi Madre, **Teresa de Jesús Vásquez García** gracias por tanto amor, por tu apoyo y por ser quien eres. ¡Lo logré, Mami!

A mi Padre, **Ramón Ignacio Martínez De León**, Gracias Papi por tener la palabra exacta, por todo tu apoyo y amor, por creer en mí.

A mis hermanos

**Marco Antonio**

**Tania Griselda**

Los amo, son los dos soles más grandes del cielo, gracias por todo su apoyo, sus bromas y su cariño.

A mis papas suegros

**Martin Pérez Arias**

**Martha Andrade Rodríguez**

A mis cuñados y sobrinas

Por recibirme como una hija y hermana en su familia, gracias por sus palabras y bendiciones siempre las llevo en el corazón.

A mi mejor amigo, mi novio, mi colega, mi compañero, mi esposo **Luis Francisco Pérez Andrade**, por todo tu apoyo incondicional, tus palabras, por seguir caminando juntos siempre y en todas partes.

A mis hijas

**Bárbara Valentina**

**Regina Victoria**

Ustedes son toda mi vida y mi corazón, gracias por alegrar cada momento amargo y hacerlo más llevadero; con su enorme luz iluminan mi vida y me impulsan para seguir adelante, mis hijas hermosas.

Esto es de ustedes.

## INDICE GENERAL

<b>INDICE GENERAL</b> .....	i
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. ANTECEDENTES</b> .....	3
II.1. La nutrición mineral y el desarrollo de las plantas .....	3
II.2. Uso de soluciones nutritivas en la agricultura .....	6
II.2.1. Relación mutua entre los cationes.....	8
II.2.2 Relación mutua entre los aniones .....	9
II.2.3 Conductividad Eléctrica (CE) de la solución nutritiva .....	10
II.2.4 pH de la Solución Nutritiva .....	11
II.2.5 Temperatura de la Solución Nutritiva .....	12
II.3 Factores que inciden en el desarrollo del cultivo dentro de un ambiente controlado. ....	13
II.3.1 Temperatura.....	13
II.3.2 Humedad relativa .....	13
II.3.3 Déficit de Presión de Vapor.....	14
II.4 Generalidades del cultivo de fresa.....	14
II.5 Taxonomía y clasificación .....	15
II.6 Descripción botánica.....	16
II.7 Importancia económica del cultivo de la fresa en México .....	17
II.8 Requerimientos climáticos del cultivo de fresa .....	18
II.8.1 Temperatura.....	18
II.8.2 Humedad Relativa.....	18
<b>III. JUSTIFICACIÓN</b> .....	19
<b>OBJETIVO</b> .....	19

HIPOTESIS .....	19
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
IV. 1 Localización geográfica del sitio experimental.....	20
IV.2 Establecimiento del experimento .....	20
IV.3 Estructura .....	21
IV.4 Sustrato .....	21
IV.5 Material vegetal .....	22
IV.6 Trasplante.....	22
IV.7 Riego .....	22
IV.8 Manejo agronómico del cultivo .....	23
IV.9 Formulación de las soluciones nutritivas. ....	23
IV.9 Mantenimiento de la Solución Nutritiva.....	28
IV.10 Temperatura y Humedad Relativa .....	28
IV.11 Labores culturales .....	28
IV.11.1 Poda.....	28
IV.11.2 Polinización .....	28
IV.11.3 Control de plagas .....	29
IV.12 Análisis del tejido .....	30
IV.13 Diseño experimental y tratamientos.....	30
IV.14 Variables evaluadas .....	31
IV.14.1 Peso total de frutos por planta (PTFP).....	32
IV.14.2 Numero de frutos por planta (NFP) .....	32
IV.14.3 Firmeza del fruto (FF) .....	32
IV. 14.4 Solidos solubles totales (SST) .....	32
IV.14.5 Acidez titulable (AT) .....	32
IV.14.6 Índice de Color (IC) .....	33
IV.16 Desviación del Optimo Porcentual (DOP).....	35
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>36</b>
V.1 Temperatura .....	36

V.2 Humedad Relativa .....	38
V.3 Déficit de Presión de Vapor .....	40
V.4 Efecto de las soluciones nutritivas sobre las variables morfológicas del cultivo de fresa ( <i>Fragaria x ananassa Duch.</i> ) .....	42
V.4.1 Firmeza del fruto (FF) .....	42
V.4.2 Sólidos Solubles Totales (SST) .....	44
V.4.3 Acidez Titulable (AT).....	46
V.4.4 Peso Total del Fruto por Planta (PTFP) .....	48
V.4.5 Número de Frutos por Planta (NFP) .....	50
V.4.6 Índice de Color .....	52
V.5 Desviación del Óptimo Porcentual (DOP) como método de interpretación del análisis nutrimental del tejido vegetal del cultivo de fresa ( <i>Fragaria x ananassa Duch</i> ) .....	54
V.5.1 DOP de acuerdo a Ellis <i>et al.</i> , (2006).....	54
V.5.2 DOP de acuerdo a Campbell (2000).....	55
V.5.3 DOP de acuerdo a Benton Jones (1991) .....	56
V.5.4 DOP de acuerdo a Cadahia (2005).....	57
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	<b>58</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>59</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>60</b>
<b>IX. APENDICE</b> .....	<b>69</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 2.1</b> Elementos y su función en las plantas superiores (Alcantar y Trejo, 2007) .....	3
<b>Cuadro 2.2</b> Producción nacional de fresa 2005 - 2015 .....	17
<b>Cuadro 4.3</b> Caracterización de la mezcla 75% Perlita+25% Fibra de coco.....	21
<b>Cuadro 4.4</b> Calculo de aportes previstos en base a la composición del agua de riego para la SN 1 “Rancho Guadalupe” y la SN 2 “Arteaga Reforzada” .....	23
<b>Cuadro 4.5</b> Diseño de la SN 1 y SN 2 .....	23
<b>Cuadro 4.6</b> Cálculos de la cantidad de fertilizante requerido para la formulación de la solución madre SN 1 y SN 2 .....	24
<b>Cuadro 4.7</b> Cantidad de microelementos para la solución madre de SN 1 .....	24
<b>Cuadro 4.8</b> Calculo de aportes previstos en base a la composición del agua de riego para la SN 3 “UAAAN” .....	25
<b>Cuadro 4.9</b> Diseño de la SN 3 “UAAAN” .....	26
<b>Cuadro 4.10</b> Calculo de fertilizantes para la formulación de la SN 3 “UAAAN” .....	26
<b>Cuadro 4.11</b> Cantidad de microelementos para la solución madre de SN 2 y SN 3 .....	26
<b>Cuadro 4.12</b> Diseño experimental bifactorial 3x2 proporciona la siguiente combinación de tratamientos .....	31
<b>Cuadro 5.13</b> Especificaciones de tamaño según la norma NMX-FF-062-SCFI-2002 .....	50
<b>Cuadro 5.14</b> Comparación de medias de los parámetros L* a* b* .....	53
<b>Cuadro 5.15</b> Índice de desbalance nutricional de acuerdo a Ellis <i>et al.</i> , (2006) .....	54
<b>Cuadro 5.16</b> Índice de desbalance nutricional de acuerdo a Campbell (2000) .....	55
<b>Cuadro 5.17</b> Índice de desbalance nutricional de acuerdo a Benton Jones (1991) .....	56
<b>Cuadro 5.18</b> Índice de desbalance nutricional de acuerdo a Cadahia (2005) .....	57



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 4.1.</b> Ubicación del sitio experimental. 23° 37" latitud norte y 100° 38" longitud oeste, con una altitud de 1581 msnm. ....	20
<b>Figura 4.2</b> Relación entre cationes y aniones de la SN 1 "Rancho Guadalupe" y SN 2 "Arteaga Reforzada".....	25
<b>Figura 4.3</b> Relación entre cationes y aniones de la SN 3 "UAAAN". ....	27
<b>Figura 4.4</b> Comparación del equilibrio entre soluciones según el Triángulo de Steiner (1984). ....	27
<b>Figura 4.5</b> Distribución de los tratamientos dentro del ambiente protegido aplicados al cultivo de fresa variedad "Camino Real".....	31
<b>Figura 4.6</b> Diagrama del espacio de color CIELab.....	33
<b>Figura 4.7</b> Tabla de color de los estados de maduración de la fresa ..... ( <i>Fragaria x ananassa, Duch</i> ) a través de los colores según la NMX-FF-062-SCFI-2002.....	34
<b>Figura 5.8</b> Comportamiento de la temperatura ambiental interior del invernadero en el cultivo de fresa ( <i>Fragaria x ananassa, Duch</i> ) cv. "Camino Real", promedio diario 2015. ....	36
<b>Figura 5.9</b> Comportamiento de la humedad relativa ambiental interior del invernadero en el cultivo de fresa ( <i>Fragaria x ananassa, Duch</i> ) cv. "Camino Real", promedio diario 2015. ....	38
<b>Figura 5.10</b> Déficit de presión de vapor al interior del invernadero en el cultivo de fresa ( <i>Fragaria x ananassa, Duch</i> ) cv. "Camino Real", promedio diario, 2015.....	40
<b>Figura 5.11</b> Comparación de la firmeza en el fruto de fresa ( <i>Fragaria x anannasa Duch</i> ) cv. "Camino Real". ....	42
<b>Figura 5.12</b> Comparación de Solidos Solubles Totales expresados en °Brix para el fruto de fresa ( <i>Fragaria x annanasa Duch.</i> ) cv. "Camino real". ....	44
<b>Figura 5.13</b> Comparación de medias transformadas del contenido de ácido cítrico en el fruto de fresa ( <i>Fragaria x anannasa Duch.</i> ) cv. "Camino Real". ....	46
<b>Figura 5.14</b> Comparación del peso total de frutos por planta de fresa ( <i>Fragaria x ananassa, Duch</i> ) cv. "Camino Real". ....	48

<b>Figura 5.15</b> Clasificación de frutos de fresa ( <i>Fragaria x ananassa, Duch</i> ) cv. “Camino Real” de acuerdo a la norma NMX-FF-062-SCFI-2002.....	51
<b>Figura 5.16</b> Tonos correspondientes a los distintos ángulos de matiz ( $h_{ab}$ ) o ángulo cromático.	52
<b>Figura 5.17</b> Ubicación grafica de las coordenadas $L^*a^*b^*$ en el espacio de color CIELab.....	53

## RESUMEN

Se estableció en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” bajo invernadero un sistema hidropónico de cultivo para plantas de fresa (*Fragaria x ananassa Duch*) cv. “Camino Real”, en el cual se constituyeron de acuerdo a un diseño completamente al azar, 6 unidades experimentales, donde se suministraron 3 soluciones nutritivas diferentes cada una bajo 2 sistemas de circulación de nutrientes, un sistema abierto con colección y deshecho de drenaje y un sistema cerrado en donde se recirculó la solución nutritiva. Las variables consideradas para evaluación fueron: firmeza de fruto (FF), sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), peso total del fruto por planta (PTFP), número de frutos por planta (NFP), índice de color (IC). Se tomó la desviación del óptimo porcentual (DOP) como método de diagnóstico nutricional considerando 4 autores como referencia de los valores óptimos para obtener el índice de desbalance nutricional (IDN) y el orden de requerimiento de cada uno de los elementos suministrados a cada unidad experimental. Se encontraron diferencias significativas para las variables de calidad siendo el tratamiento 4 (SN “Arteaga reforzada”+ sistema cerrado) el que reportó mayor rendimiento y frutos de calidad tipo “A” bajo la norma NMX-FF-062-SCFI-2002. De acuerdo al método de diagnóstico nutricional DOP, se observa una deficiencia marcada de microelementos, reportando de manera general al cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn) como deficientes y al nitrógeno(N) como el elemento con mayor suficiencia en el tejido foliar.

**Palabras clave:** fresa, cultivo sin suelo, soluciones nutritivas, diagnóstico nutricional.

## I. INTRODUCCIÓN

Entre 2004 y 2013, la producción mundial de berries presentó un crecimiento promedio anual de 3.3%. En 2013, dicha producción se situó en 11.2 millones de toneladas. Después de China, Estados Unidos, Rusia y Polonia, México se sitúa como el quinto productor de berries del mundo. La fresa funge como la frutilla más importante entre las berries debido a su volumen de producción. Los estados del país que producen todo tipo de berries –fresas, frambuesas, zarzamoras y arándanos– son Michoacán, Jalisco, Baja California, Puebla y México.

Respecto a la producción por variedad, en 2003 la principal frutilla producida en el país fue la fresa, con 146 mil toneladas (82.9 por ciento de la producción de berries). En 2014, la fresa se mantuvo como la principal frutilla, aunque disminuyó su participación a 69 por ciento de la producción total; le sigue la zarzamora, con 23 por ciento; la frambuesa, con 5.4 por ciento y el arándano, con 2.7 por ciento.

El cultivo de la fresa (*Fragaria x ananasa Duch.*) principalmente en el área productora del Bajío en México, es el segundo más rentable después de la zarzamora (*Rubís leibmannii Focke*). En la década anterior se han incorporado nuevas tecnologías (coberturas plásticas, fertirriego, etc.) a los sistemas de producción de fresa, con la finalidad de incrementar la producción; sin embargo, poco se han explorado los sistemas hidropónicos. Los cultivos en hidroponía requieren de sustratos adecuados o medios de crecimiento.

En México, los cultivos establecidos en horticultura protegida son: tomate (54%), pepino (16%), pimiento (15%), berenjena (10%), otros (5%) (SIAP, 2016). Se estima que del total de los cultivos establecidos bajo cubierta, aproximadamente el 50 % se encuentra cultivada en hidroponía (agua, fibra de coco, lana de roca, turba, tezontle, etc.). En el año 2000 se contaba con mil hectáreas para la producción de cultivos en invernadero de hidroponía, y para 2010 se cuenta ya con 15 mil hectáreas en todo el país (Sanchez, 2010).

La hidroponía es una tecnología para desarrollar plantas en solución nutritiva (SN) (agua y fertilizantes), con o sin el uso de un medio artificial (arena, grava, vermiculita, lana de roca, etc.) para proveer soporte mecánico a la planta (Herrera, 1999).

El cultivo en hidroponía requiere de ciertas condiciones y medios para llevarse a cabo y lograr un aumento en la producción. Uno de los principales factores que determinan el éxito o fracaso en sistemas hidropónicos es el sustrato o medio de crecimiento.

La caracterización de las propiedades físicas y químicas de los sustratos, o medios de crecimiento, son cruciales para su uso efectivo y en gran medida condiciona el potencial productivo de las plantas, pues constituyen el medio en el que se desarrollarán las raíces, las cuales tienen gran influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

## II. ANTECEDENTES

### II.1. La nutrición mineral y el desarrollo de las plantas

Cada genotipo y especie de planta requiere una nutrición mineral óptima para su normal crecimiento y desarrollo (Kovacic *et al.* 2007). Asociado a ello, una adecuada nutrición mineral es fundamental para alcanzar una producción agrícola que garantice la seguridad alimentaria, de manera que soporte la creciente demanda de una población mundial que día a día aumenta.

Dentro de los macronutrientes encontramos el nitrógeno (N), el fósforo (P), el potasio (K), el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S). Por su parte, los micronutrientes incluyen el boro (B), el cloro (Cl), el cobre (Cu), el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el molibdeno (Mo) y el zinc (Zn) (Marschner 1995).

**Cuadro 2.1** Elementos y su función en las plantas superiores (Alcantar y Trejo, 2007)

Elemento	Símbolo	Forma disponible	Proceso	Función
Nitrógeno	N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Absorción iónica, fotosíntesis, respiración, síntesis, multiplicación y diferenciación celular, herencia y todo el metabolismo	La mayor demanda de nitrógeno son las hojas y la raíz más estolones, los que pueden considerarse como indicadores de respuesta a la fertilización nitrogenada en la formulación de programas de nutrición. La asimilación de fósforo y potasio, nutrimentos relacionados con la calidad de fruto se relacionan inversamente con la fertilización nitrogenada (Monroy <i>et al.</i> 2001).

<b>Potasio</b>	K	K <sup>+</sup>	Propiedades osmóticas, apertura y cierre de estomas, fotosíntesis, transporte de carbohidratos y otros productos, respiración, síntesis, fijación simbiótica del nitrógeno.	La deficiencia de potasio en la fresa causa muerte del cáliz, marchitamiento del pedicelo y pedúnculos, la aplicación de potasio no tiene efecto en la firmeza del fruto, pH, ni en la concentración de sólidos solubles, al incrementar excesivamente los niveles de este elemento se reduce el tamaño del fruto. En un sistema hidropónico cerrado, una absorción excesiva de potasio reduce la calidad del fruto por bajo contenido de azúcares, y con deficiencia de potasio, no colorea el fruto, y toma textura pulposa y es insípido (Nestby <i>et al.</i> 2005).
<b>Fosforo</b>	P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> HPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Almacenamiento y transferencia de energía y todo el metabolismo	En plantas de fresa con deficiencia de fósforo, las flores y frutos tienden a ser más pequeñas de lo normal y los frutos de variedades susceptibles pueden desarrollar ocasionalmente albinismo (Ulrich <i>et al.</i> , 1980).
<b>Calcio</b>	Ca	Ca <sup>2+</sup>	Estructura y funcionamiento de las membranas, absorción iónica, reacciones con hormonas vegetales y activación enzimática (vía cadmodulina).	Las plantas de fresa con deficiencia de calcio se deforman, no maduran y se mantienen pequeñas (Lineberry y Burkhart, 1943). Es importante mencionar que calcio suplementario restaura los efectos dañinos de una alta salinidad (Kaya <i>et al.</i> 2002).

<b>Magnesio</b>	Mg	Mg <sup>2+</sup>	Absorción iónica, fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, síntesis orgánicas, balance electrolítico, estabilidad de los ribosomas	Componente de la clorofila y se encuentra presente como cofactor o activador de muchas reacciones enzimáticas, también participa en la transferencia de ATP.
<b>Azufre</b>	S	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Fotosíntesis, fijación no fotosintética de CO <sub>2</sub> , respiración, síntesis de grasas y proteínas, fijación simbiótica de nitrógeno	Se encuentra en muchas proteínas e interviene en reacciones de intercambio de energía.
<b>Hierro</b>	Fe	Fe <sup>2+</sup> ·Fe <sup>3+</sup>	Fotosíntesis, respiración, fijación biológica del nitrógeno, asimilación del nitrógeno y azufre.	Importante en muchas enzimas, en la transferencia de electrones y la síntesis de clorofila.
<b>Manganeso</b>	Mn	Mn <sup>2+</sup>	Absorción iónica, fotosíntesis, respiración, control hormonal, síntesis de proteínas	
<b>Zinc</b>	Zn	Zn <sup>2+</sup>	Respiración, control hormonal, síntesis de proteínas, y del ácido indolacético.	La regulación de síntesis de las proteínas, (Kessler, 1961), previene la acumulación de fenoles, mismos que inhiben la actividad de las auxinas, es uno de los componentes más importantes de las flores y frutos de la fresa (Lott, 1946; Visser, 1955; Guttridge y Turnbull, 1975; Lieten, 1997; Nestby <i>et al</i> , 2004).



<b>Boro</b>	B	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	Absorción iónica, transporte de carbohidratos, síntesis de lignina y celulosa, síntesis de ácidos nucleicos y proteínas, fotosíntesis.	Puede ser toxico para la fresa si se aplica excediendo la dosis recomendada, nunca se debe aplicar boratos o fertilizantes boratados en banda (Hart <i>et al.</i> 2000).
<b>Cobre</b>	Cu	Cu <sup>2+</sup> ,Cu <sup>3+</sup>	Fotosíntesis, respiración, regulación hormonal,fijación de nitrógeno (efecto indirecto), metabolismo de compuestos secundarios	Este elemento es de menor importancia para las fresas, sin embargo juega un papel importante en la fijación del nitrógeno y la absorción del calcio además es un constituyente de los cloroplastos, (Bergman, 1993, Ulrich <i>et al.</i> 1980)
<b>Molibdeno</b>	Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Reducción de nitratos, fijación de nitrógeno	El contenido de vitamina C y de azúcares en fresa, se incrementan de forma lineal con la aplicación de molibdeno (Cheng, 1994)

---

## II.2. Uso de soluciones nutritivas en la agricultura

La práctica de agregar elementos minerales al suelo para mejorar el crecimiento de las plantas se ha llevado a cabo desde hace más de 2000 años. Desde el siglo ante pasado Justus von Liebig (1803-1873) demostró la importancia de los elementos minerales para el crecimiento vegetal y a partir de sus trabajos, la nutrición mineral fue considerada como una disciplina científica. De esta manera, a finales del siglo XIX, sobre todo en Europa, grandes cantidades de potasio, superfosfato y nitrógeno inorgánico fueron usados en la agricultura para mejorar el crecimiento y rendimiento de los cultivos.

El Dr. W. F. Gericke en 1936 de la Universidad de California fue la primera persona para llevar a cabo experimentos hidropónicos comerciales a gran escala en el que cultivó tomates, lechuga y otros vegetales.

Los sistemas hidropónicos han sido clasificados como abierto (una vez que la SN es aplicada a las raíces de las plantas, ésta no es reusada), o cerrado (la SN excedente es recuperada, regenerada y reciclada) (Jensen y Collins, 1985).

Los aspectos de la SN que en mayor medida influyen en la producción son:

- la relación mutua entre los cationes
- la relación mutua entre los aniones
- conductividad eléctrica (CE)
- pH
- temperatura

### II.2.1. Relación mutua entre los cationes

El concepto de relación mutua entre iones fue empleado por Steiner (1961). Se base es que la SN debe estar balanceada en sus macronutrientos:  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , para el caso de los aniones. El balance consiste no sólo en la cantidad absoluta de cada uno de ellos, sino, además, en la relación cuantitativa que se establece entre los cationes por una parte y los aniones por la otra. Steiner (1968) señaló, respecto a la concentración de un ion, que el problema más importante es la relación que tiene respecto a los otros dos iones de su misma carga eléctrica; una inadecuada relación entre los iones puede disminuir el rendimiento. Los nutrientes que demandan las plantas en la relación mutua entre aniones y entre cationes, dependen de la etapa fenológica. Con base en lo reportado por Resh (1991), Valenzuela *et al.* (1993) y Gertsson (1995), el paso de una etapa fenológica a otra se caracteriza por cambios en la actividad bioquímica y en la reestructuración del metabolismo primario. Estas fluctuaciones influyen en toda la planta y en la composición química de sus órganos en cada etapa. Con excepción de  $\text{Ca}^{2+}$  y en algunos casos  $\text{Fe}^{2+}$  (Sanchez-Alonso y Lachica, 1987) y B (Marschner, 1995) el contenido de nutrientes, con base en la materia seca, disminuye en la medida que avanza la edad de la planta o de sus órganos. Esta disminución es causada principalmente por un incremento relativo del material estructural (paredes celulares y ligninas) y compuestos almacenados (almidones) en la materia seca (Marschner, 1995). A lo largo del desarrollo de la planta se presentan cambios en la composición química en algunos nutrientes con relación a la materia seca producida principalmente en las hojas. Los niveles de N, P y  $\text{K}^+$  muestran una tendencia a disminuir durante el ciclo vegetativo, mientras que  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  tienden a incrementar.

## II.2.2 Relación mutua entre los aniones

Los macronutrientes que contiene la SN en forma de cationes son  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ , algunas de las soluciones incluyen al  $NH_4^+$ . De manera similar a lo explicado para los aniones, la relación mutua entre los cationes contenidos en la planta es dinámica en su ontogenia. El  $K^+$  disminuye en forma proporcional a la que se incrementa el  $Ca^{2+}$ , el  $Mg^{2+}$  sufre pocos cambios (Steiner, 1973). La demanda y, por lo tanto, la absorción de los macronutrientes no son lineales durante el desarrollo de la planta, esto trae como consecuencia que también deba sincronizarse la relación mutua entre los iones en la SN. De no hacerlo así, se pueden generar desbalances nutrimentales, como por ejemplo el antagonismo entre  $K^+$  y  $Ca^{2+}$  (De Kreij *et al*, 1992; Adams y Ho, 1993),  $K^+$  y  $Mg^{2+}$  (Bouma, 1983; Pujos y Morard, 1997),  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  (Adams 1994; Morard *et al.*, 1996),  $NH_4^+$  y  $Ca^{2+}$  (Miliev, 1997),  $NH_4^+$  con  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$  (Goyal y Huffaker, 1984; Guill y Reisenauer, 1993).

Para elegir la SN apropiada en cada caso, deben tomarse en cuenta las condiciones del ambiente. Debido a la relación existente entre la absorción de  $Ca^{2+}$  y de agua por parte de la planta, la interacción de los factores ambientales y la relación mutua entre los cationes tienen gran influencia en la nutrición de las plantas. Al aumentar la presión de vapor en la atmósfera, disminuye el flujo de transpiración y, por ende, la absorción de  $Ca^{2+}$ , si además la SN tiene una relación  $Ca^{2+}$ : ( $K^+$   $Mg^{2+}$   $NH_4^+$ ) baja (menor que 40:60) es muy probable que se manifiesten algunos problemas fisiológicos derivados de un desbalance nutrimental, como es el caso de la pudrición apical (Adams y Ho, 1993).

### II.2.3 Conductividad Eléctrica (CE) de la solución nutritiva

Existe una relación directa entre la concentración de nutrimentos y la CE de la SN. Al aumentar la CE, la planta debe destinar mayor energía para absorber agua y nutrimentos (Asher y Edwards, 1983; Ehret y Ho, 1986a). Este desgaste de energía puede ser en detrimento de energía metabólica. El conjunto de estos fenómenos puede ser reflejado en una disminución del desarrollo de la planta. La CE de la SN influye en la composición química de las plantas, al aumentar la CE aumenta la concentración de  $K^+$  en las plantas a expensas principalmente de  $Ca^{2+}$ . También se incrementa la concentración de P y en menor medida la de  $NO_3^-$ , ambos a costa de  $SO_4^{2-}$ . Este comportamiento se presenta independientemente de la etapa de desarrollo (Steiner, 1973). En la medida que la SN aumenta su CE, disminuye la capacidad de la planta para absorber agua (Ehret y Ho, 1986a; Adams, 1994) y nutrimentos (Steiner, 1973). Pero una SN con CE menor que la que requieren las plantas (menor que  $2 \text{ dS m}^{-1}$ ), puede inducir deficiencias nutrimentales. Al aumentar la CE de la SN a más de  $6 \text{ dS m}^{-1}$ , además de inducir una deficiencia hídrica, aumenta la relación  $K^+$ : ( $K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + NH_4^+$ ), ocasionando desbalances nutrimentales. No todos los nutrimentos son afectados en igual medida. Los que se mueven por flujo de masas, como el  $Ca^{2+}$  y en menor medida el  $Mg^{2+}$  se absorben en menor cantidad, de esta manera se puede inducir deficiencia de  $Ca^{2+}$  (Ehret y Ho, 1986b). La CE apropiada para la producción de cultivos está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales (humedad relativa, temperatura y luz). Steiner (1973) y Resh (1991) observaron que las plantas toleran una mayor CE en invierno que en verano.

## II.2.4 pH de la Solución Nutritiva

El pH de la SN es una propiedad inherente de la composición mineral (De Reijck y Schrevens, 1998). El pH óptimo de la SN es entre 5.5 y 6.0, de esta manera se logra:

Regular el contenido de  $\text{HCO}_3^-$ . En forma natural, el agua contiene  $\text{HCO}_3^-$ , este ion se transforma a  $\text{CO}_3^{2-}$  cuando el pH es mayor que 8.3, ó a  $\text{H}_2\text{CO}_3$  cuando el pH es menor que 3.8, este ácido en la solución se encuentra en equilibrio químico con el bióxido de carbono de la atmósfera ( $\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ). A pH mayor que 8.3 el  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Mg}^{2+}$  se precipitan fácilmente en forma de carbonatos. Una concentración de  $\text{HCO}_3^-$  mayor que  $10 \text{ mol m}^{-3}$  puede ser tóxica para las plantas (Ayers y Westcot, 1987). La forma de disminuir el contenido de este ion es neutralizándolo con un ácido fuerte, por ejemplo:  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ó  $\text{HNO}_3$ . Solubilizar al  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . La principal forma en que el fósforo es absorbido por las plantas es  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . Al igual que el  $\text{HCO}_3^-$ , el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  está sujeto a cambiar a otras formas derivadas de la disociación del  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , en la medida que aumenta el pH aumenta el grado de disociación de este ácido. Entre el pH de 5.5 y 6.0 predomina el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , en relación con el  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , ó al  $\text{HPO}_4^{2-}$ , pero en la medida que aumenta el pH aumenta la proporción de  $\text{HPO}_4^{2-}$  respecto a  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ . El  $\text{HPO}_4^{2-}$  se precipita con el  $\text{Ca}^{2+}$  cuando el producto de la concentración de estos dos iones, expresado en  $\text{mol m}^{-3}$ , es mayor que 2.2 (Steiner, 1984). En general, son estos dos iones los que precipitan en un intervalo más amplio de pH (De Reijck y Schrevens, 1998). Evitar la precipitación de  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$ . La solubilidad de estos dos iones también está en función del pH; en la medida que éste aumenta, la solubilidad de esos cationes disminuye. Para el caso del hierro, en hidroponía se recomienda el uso de la forma  $\text{Fe}^{2+}$  (reducida), la forma (oxidada)  $\text{Fe}^{3+}$  es menos soluble, ésta precipita como  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  (De Reijck y Schrevens, 1998). El  $\text{Fe}^{2+}$  tiende a oxidarse, una forma de controlar su solubilidad es evitando que el pH sea mayor que 6. Otra forma es aplicar el  $\text{Fe}^{2+}$  en forma de quelato, por ejemplo la sal disódica del EDTA.

## II.2.5 Temperatura de la Solución Nutritiva

La temperatura de la SN influye en la absorción de agua y nutrimentos. La temperatura óptima para la mayoría de las variedades de tomate es de aproximadamente 22°C, en la medida que la temperatura disminuye también disminuye la absorción y asimilación de los nutrimentos (Cornillon, 1988). Sin embargo, Adams (1994b) reportó que la temperatura de la SN tiene aún mayor efecto en la absorción de P que de N y agua. Con temperaturas menores que 15 °C, Moorby y Graves (1980) encontraron deficiencias de Ca<sup>2+</sup>, P y Fe<sup>2+</sup>. A bajas temperaturas la suberización de la endodermis se extiende al ápice de la raíz e influye en la absorción de los nutrimentos. La deficiencia de Ca<sup>2+</sup> debida a la baja temperatura ocasiona mayor incidencia en la pudrición apical del fruto (Graves, 1983). En el agua, además de disolver las sales que corresponden a los nutrimentos, en forma natural se disuelve el oxígeno que requieren las raíces de las plantas. La temperatura de la SN tiene relación directa con la cantidad de oxígeno consumido por la planta e inversa con el oxígeno disuelto en la SN. A temperatura menor que 22°C el oxígeno disuelto en la SN es suficiente para abastecer la demanda de este nutrimento; sin embargo, el requerimiento es pequeño debido a que se reduce la velocidad de un buen número de procesos fisiológicos, entre ellos la respiración y, por lo tanto, también se reduce el crecimiento de la planta. A temperaturas mayores que 22°C las condiciones son contrarias, la gran demanda de oxígeno no es satisfecho por la SN debido a que a mayor temperatura aumenta la difusión de este gas. Con altas temperaturas de la SN también se incrementa el crecimiento vegetativo en una magnitud mayor que la deseable y disminuye la fructificación (Graves, 1983). El control de la temperatura de la SN es un factor que adquiere importancia secundaria en los lugares de clima templado. En las zonas o temporadas frías, es conveniente tener un sistema de calefacción para la SN. Es necesario evitar temperaturas menores que 15°C para prevenir la reducción de la absorción de nutrimentos (Moorby y Graves, 1980). Lo ideal es mantenerla lo más cercana posible a 22 °C.

## **II.3 Factores que inciden en el desarrollo del cultivo dentro de un ambiente controlado.**

### **II.3.1 Temperatura**

Lo primero que se impone en un invernadero, es reducir las oscilaciones diurnas y estacionales de la temperatura ambiental para que las plantas puedan crecer en un nivel térmico óptimo. Determinar el nivel térmico óptimo para un cultivo, todavía es una cuestión bastante compleja desde el punto de vista fisiológico. La temperatura ejerce una alta influencia sobre el crecimiento y el metabolismo de la planta, y no hay tejido o proceso fisiológico que no esté influenciado por esta. (Alpi y Tognoni, 1991) Las reacciones biológicas de importancia no pueden desarrollarse si la temperatura del invernadero está por debajo de 0°C, o por encima de 50°C. El límite inferior corresponde al punto de congelación del agua y el superior a la desnaturalización de las proteínas. La temperatura óptima varía según las especies, pero casi siempre está comprendida entre 10° y 25°C. Las plantas pueden tolerar temperaturas más bajas durante períodos cortos de tiempo, pero debe evitarse el acercarse a este valor letal (FAO, 2002).

### **II.3.2 Humedad relativa**

La humedad es uno de los factores medioambientales que influyen en el cultivo bajo invernadero. La influencia de la humedad no ha sido investigada con la misma profundidad que la de otros factores ambientales, quizás debido a la dificultad del control y de la medida precisa de esta variable (FAO, 2002).

El aire del invernadero es enriquecido con vapor de agua por evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas.

Si la humedad ambiental es demasiado alta, el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes, si es demasiado baja se cierran los estomas y se reduce la tasa de fotosíntesis (Huertas, 2008).



El rango óptimo de humedad relativa para los cultivos es entre 55% y 90%. Un exceso de humedad relativa favorecerá la aparición y difusión de enfermedades, mientras que las humedades bajas pueden causar el cierre estomático y complicar problemas de estrés por altas temperaturas (Perales y Perdigones, 2003).

Durante la noche la evapotranspiración tiene poca importancia debido a que la transpiración queda reducida por causa del cierre de estomas y la evaporación del suelo es insignificante porque el déficit de presión de vapor es pequeño. Conforme la temperatura decrece en el invernadero y puesto que la humedad relativa (HR) varía inversamente con la temperatura para un contenido absoluto de vapor de agua constante en el aire, la HR aumenta y puede alcanzar valores próximos a la saturación.

### **II.3.3 Déficit de Presión de Vapor**

El déficit de presión de vapor (DPV) representa la demanda evaporativa de la atmósfera circundante y, por lo tanto, es un indicador de primer orden en la respuesta de la planta al ambiente (Pérez-Parra *et al.*, 2001). Cuando el DPV es alto, la elevada transpiración por área foliar o el efecto directo del DPV pueden reducir la conductancia estomática y la fotosíntesis neta. Esta respuesta representa un comportamiento conservador propio de numerosas especies con el fin de evitar la deshidratación irreversible de la planta (Lorenzo, 2012).

### **II.4 Generalidades del cultivo de fresa**

Las especies del género *Fragaria* son de tipo herbáceo perenne y de poco porte. Las raíces son de aspecto fibroso, surgen de la corona y se dividen en primarias y secundarias. Las raíces primarias, que normalmente son 20-25, se alargan rápidamente en el terreno y antes de bifurcarse pueden alcanzar varios centímetros (Branzanti, 1989).

La fresa es nativa de las regiones templadas en el mundo y se cultiva en grandes cantidades, tanto con fines comerciales como por parte de horticultores aficionados. Las flores blancas se organizan en cimas y tienen cáliz de cinco piezas hendidas, cinco pétalos redondeados, numerosos estambres y pistilos. El fruto es el resultado de la agregación de muchos carpelos secos diminutos sobre un receptáculo pulposo hipertrofiado de color rojo escarlata, es muy apreciado por su sabor.

Los frutos pueden ser de varias formas según el cultivar: cónico, cónico-alargado, cónico redondeado, esferoide, oblato, reniforme. Estas formas del fruto pueden ser influenciadas por diversos factores, como el clima, especialmente por daño de estigma y ovarios, por frío, por deficiente polinización o por daño de insectos (Hurtado, 1996).

## **II.5 Taxonomía y clasificación**

De acuerdo a Patiño *et al.* (2014), la taxonomía generalmente aceptada de la fresa es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Rosales

Familia: Rosaceae

Género: *Fragaria*

Especie: *duchesne*

## II.6 Descripción botánica

El tallo, llamado comúnmente corona, es muy corto (2-3 cm) y de él nacen las hojas, flores, estolones y raíces. El aspecto de la corona varía según condiciones de cultivo, edad de la planta, estado y desarrollo de las plantas. En la corona existen yemas o meristemos axilares, que según las condiciones ambientales dan lugar a la formación de estolones o de nuevas coronas (Verdier, 1987). Se denomina estolón al brote largo, delgado y rastroso, que se forma a partir de las yemas axilares de las hojas situadas en la base de la corona; en el extremo del estolón se forma una roseta de hojas, que emite raíces adventicias, formando una nueva planta (Branzanti, 1989). Las hojas, insertas en peciolo de longitud variable, son compuestas, pinnadas y trifoliadas, a veces aparecen variedades con 4 ó 5 folíolos (Verdier, 1987). Tienen estípulas en su base y espesor que varía según cultivar, son de color verde más o menos intenso. La hoja de la fresa tiene un gran número de estomas, entre 300-400  $\text{mm}^{-2}$ , lo que provoca que los procesos de transpiración sean muy elevados. Las inflorescencias se pueden desarrollar a partir de una yema terminal de la corona, o de yemas axilares de las hojas. La ramificación de la inflorescencia puede ser basal o distal. En el primer caso aparecen varias flores de porte similar, mientras que en el segundo hay una flor terminal o primaria y otras secundarias de menor tamaño. La flor tiene 5-6 pétalos, 20-35 estambres y varios cientos de pistilos sobre un receptáculo carnoso. Cada óvulo fecundado da lugar a un fruto tipo aquenio. El desarrollo de los aquenios, distribuidos por la superficie del receptáculo carnoso, estimula el crecimiento y la coloración de éste, dando lugar al “fruto” de la fresa (Villa y Castillo, 1993). En función de la respuesta a la longitud del día, las variedades cultivadas de fresa se pueden clasificar en: variedades de “día corto” aquellas en las que las yemas florales se diferencian coincidiendo con el acortamiento del termofotoperíodo. En estas variedades las diferentes fases del desarrollo: floración, fructificación y emisión de estolones, se dan de forma secuencial (Medina-Mínguez, 2003).

## II.7 Importancia económica del cultivo de la fresa en México

La fresa es la frutilla de mayor producción y exportación en México con el 69% del total de la producción de berries en el 2014 (FIRA, 2016). En 2015, las exportaciones de berries tuvieron un valor de 1,501 millones de dólares México ocupa el tercer lugar en exportación de fresas. Entre 2003 y 2012, el volumen comercializado en el exterior incrementó 11.5 por ciento, en promedio cada año (SIAP, 2016).

**Cuadro 2.2 Producción nacional de fresa 2005 - 2015**

Variable	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Valor de la producción (\$ millones de dólares)	Rendimiento (t/ha)
2005	5657	162627	122.16	28.02
2006	6403	191843	144.11	28.75
2007	6238	176396	132.51	29.96
2008	6176	207485	155.86	28.27
2009	6678	233041	175.068	33.59
2010	6282	226657	170.26	34.90
2011	6978	228900	171.95	36.08
2012	8664	360426	270.75	32.80
2013	8496	379464	285.05	41.60
2014	9966	458972	344.77	44.66
2015	5657	162627	122.16	46.05

Fuente: FAOSTAT, 2017.

En cuanto a la producción de fresa, 95% de la producción nacional se ubica en tres estados: Baja California, Michoacán y Guanajuato. Es importante mencionar que cerca de 86 % de la producción nacional de fresa se localiza en 7 municipios de esas entidades federativas. En Baja California: Ensenada; en Michoacán: Zamora, Jacona, Tangancícuaro, Ixtlán y Panindícuaro; y en Guanajuato: Irapuato. En 2013 los estados productores de fresa eran 14 pero al año siguiente dejaron de producir Durango, Sinaloa y Coahuila y comenzó a producir el estado de Oaxaca (FIRA, 2016).

## **II.8 Requerimientos climáticos del cultivo de fresa**

### **II.8.1 Temperatura**

El intervalo óptimo, dependiendo de los cultivares de fresa, son 20-30°C. Dinamarca (2005) asegura que el fotoperiodo impone su influencia sobre la formación de yemas florales, elongación de estolones y racimos, tamaño de la hoja y longitud del pecíolo; que junto a la temperaturas diurnas entre 18° y 25° C y nocturnas de 8° a 13° C condicionan el desarrollo vegetativo y la floración.

El riesgo de reducción de la fertilidad del polen es alto cuando las temperaturas llegan a 30°C o más, y esto puede causar daños en la forma de la fruta quedando deforme.

### **II.8.2 Humedad Relativa**

El intervalo óptimo de humedad relativa es de 50-60%, ya que la mayor reducción en el porcentaje de germinación para la mayoría de cultivares ocurre a humedades relativas de 75-85% (Leech, 2002) y favorece deficiencias de nutrimentos que degeneran en daños como el quemado de las puntas de la hoja (tipburn), una deficiencia localizada de calcio que causa malformación de las hojas emergentes, por la alta humedad relativa (Mason y Guttridge, 1975).

### **III. JUSTIFICACIÓN**

Al exaltarse demasiado las características de la hidroponía, se pierden de vista aspectos tan importantes, como lo es la correcta nutrición vegetal de los cultivos establecidos bajo estos sistemas, lo que afecta directamente el crecimiento y el rendimiento, es verdad que los sistemas hidropónicos permiten un mejor desarrollo y manejo de los cultivos, pero por si sola esta técnica no garantiza un éxito en la producción.

Debido a la problemática presentada en el manejo nutricional del cultivo de fresa en el “Rancho Guadalupe” ubicado en el municipio de Arteaga Coahuila, se solicitó al Departamento de Ciencias del Suelo de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), encontrar un programa de nutrición acorde a las necesidades del cultivo de fresa para la zona, por ello se evalúan 2 soluciones nutritivas diferentes proporcionadas en recirculación de nutrientes (sistema cerrado) y a drenaje perdido (sistema abierto). En vista de lo anterior se plantean los objetivos y la hipótesis siguientes:

#### **OBJETIVO**

Determinar la concentración adecuada de nutrientes para el óptimo desarrollo de la planta y por consecuencia un mayor rendimiento del cultivo.

#### **HIPOTESIS**

La solución nutritiva “UAAAN” balanceada con mayor concentración de elementos ejercerá una mejor respuesta sobre las variables morfológicas del fruto de fresa, como lo son: diámetro, rendimiento, firmeza, sólidos solubles totales y acidez titulable.

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### IV. 1 Localización geográfica del sitio experimental

La investigación se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN). Ubicado en Buenavista Saltillo, Coahuila, a 23° 37" latitud norte y 100° 38" longitud oeste, con una altitud de 1581 msnm. En el período comprendido de Diciembre 2014 - Mayo del 2015



**Figura 4.1.** Ubicación del sitio experimental. 23° 37" latitud norte y 100° 38" longitud oeste, con una altitud de 1581 msnm.

### IV.2 Establecimiento del experimento

El trabajo de investigación se estableció en un invernadero tipo túnel de 50m<sup>2</sup> (5m de ancho por 10m de largo y una altura de 3.75m), el cual se encuentra recubierto por una malla negra que proporciona un 30% de sombreado y está equipado con un extractor de aire en la parte superior. La temperatura media anual es de 19.8°C, con una máxima en los días cálidos de verano de 35°C, y en días de invierno las temperaturas rondan los 5°C.

### IV.3 Estructura

Se utilizó un rollo multibanda de polietileno, compuesta por 3 capas diferentes intercomunicadas entre sí mediante perforaciones en el fondo. El nivel o banda superior, dispone de una línea de troqueles para albergar los cepellones de las plantas. Estos troqueles están espaciados cada 10 cm. En cuanto a los dos niveles interiores, estos están intercomunicados entre sí para poder albergar el sistema radicular de las plantas una vez que estas adquieran su tamaño adulto. Al tiempo que realizan la principal misión para el perfecto crecimiento del cultivo, la oxigenación de la solución nutritiva y de la raíz, mediante los pequeños saltos o cascadas que se producen gracias a los troqueles que estas bandas interiores llevan consigo.

El rollo en banda de multicapa de polietileno se instaló en estructuras sólidas y ligeras que se elaboraron con varilla de acero con 3m de largo 14 cm de alto y 12 cm de ancho en forma de “V”. El sistema se empleó en forma suspendida, con cables recubiertos sujetos a la estructura del invernadero, se encontraban a una altura máxima de 1.60 m y mínima de 1.54 m con una pendiente del 2%.

Resultando en 6 módulos con 3 canaletas cada uno, de una longitud de 3 m, donde se establecieron 90 plantas por modulo.

### IV.4 Sustrato

Se utilizó una mezcla de sustratos de fibra de coco y perlita en una proporción de 25% de fibra de coco y 75% de perlita proporcionando las siguientes características:

**Cuadro 4.3 Caracterización de la mezcla 75% Perlita+25% Fibra de coco**

Mezcla S <sub>1</sub> +S <sub>2</sub>	EPT	CA	RA	DA	DR	CEN	MO	pH	CE
%+%	%	%	%	g/cm <sup>-3</sup>	g/cm <sup>-3</sup>	%	%		dS/m <sup>-1</sup>
25+75	82.86	5.14	77.71	0.12	0.71	60	40	7.1	2.54

S1: Sustrato 1 fibra de coco, S2: Sustrato 2 perlita



#### **IV.5 Material vegetal**

“Camino Real”

Planta de hábito achatado, densidad abierta a media, con color de limbo verde oscuro, con número de estolones alto, con fruto grande ligeramente más largo que ancho, cónico de color rojo negro, con gran firmeza y pulpa rojo oscuro.

Es una variedad de día corto con la patente EEUUPP13079 P2, el obtentor es la Universidad de California, USA. De muy buena calidad con un buen rendimiento. 'Camino Real' es moderadamente susceptible a la mancha foliar común (*Ramularia tulasnei*) y un tanto sensible a oídio (*Sphaerotheca macularis*). Es muy resistente a la marchitez (*Verticilliumdahliae*) y pudrición de la corona (*Phytophthora cactorum*), y relativamente resistente a la pudrición de la corona (*Colletotrichum acutatum*). Tolerante a Phytophthora, Verticillium y Anthracnosis, susceptible a *Botrytis spp.* En general es una planta pequeña con poco follaje, permite mayores densidades de plantación, disminución de labores culturales y facilidad de recolección.

#### **IV.6 Trasplante**

El trasplante se realizó el día 15 de Diciembre del 2014. Se tuvo una densidad de plantación de 12.5 plantas por m<sup>2</sup> a una distancia de separación entre módulos de 80 cm, entre canaletas de 20 cm y 10 cm entre plantas.

#### **IV.7 Riego**

Se empleó una cinta de riego por goteo marca T-Tape 500 con una distancia entre goteros de 30 cm y un gasto de 1L de agua por hora a 8 PSI por la cual se inyectó la solución nutritiva por medio de bombas sumergibles marca EVANS con potencia de motor de 0.10 hp y un flujo óptimo de 15 LPM

#### IV.8 Manejo agronómico del cultivo

La solución mineral fue suministrada al inicio, en momentos de riego de 3 minutos, en 3 eventos diarios, ya una vez desarrollada la raíz se aumentaron hasta 10 minutos los riegos cada 2 horas. El drenaje de la solución nutritiva se recolectaba y se cuantificó dando pauta para aumentar el riego donde se estableció un drenaje de control del 20%.

#### IV.9 Formulación de las soluciones nutritivas.

Se formularon 3 soluciones nutritivas donde se consideró la carga mineral presente en el agua de riego de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” que se determinó mediante un análisis de agua.

**Cuadro 4.4** Calculo de aportes previstos en base a la composición del agua de riego para la SN 1 “Rancho Guadalupe” y la SN 2 “Arteaga Reforzada”

Meq./L	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg
<b>Agua</b>	-	-	3.49	1.7	-	-	3.5	4.2
<b>Solución</b>	5.7	0.83	5.7		0.49	1.92	8.23	2.7
<b>Aporte</b>	5.7	0.83	2.2	-1.3	0.49	1.92	4.73	-
<b>Ajuste</b>	5.7	0.80	2.2	0.4	0.50	2	4.90	+1.5

**Cuadro 4.5** Diseño de la SN 1 y SN 2

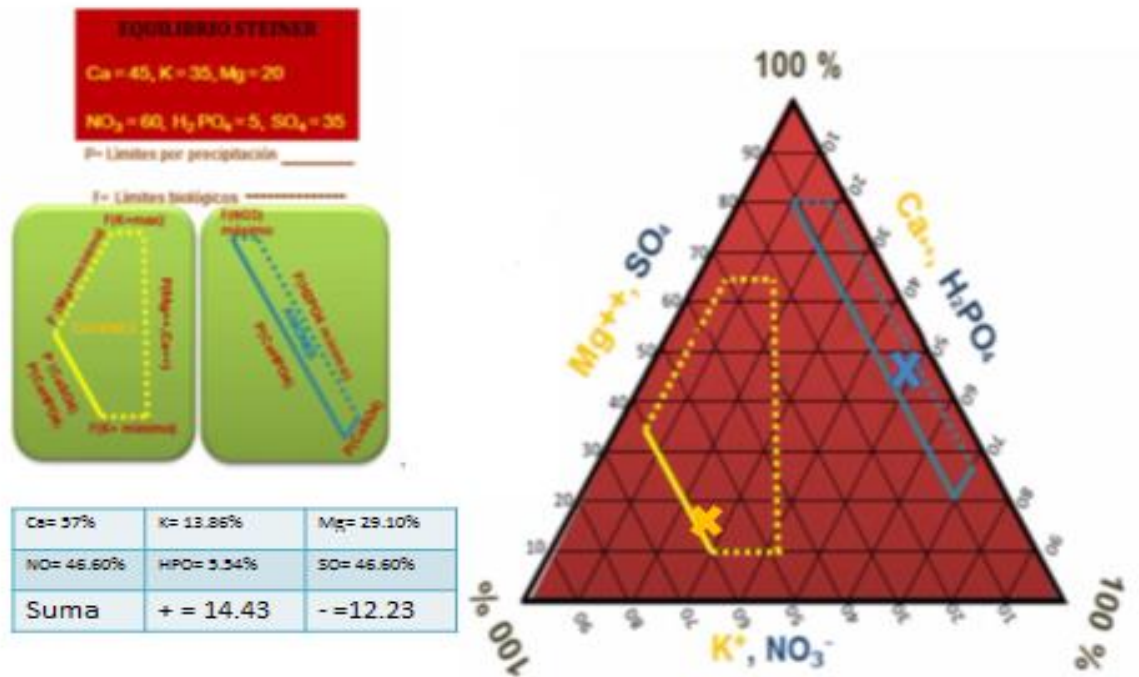
Meq/L	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	TOTAL
<b>NH<sub>4</sub></b>		0.5		0.5
<b>K</b>	0.8	0.3	0.9	2
<b>Ca</b>	4.9			4.9
<b>Mg</b>				
<b>H</b>			1.3	1.3
<b>TOTAL</b>	<b>5.7</b>	<b>0.8</b>	<b>2.2</b>	<b>8.7</b>

**Cuadro 4.6** Cálculos de la cantidad de fertilizante requerido para la formulación de la solución madre SN 1 y SN 2

<b>Fertilizante</b>	<b>meq/L</b>	<b>Peq</b>	<b>Densidad</b>	<b>Pureza</b>	<b>Factor</b>	<b>g/L</b>	<b>360 L</b>
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	4.9	118			0.118	0.578	208 g
KNO <sub>3</sub>	0.8	101			0.101	0.080	30.4 g
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.5	115			0.115	0.057	21.6 g
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.3	136			0.136	0.040	15.2 g
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.9	87			0.087	0.078	29.6 g
HSO <sub>4</sub>	1.3	49	1.8	98		0.008	3 ml

**Cuadro 4.7** Cantidad de microelementos para la solución madre de SN 1

<b>Fe</b> <b>0.65ppm</b>	<b>Zn</b> <b>0.26 ppm</b>	<b>Cu</b> <b>-</b>	<b>Mn</b> <b>0.41 ppm</b>	<b>B</b> <b>0.29ppm</b>	<b>Mo</b> <b>-</b>
<b>Fertilizante</b>	<b>Formula</b>	<b>PPM</b>	<b>Peso molecular</b>	<b>Mg/L</b>	<b>360L</b>
Quelato de Hierro	Fe EDDHA 5%	0.65		13	4.9
Sulfato de Zinc	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.26	287.5	1.14	0.43
Sulfato de Manganeso	MnSO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	0.41	169	1.26	0.47
Ácido Bórico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.29	61.8	1.65	0.62



**Figura 4.2** Relación entre cationes y aniones de la SN 1 “Rancho Guadalupe” y SN 2 “Arteaga Reforzada”.

**Cuadro 4.8** Calculo de aportes previstos en base a la composición del agua de riego para la SN 3 “UAAAN”

Meq./L	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg
Agua	-	-	3.49	1.7	-	-	3.5	4.2
Solución	10.3	1.4	4.4			7.3	6.20	2.6
Aporte	10.3	1.4	0.9	-1.3	0.7	7.3	2.7	-
Ajuste	9.6	1.4	1	0.4	0.7	7.3	2.7	+2.4

**Cuadro 4.9** Diseño de la SN 3 “UAAAN”

Meq/L	NO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub>	TOTAL
NH <sub>4</sub>			0.7	0.7
K	6.3			1
Ca	2.7			2.7
Mg				
H	0.6	0.7		1.3
TOTAL	9.6	1.4	1	12

**Cuadro 4.10** Calculo de fertilizantes para la formulación de la SN 3 “UAAAN”

Fertilizante	meq/L	Peq	Densidad	Pureza	Factor	g/L ml/L	360 L
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2.7	118			0.118	0.578	219.3 g
KNO <sub>3</sub>	6.3	101			0.101	0.636	241.7 g
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.7	115			0.115	0.080	30.4 g
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1	87			0.087	0.087	33.6 g
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0.7		1.42	66		0.041	15.5 ml
HNO <sub>3</sub>	1.3	49	1.17	58		0.039	14.8 ml

**Cuadro 4.11** Cantidad de microelementos para la solución madre de SN 2 y SN 3

Fe 1.5 ppm	Zn 0.4 ppm	Cu 0.5 ppm	Mn 0.65 ppm	B 0.7 ppm	Mo 0.05 ppm
Fertilizante	Formula	PPM	Peso molecular	Mg/L	360L
Quelato de Hierro	Fe EDDHA 5%	1.5		30	11.4
Sulfato de Zinc	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	0.4	287.5	1.14	0.66
Sulfato de cobre	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	0.5	249.7	1.96	0.74
Sulfato de Manganeseo	MnSO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	0.65	169	1.26	0.76
Ácido Bórico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.7	61.8	4	1.44
Molibdato de Amonio	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> MoO <sub>4</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0.05	1235.9	0.09	0.03

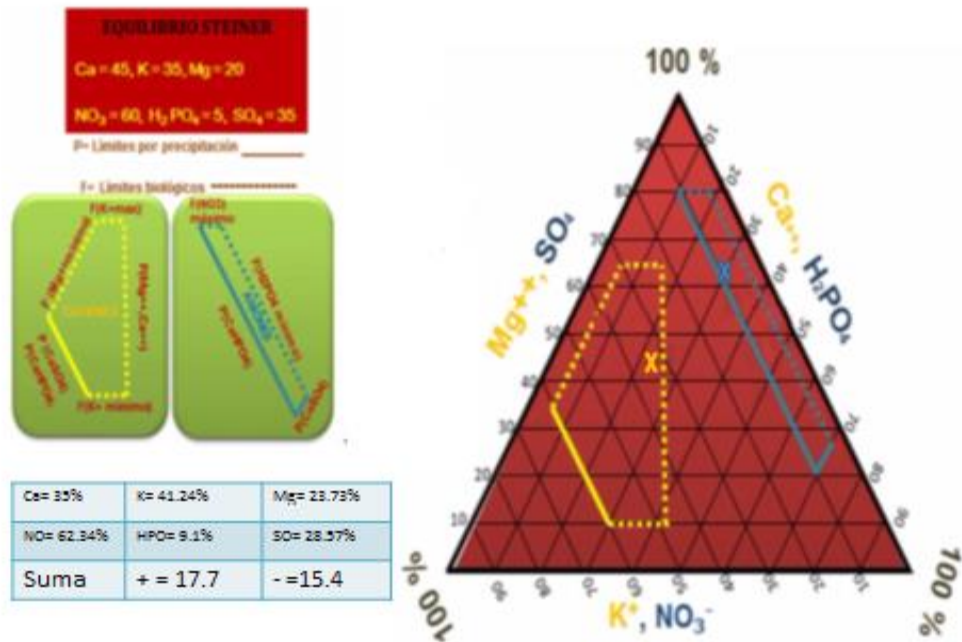


Figura 4.3 Relación entre cationes y aniones de la SN 3 “UAAAN”.

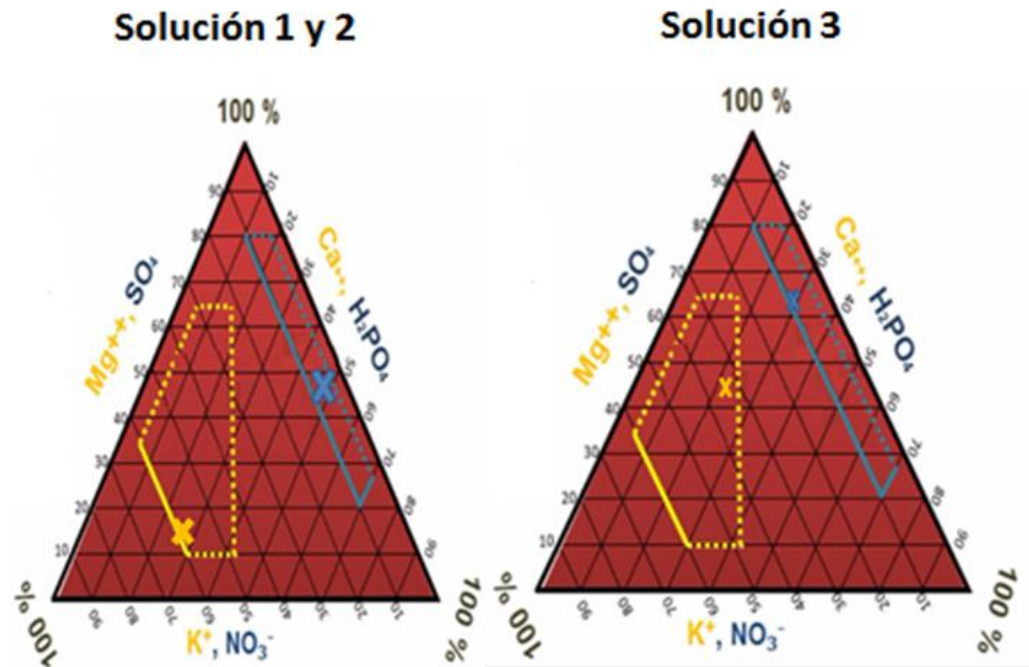


Figura 4.4 Comparación del equilibrio entre soluciones según el Triángulo de Steiner (1984).

#### **IV.9 Mantenimiento de la Solución Nutritiva.**

Se monitoreó la solución nutritiva periódicamente analizando la conductividad eléctrica (CE) y el potencial de hidrogeno (pH) utilizando un instrumento semi-portátil marca Bluelab Guardian modelo PHEC0015. Se ajustó el pH según el ácido añadido en cada formulación de soluciones nutritivas ( $H_3PO_4$ ,  $HNO_3$  y  $H_2SO_4$ ).

#### **IV.10 Temperatura y Humedad Relativa**

Se registró la temperatura y la humedad relativa por medio de un data logger tipo Hobbo de la marca Onset Computer Corp.

#### **IV.11 Labores culturales**

##### **IV.11.1 Poda**

Se eliminaron los órganos vegetativos que se encontraban en senescencia, enfermos o dañados para proporcionar vigor y fuerza, lo que en consecuencia mejora la producción y el desarrollo de la planta. Se retiraron principalmente hojas viejas, con necrosis y aquellas que presentaron tonalidades amarillas o pardas, proporcionando ventilación. Siguiendo la recomendación de Sachs *et al.* (1973) se eliminaron las primeras flores después del trasplante y los estolones ya que la relación de sumidero de nutrientes es muy alta en estos órganos, lo que disminuye el vigor y la producción de la planta.

##### **IV.11.2 Polinización**

La polinización se llevó a cabo mediante la vibración mecánica de la estructura.

### IV.11.3 Control de plagas

Se aplicó Miyapest ( $1\text{cm}^3 \text{L}^{-1}$ ) como repelente ya que es una solución que contiene aceite de neem, cuya acción no es la de eliminar al insecto, más bien, afecta diferentes funciones y formas de comportamiento (Valencia *et al.*, 2004).

Para combatir a las plagas se utilizaron insectos benéficos:

- *Orius laevigatus* ataca principalmente al trips (*Frankliniella occidentales*).
- *Amblyseius swirskii* controla la población de mosca blanca (*Bemisia tabaci*).
- *Eretmocerus eremicus* parasita mosca blanca (*Bemisia tabaci*).
- *Phytoseiulus persimilis* específico para la araña roja (*Tetranychus spp.*).
- *Chrysoperla carnea*, que en su etapa larvaria devora al pulgón (*Aphis gossypii* y *Myzus persicae*).



#### IV.12 Análisis del tejido

Se realizó un muestreo foliar a los 126 días después del trasplante para obtener la concentración nutrimental de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn) y hierro (Fe).

Se pesaron las muestras foliares en fresco de cada tratamiento con una balanza electrónica marca OHAUS modelo LS200 con capacidad de 200 g.

Se introdujeron las muestras foliares a una estufa de secado marca MAPSA modelo HDP – 334 a una temperatura de 60° C durante 48 horas para obtener peso seco.

En la medición de P se empleó el método por colorimetría de azul de molibdeno. La determinación de N se obtuvo por el método Kjeldahl

El K, Ca, Mg, Zn, Cu y Fe se determinaron en un espectrofotómetro de absorción atómica Varian modelo AA 5.

#### IV.13 Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial 3X2 donde los niveles correspondientes al factor “a” fueron 3 soluciones nutritivas, mientras que los niveles correspondientes al factor “b” corresponden a los 2 sistemas de circulación de nutrientes de la solución nutritiva, sistema cerrado y sistema abierto con 9 repeticiones por unidad experimental. Se utilizó la comparación de medias mediante la prueba Duncan comparando todos los tratamientos entre sí. Se analizó la posibilidad de obtener algunas regresiones entre variables que pudieran explicar los resultados obtenidos. Se utilizó un software estadístico InfoStat. Versión 2015e.

El modelo estadístico para este diseño es:

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

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

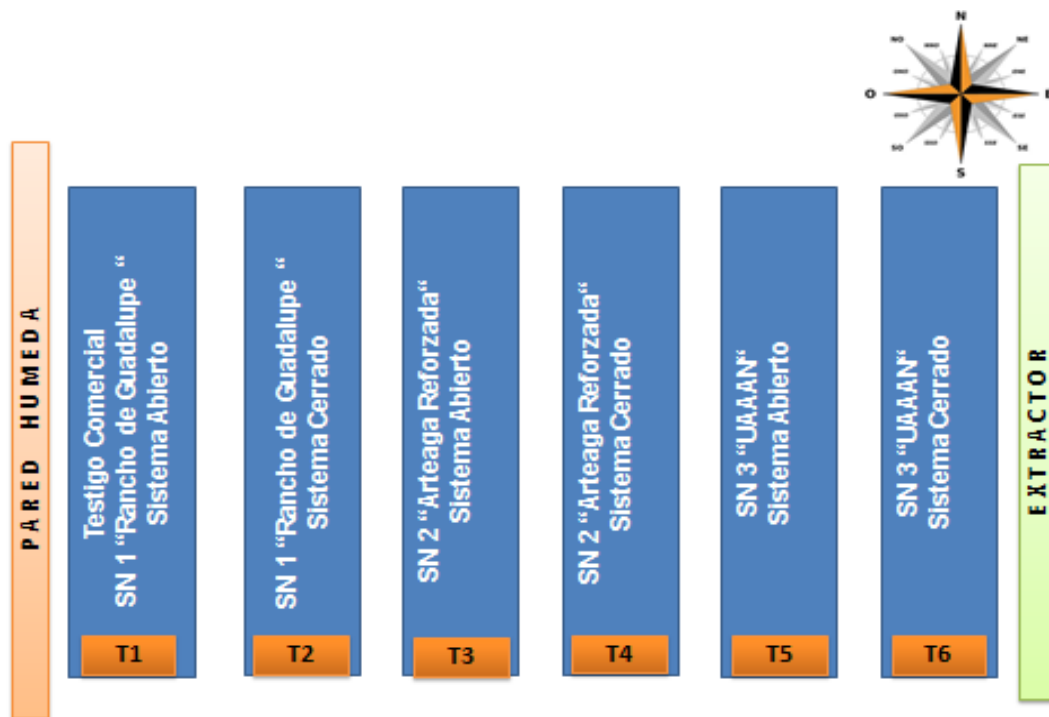
donde:

= Variable respuesta en la *j*-ésima repetición del *i*-ésimo tratamiento

= Media general

= Efecto del tratamiento *i*.

= Error aleatorio, donde ~



**Figura 4.5** Distribución de los tratamientos dentro del ambiente protegido aplicados al cultivo de fresa variedad "Camino Real".

**Cuadro 4.12** Diseño experimental bifactorial 3x2 proporciona la siguiente combinación de tratamientos

- **T1=** Solución nutritiva "Rancho Guadalupe" en sistema abierto (testigo comercial)
- **T2=** Solución nutritiva "Rancho Guadalupe" en sistema cerrado
- **T3=** Solución nutritiva "Arteaga Reforzada" en sistema abierto
- **T4=** Solución nutritiva "Arteaga Reforzada" en sistema cerrado
- **T5=** Solución nutritiva "UAAAN" en sistema abierto.
- **T6=** Solución nutritiva "UAAAN" en sistema cerrado.

#### IV.14 Variables evaluadas

Para una evaluación estadística se registraron las variables: peso total de fruto por planta (PTFP), número de frutos por planta (NFP), firmeza del fruto (FF), sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), índice de Color (IC).

#### **IV.14.1 Peso total de frutos por planta (PTFP)**

El peso total de frutos de planta se consiguió a los 122 días después del trasplante. Se cuantificó la producción por tratamiento usando una balanza electrónica marca OHAUS modelo LS200 con capacidad de 200 g.

#### **IV.14.2 Numero de frutos por planta (NFP)**

Se cuantificaron y clasificaron los frutos por planta de acuerdo al diámetro ecuatorial, se consideró la medición de los frutos horizontalmente. En la clasificación de los mismos se empleó la norma NMX-FF-062-SCFI-2002. Las mediciones se realizaron con un vernier electrónico marca TRUPER modelo 14388.

#### **IV.14.3 Firmeza del fruto (FF)**

La firmeza del fruto se determinó con un penetrometro EXTECH modelo FHT200 usando un punta de 2.5 mm, el valor se reportó en  $\text{kg/cm}^{-2}$  de deformación producida.

#### **IV. 14.4 Solidos solubles totales (SST)**

Se determinaron los sólidos solubles totales utilizando un refractómetro portátil Marca ATAGO N-1E con una escala de 0 a 32%, reportando el resultado en °Brix. Se seleccionaron frutos cosechados con aproximadamente  $\frac{3}{4}$  de coloración roja.

#### **IV.14.5 Acidez titulable (AT)**

Para las mediciones de acidez titulable se colocó 1 ml de jugo de fresas molidas aforado a 50 ml de agua destilada y se le adicionaron 2 gotas de fenolftaleína como indicador. Posteriormente se tituló con NaOH 0.1 N hasta obtener el primer cambio de color a rosa en la muestra. Se realizó por triplicado. Los resultados se expresaron en porcentaje (gramos del ácido predominante por cada 100 g del producto) de acuerdo a la norma NMX-F-102-NORMEX-2010 utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de ácido cítrico} = \frac{(V_{\text{NaOH gastado}}) (N_{\text{NaOH}}) (\text{meq ac. cítrico}) (100)}{V_{\text{muestra}}}$$

El ácido cítrico es el ácido orgánico principal en el fruto de la fresa (Estrada, 2011)

El miliequivalente para el ácido cítrico es de 0.064 g.

Para fines estadísticos se calculó el arco-seno de la raíz del porcentaje obtenido de ácido cítrico.

#### IV.14.6 Índice de Color (IC)

Se realizaron lecturas de color utilizando un colorímetro marca Konika Minolta modelo CR-300, ya que la superficie del fruto no es plana, presenta textura rugosa, aquenios en la superficie y no posee un color uniforme, se tomaron las medidas de color en tres puntos distintos, equidistantes, sobre el diámetro ecuatorial del fruto. Se obtuvieron valores de las coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , el valor *hue* o matiz ( $h_{ab}$ ) [ $h = \arctan (b^* / a^*)$ ] y se ubicaron en la escala del sistema CIE Lab

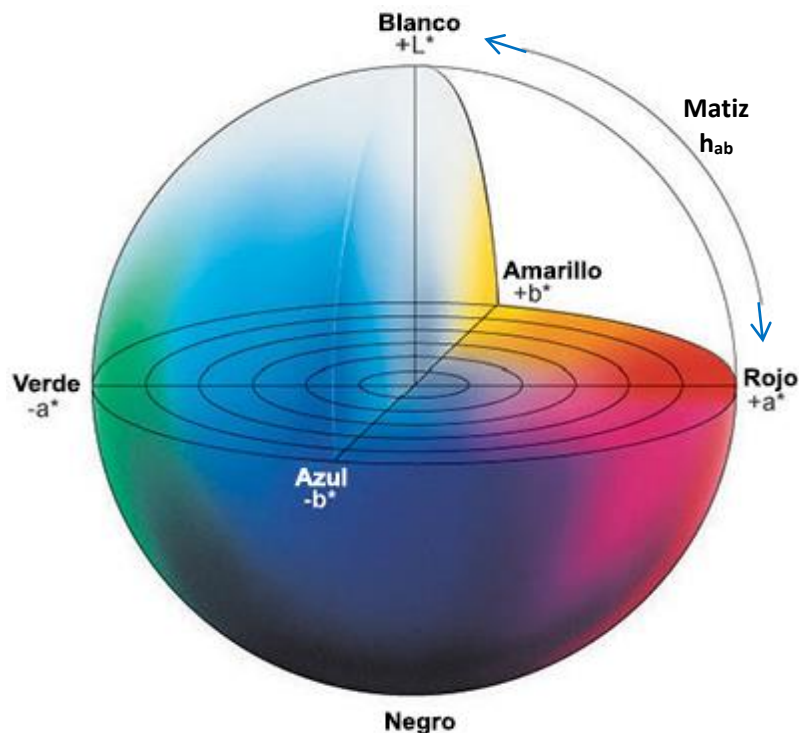
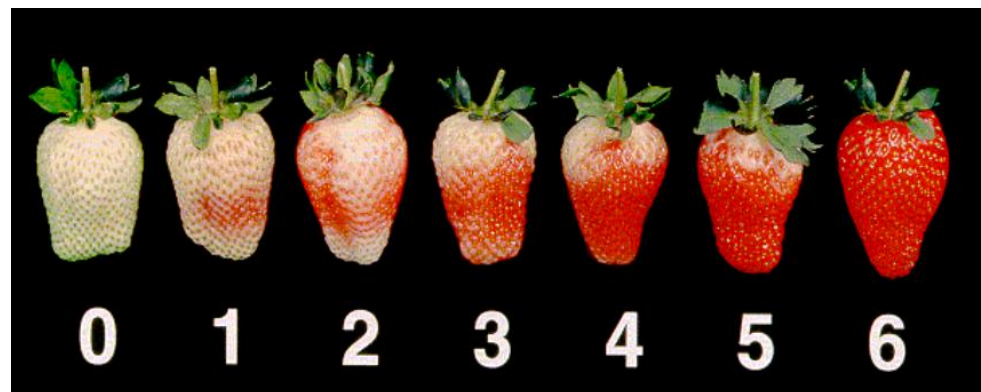


Figura 4.6 Diagrama del espacio de color CIE Lab

El mejor espacio de color para cuantificar las variables colorimétricas de la frutilla es el CIE  $L^*a^*b^*$  (Solorzano *et al.*, 2015), ya que actualmente es uno de los más usados para medir el color de frutos. En este espacio la variable  $L^*$  indica la luminosidad, donde  $L^* = 0$  representa el negro y  $L^* = 100$  el blanco, las variables  $a^*$  y  $b^*$  son las coordenadas de cromaticidad;  $+a^*$  indica rojo y  $-a^*$  verde, mientras que  $+b^*$  indica amarillo y  $-b^*$  azul.

El índice de madurez comercial se basa en el color del fruto (Moccia *et al.*, 2007) por ser uno de los parámetros que mayor información proporciona sobre la evolución de la maduración del mismo (Almenar, 2005). Por lo cual los frutos utilizados para las determinaciones de las variables evaluadas se cosecharon con índice de madurez de referencia 4-5 de la tabla de color según la NMX-FF-062-SCFI-2002 o  $\frac{3}{4}$  partes de coloración roja en el fruto.



**Figura 4.7** Tabla de color de los estados de maduración de la fresa (*Fragaria x ananassa, Duch*) a través de los colores según la NMX-FF-062-SCFI-2002.

#### IV.16 Desviación del Óptimo Porcentual (DOP).

La Desviación del Óptimo Porcentual (DOP) es un método estadístico que compara la concentración del nutriente en la muestra respecto a la norma, la cual se basa en un nivel nutrimental óptimo en el cual el cultivo expresa su máximo rendimiento potencial. El método DOP cuantifica el valor en que un nutriente se desvía con respecto a la norma individual. Una situación nutrimental óptima, para cualquier elemento, es definida por el índice DOP igual a cero, dando el orden de limitación tanto por exceso como por déficit, de cada uno de los nutrientes bajo estudio (Montañés *et al.*, 1993; Lucena, 1997).

El Índice de Desviación del Óptimo Porcentual se calcula aplicando la siguiente relación:

$$DOP = \frac{Cx100}{Cref} - 100$$

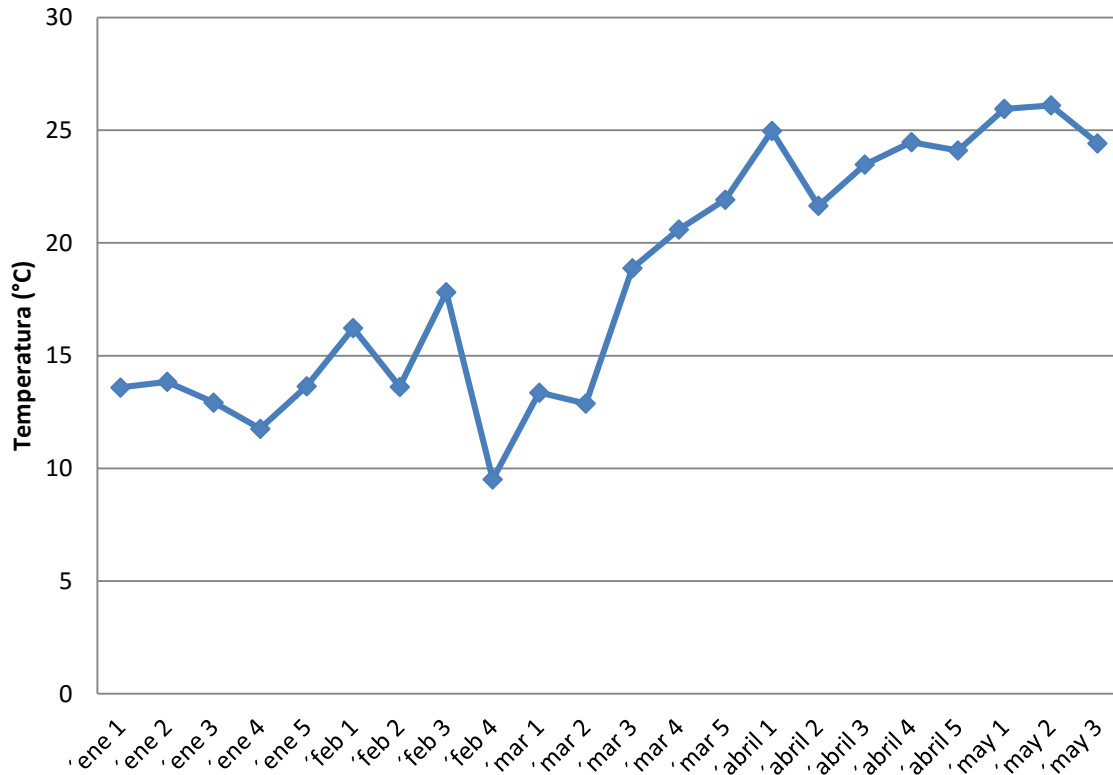
Dónde:

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

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

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

### V.1 Temperatura



**Figura 5.8** Comportamiento de la temperatura ambiental interior del invernadero en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa, Duch*) cv. "Camino Real", promedio diario 2015.

Durante la evaluación se tuvieron los mayores registros de temperatura a partir de la 3° semana de Marzo y esta fue en ascenso hasta el final de la evaluación, alcanzando un promedio entre 25-26°C en el mes de Mayo. Moroto y Galarza (1988) indicaron que a temperaturas mayores de 28 °C las plantas de fresa se estresan y reducen notablemente la floración, lo que disminuye significativamente la producción de fresa.

Taylor (2002), quien realizó experimentos en los que midió el efecto de la temperatura sobre la iniciación floral, demostró que altas temperaturas ( $> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) inhiben la floración, así como las bajas temperaturas ( $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) impiden y reducen la floración.

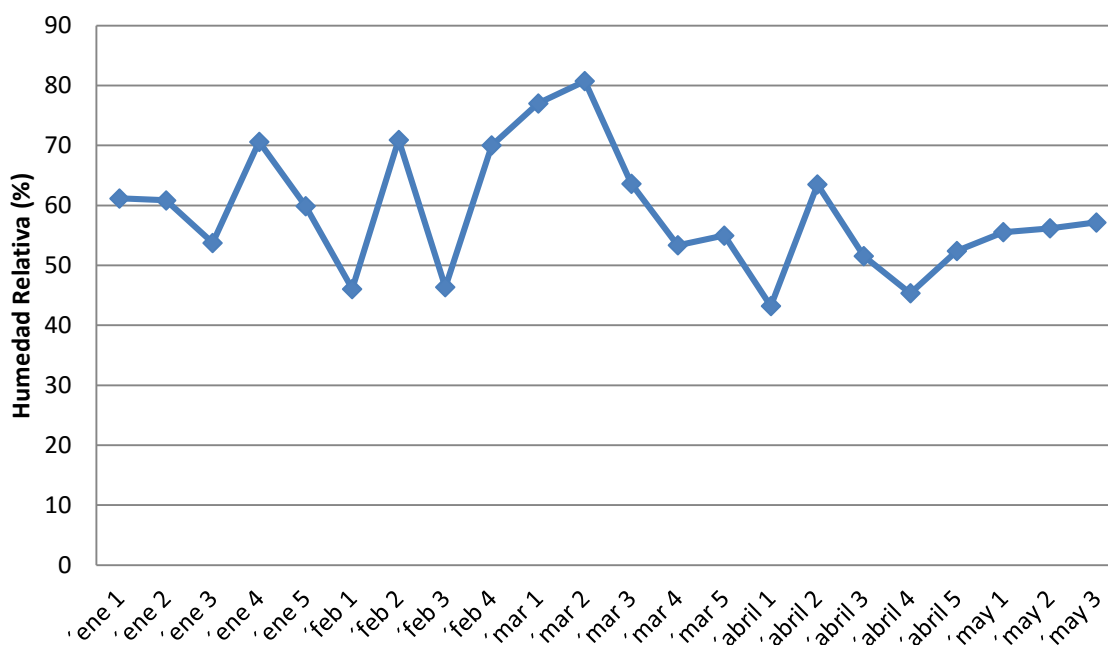
La temperatura en la cual la formación y crecimiento de las raíces es máximo es de  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la mínima de  $7\text{-}8\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Giménez *et al.*, 2003).

A los  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  se inhibe el crecimiento de estolones y disminuye el peso fresco de la fruta, al igual que el contenido de sólidos solubles (Larson, 1994).

La temperatura adecuada para el cuajado de los frutos debe ser superior a  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Giménez *et al.*, 2003).



## V.2 Humedad Relativa



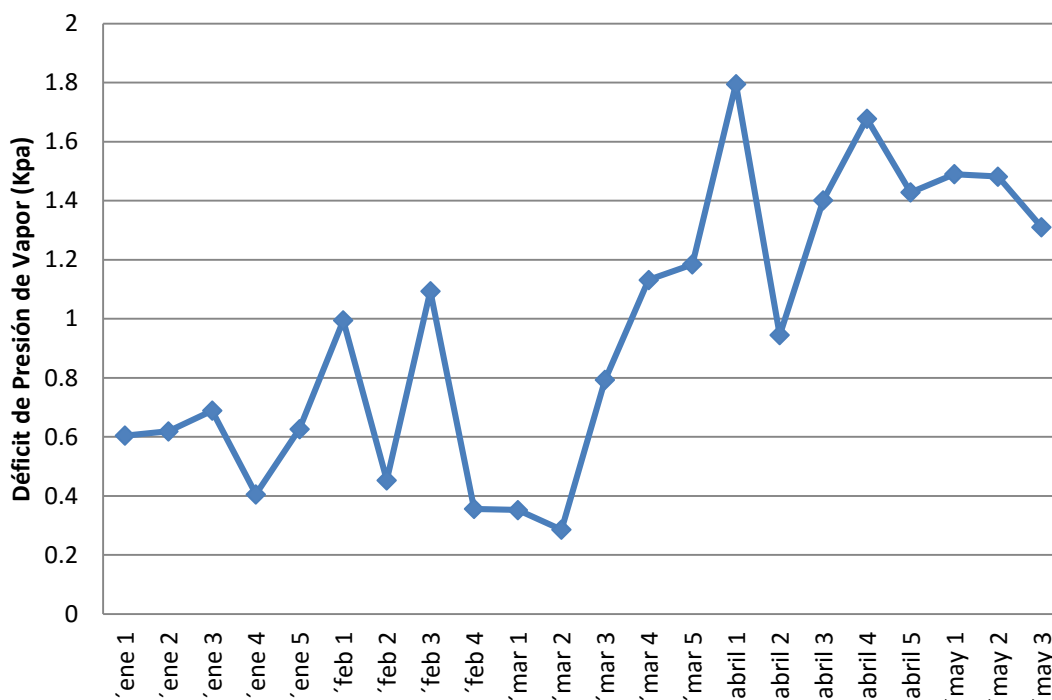
**Figura 5.9** Comportamiento de la humedad relativa ambiental interior del invernadero en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa, Duch*) cv. "Camino Real", promedio diario 2015.

Los resultados obtenidos en el experimento (Figura 9) muestran una variabilidad acorde con el aumento de temperaturas dadas por el clima de la región.

La humedad relativa más adecuada varía según el autor; Serrano (2002) sugiere un valor óptimo de 70 a 80% mientras que Acosta (2013) es de 60 a 75%, cuando es excesiva permite la presencia de enfermedades causadas por hongos, por el contrario, cuando es deficiente, las plantas sufren daños fisiológicos que repercuten en la producción; en casos extremos las plantas pueden morir.

La polinización es afectada negativamente por la alta humedad ya que dificulta la polinización puesto que el polen húmedo se apelmaza y pierde viabilidad, el intercambio gaseoso queda limitado, reduciéndose la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes (FAO, 2002), también la planta puede sufrir daños ocasionados por enfermedades, provocadas principalmente por hongos (Giménez *et al.*, 2003). Branzanti (1985) dice que temperaturas de 20°C y humedad relativa inferior al 60 % son condiciones favorables para la polinización

### V.3 Déficit de Presión de Vapor



**Figura 5.10** Déficit de presión de vapor al interior del invernadero en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa, Duch*) cv. “Camino Real”, promedio diario, 2015.

Durante el experimento se determinó el Déficit de Presión de Vapor (DPV) dentro del invernadero, encontrando los picos máximos de 1.8 Kpa después de la última semana de Marzo y la 1° semana de Abril, que coincide con el inicio de la primavera lo que trae un aumento considerable en temperatura, de la 3° semana de Abril al final del experimento en Mayo el DPV se mantiene constante reportando valores de 1.3 a 1.5 Kpa.

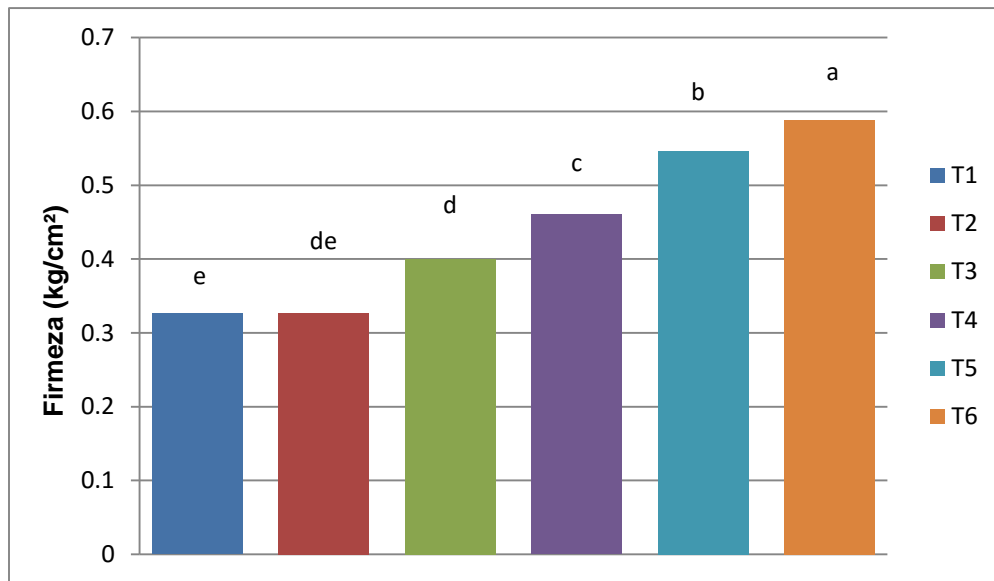
El DPV influye notablemente en la transpiración y la evaporación (Castilla, 2007), por lo que el flujo de agua a través de la planta inducido por la transpiración, provee un buen sistema de transporte para los minerales, que son absorbidos por las raíces y que se mueven en la corriente transpiratoria (Estrada, 2011), por lo tanto los factores que afectan la tasa de transpiración también afectarán el transporte de calcio ya que este es transportado pasivamente en el torrente transpiratorio a las porciones aéreas de la planta.

El DPV es útil para identificar condiciones ambientales propicias para el desarrollo de enfermedades. Prenger y Ling (2001) reportan que hongos patógenos sobreviven mejor a valores de DPV por abajo de 0.5 kPa, siendo su actividad más dañina por debajo de 0.2 kPa Sin embargo en un estudio llevado a cabo por Kroggel y Kubota (2017) indican que valores < 0.5 Kpa aumenta efectivamente el suministro de Ca en las hojas emergentes y suprime el quemado de la punta de las hojas (tipburn) de fresa cultivada en invernadero.

Valores altos superiores a 1.5 kPa se asocian a condiciones de estrés hídrico a causa de una atmósfera aérea demasiado seca (Navarro, 2017).

## V.4 Efecto de las soluciones nutritivas sobre las variables morfológicas del cultivo de fresa (*Fragaria x anannasa Duch.*)

### V.4.1 Firmeza del fruto (FF)



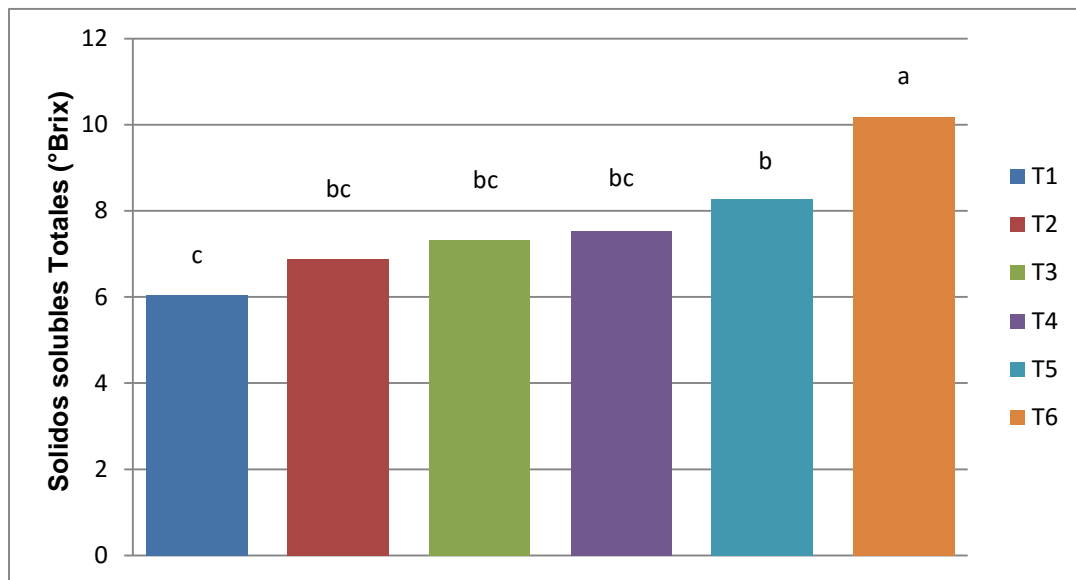
**Figura 5.11** Comparación de la firmeza en el fruto de fresa (*Fragaria x anannasa Duch*) cv. "Camino Real".

Se obtuvieron diferencias significativas para la variable de firmeza en este experimento, siendo el T6 el que reporta el valor más alto con 0.63 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual evita o retrasa el ablandamiento de los frutos durante su maduración y almacenamiento (Román y Gutiérrez, 1998; Molina, 2002); mientras que los valores más bajos los obtuvieron los T1 y T2 con 0.37 y 0.41 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente, característica que acorde a Mitchell *et al.* (1996), los hace más susceptibles a daños durante la selección, empaque, transporte y distribución; mayor susceptibilidad al ataque de patógenos y menor capacidad de conservación del fruto y deterioro en su calidad (Maroto y López, 1988; Paraskevopoulou y Vassilakakis, 1995).

Los niveles de Ca son determinantes de la firmeza de la fruta (Eaves y Leefe, 1962), ya que el ion  $\text{Ca}^{2+}$  es el mayor elemento estructural de la lamela media de la pared celular, éste mantiene la integridad de la membrana celular, (Demarty *et al.*, 1984) y actúa como agente cementante para incrementar la adhesión entre células, dándoles una mejor estabilidad.

En este caso se incrementó la firmeza de la fruta en los tratamientos que tuvieron una mayor CE y mayor concentración de Ca, ya que al analizar los niveles nutrimentales a través del DOP este elemento se encuentra cercano al óptimo para los tratamientos T4, T5 y T6; de acuerdo a 3 de los 4 autores de referencia (Campbell, 2005; Benton, 1991; y Cadahia, 2005), lo que concuerda con lo mencionado por López (2005) que afirma que la firmeza del fruto parece incrementar con la salinidad, aunque esto depende también del cultivar.

#### V.4.2 Sólidos Solubles Totales (SST)



**Figura 5.12** Comparación de Sólidos Solubles Totales expresados en °Brix para el fruto de fresa (*Fragaria x annanasa Duch.*) cv. "Camino real".

Los valores de los frutos cosechados en este experimento se encontraron dentro del intervalo de las recomendaciones de calidad postcosecha señaladas por Roudeillac y Trajkovski (2004): 7 °Brix como mínimo y 12 °Brix como máximo, a excepción de los tratamientos T1 y T2, que reportaron un promedio de 6.7 y 6.9 °Brix. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, donde el T6 reporta los valores más altos para esta variable con 10.18 °Brix en promedio.

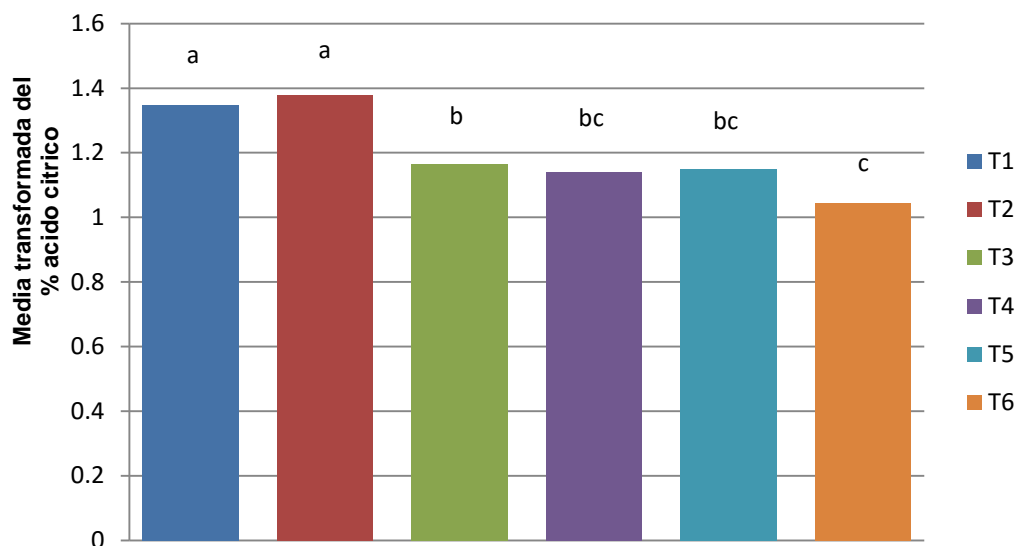
Acosta (2013) reportó que las aplicaciones de Boro contribuyen a incrementar los sólidos solubles expresados en °Brix donde obtuvieron entre 10 y 11 °Brix, similar a los resultados obtenidos en este experimento con una dosis de Boro de 0.2 ppm para el T1 que reportó 6.7 °Brix y el T6 con 0.7 ppm de Boro que reportó 10.18 °Brix.

Las aplicaciones de N tienen efectos variables sobre la acidez titulable y los contenidos de azúcar en el fruto (Haynes, y Goh, 1987). Ulrich *et al.* (1980), mencionan que en plantas deficientes de K, la fruta se vuelve pulposa en textura, e insípida al gusto,

Herráes y Maurí (2009) mencionan que cuanto mayor sea el valor en grados Brix, mayor será la concentración de zumo y menor la de agua. Un mayor contenido en sólidos solubles en fresa les confiere una mayor calidad organoléptica (Alavoine y Crochon, 1989; Montero *et al.*, 1996), siendo los azúcares los principales compuestos solubles en los frutos de fresa (Perkins, 1995), la sacarosa, fructosa y glucosa se encuentran en mayor proporción y determinan, en mayor medida, los grados Brix (Hidekazu, 2002; Hamano *et al.*, 2002).



### V.4.3 Acidez Titulable (AT)



ghg

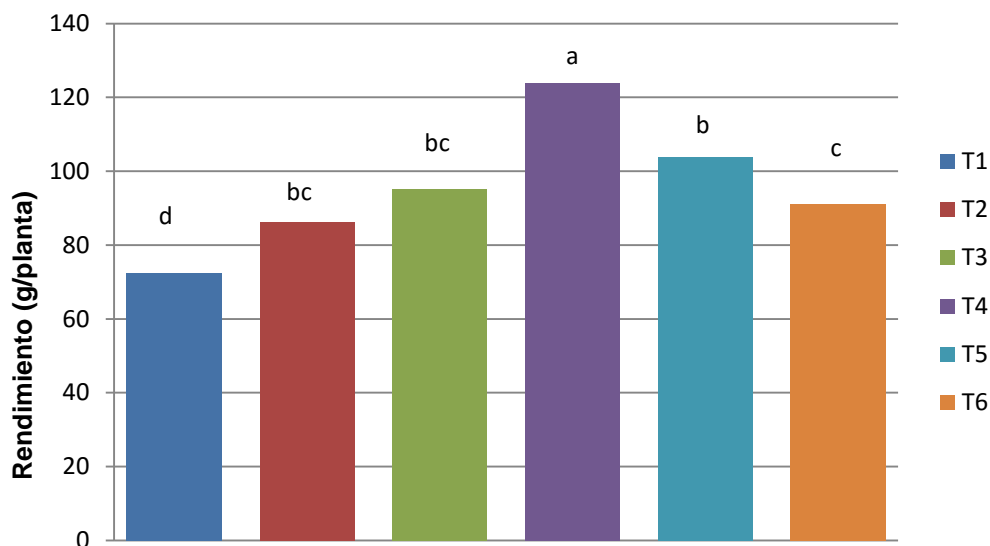
**Figura 5.13** Comparación de medias transformadas del contenido de ácido cítrico en el fruto de fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*) cv. "Camino Real".

Los valores encontrados se encuentran dentro del rango que presentan Skupién y Oszm biański (2004), de 0.74 a 1.26 de muestra fresca; Wang *et al.* (2002), de 0.42 a 1.07% de ácido cítrico/100 g de muestra fresca, Cordenunsi *et al.* (2002), de 0.57 a 2.26 g de ácido cítrico/100 g de muestra fresca; Almenar *et al.* (2006), que señalan un valor de acidez de 0.99 g de ácido cítrico/100 g de muestra fresca.

Se obtuvieron diferencias significativas en el contenido de ácido cítrico, dejando al T1 y T2 con la mayor cantidad, encontrando 1.38% y T6 registrando el valor más bajo con 1.04%. De acuerdo a Kafkas *et al.*, (2007) afirman que la acumulación de ácidos orgánicos, ácido ascórbico y azúcares solubles depende de la variedad, sin embargo en un estudio realizado por Ojeda-Real (2008) se observó que la aplicación de diferentes niveles de nitrato afecta la acumulación de ácidos orgánicos como el ácido cítrico y el ácido ascórbico, entre otros compuestos, en el fruto de fresa. Altas dosis de nitrato provocan un desajuste metabólico en la planta lo que resulta una planta con un desarrollo vegetativo excesivo que produce frutos con una baja acumulación de los compuestos y por tanto, con una baja calidad sensorial y nutrimental. Lo que coincide con los niveles de ácido cítrico obtenidos en el T6, ya que la SN "UAAAN" aplicada contiene el doble de cantidad de N como  $\text{NO}_3$ , aunado al sistema de recirculación que provoca una acumulación de los elementos en el sustrato. La SN "Rancho Guadalupe", formulada con menor cantidad de  $\text{NO}_3$ , suministrada al T1 y T2 fue donde se obtuvieron valores acumulados superiores de ácido cítrico.

Los resultados indicaron que los diámetros de la fruta polar y ecuatorial fueron respectivamente 36.66 y 32.94 mm, respectivamente. Los sólidos solubles totales (TSS) fueron 5.24 ° Brix y pH 4.65. La acidez titulable (TA), expresada por ácido cítrico, fue del 1.01%. La relación TSS / TA fue 5.24. Los resultados demostraron que la plantación producía fruta comercial y mantenía una calidad aceptable para el consumo fresco después de tres años de producción. Pérez de Camacaro *et al.* (2005). Como consecuencia de la salinidad en el sustrato se ha reportado un incremento en el contenido de sólidos solubles totales (SST) y de la acidez titulable no sólo en fresa sino también en otros frutales como guayaba (Walker *et al.* 1979).

#### V.4.4 Peso Total del Fruto por Planta (PTFP)



**Figura 5.14** Comparación del peso total de frutos por planta de fresa (*Fragaria x ananassa, Duch*) cv. “Camino Real”.

Para los resultados obtenidos en esta variable el T4 reportó el mayor peso total de frutos por planta con 123 g dejando al T1 y T6 con el menor valor para esta variable con solo 76 g y 98g/planta respectivamente.

En un experimento realizado por Medeiros (2008) se obtuvieron rendimientos promedio de 370-396 g/planta para el cultivar “Camino Real” establecida en cultivo sin suelo sobre distintos sustratos, para un ciclo completo de cosecha que comprendió de Septiembre a Diciembre; los cual son similares a los rendimientos obtenidos en la mitad del periodo de cosecha para este experimento que solo fue de Abril-Mayo.

El uso de altas Conductividades Eléctricas reduce el rendimiento de los frutos y altera el debido equilibrio nutricional de las plantas (Adams, 1991; Stanghellinni *et al.*, 1998; Cockshull, 1998). Según Soria y Cuartero (1998) existe una correlación negativa altamente significativa entre el consumo diario de las plantas de fresa y la CE de la disolución nutritiva donde se reduce hasta en un 50% el rendimiento con CEs  $> 2 \text{ dS/m}^{-1}$ , que concuerda con los resultados obtenidos en este experimento donde el T6 con una CE de la SN de  $2.3 \text{ dS/m}^{-1}$  reporta uno de los valores más bajos para rendimiento.

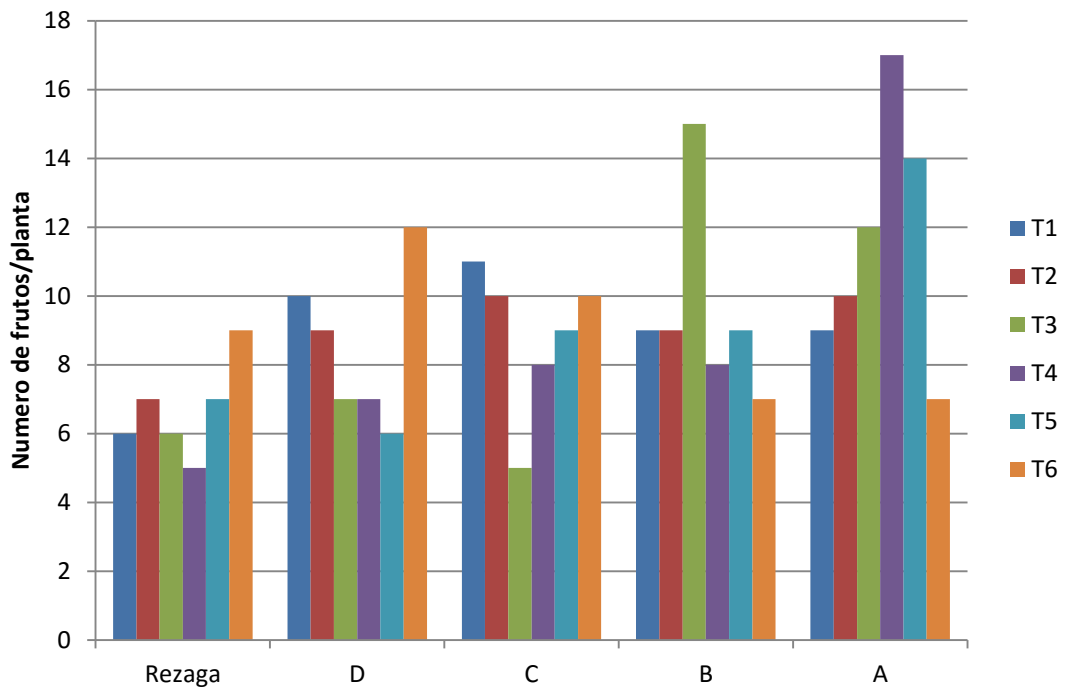
#### V.4.5 Número de Frutos por Planta (NFP)

La clasificación de los frutos por planta de cada unidad experimental se realizó de acuerdo a la norma NMX-FF-062-SCFI-2002 PRODUCTOS ALIMENTICIOS NO INDUSTRIALIZADOS PARA CONSUMO HUMANO - FRUTA FRESCA - FRESA (*Fragaria x ananassa, Duch*) – ESPECIFICACIONES Y MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-FF-062-1987), que especifica los diferentes grados de calidad en base al diámetro ecuatorial del fruto de fresa (Cuadro 14) Declaratoria de vigencia en base al Diario Oficial de la Federación el 10 de Junio de 1982. Los frutos con diámetros inferiores, se tomaron como Rezaga comercial, para efectos de este experimento.

**Cuadro 5.13** Especificaciones de tamaño según la norma NMX-FF-062-SCFI-2002

Tamaño	Intervalo de diámetro ecuatorial(cm)		
<b>A</b>	3,2	De	Mayor
<b>B</b>	2,6	a	3,1
<b>C</b>	2,0	a	2,6
<b>D</b>	1,6	a	1,9

De acuerdo a esta clasificación el T4 obtuvo mayor cantidad de fruto tamaño A con un 37.7% del total de los frutos evaluados por unidad experimental y el menor valor para frutos de rezaga con 11.11%. Los tratamientos con mayoría de frutos tamaño D, fueron el T6 con 26.6%, el T1 con 22.2% y el T2 con 20% de frutos con la clasificación de menor tamaño comercial.



**Figura 5.15** Clasificación de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa*, Duch) cv. "Camino Real" de acuerdo a la norma NMX-FF-062-SCFI-2002.

#### V.4.6 Índice de Color

El parámetro de color asegura la homogeneidad en la cosecha de frutos de fresa para la evaluación de las variables de calidad,

Para la variable de color, no existieron diferencias significativas entre unidades experimentales, se obtuvieron valores cercanos a los reportados por Marques *et al.* (2011); Carvalho *et al.* (2013), Solorzano *et al.* (2015) con un intervalo de  $L^*$  30-34;  $a^*$  25-31 y  $b^*$  20-32 para frutos del cultivar “Camino Real” cosechados en un estado de maduración 4-5 según la norma o con  $\frac{3}{4}$  de coloración roja al corte. A pesar de que las principales normas de calidad para exportación de fresa (USDA, 2006; CCE, 2002) que determinan el color rojo o rosa de frutos como un parámetro más de calidad de los mismos, no se especifica el grado de saturación o brillo requerido para establecer las diferentes calidades de fresa para su consumo en fresco.

Se descarta la posibilidad de diferencias de calidad de postcosecha obtenidas en la evaluación, ya que no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 15), que sean por efecto del grado de madurez en los frutos de fresa estudiados, ya que uno es uno de los factores primordiales para establecerlas.

En el caso del ángulo cromático ( $h_{ab}$ ) los valores de  $h_{ab}$  están cercanos al eje correspondiente a valores positivos de  $a^*$  que corresponde a los tonos relacionados con el color rojo (Figura 16).

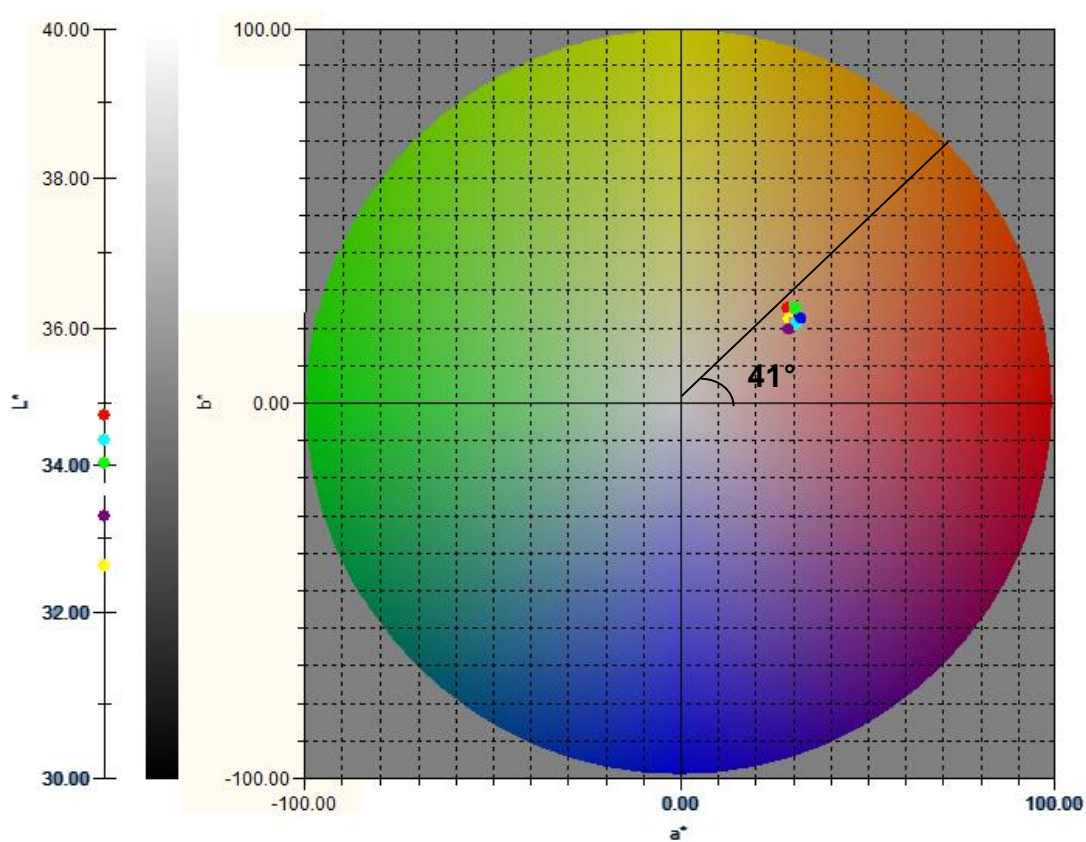


**Figura 5.16** Tonos correspondientes a los distintos ángulos de matiz ( $h_{ab}$ ) o ángulo cromático.

**Cuadro 5.14** Comparación de medias de los parámetros L\* a\* b\*

Tratamiento	L*	a*	b*	h <sub>ab</sub>
T1	34.84 a	28.51 b	25.32 a	41.75 a
T2	34.02 a	29.85 ab	24.38 b	39.31 b
T3	32.63 a	29.04 ab	23.39 ab	38.99 bc
T4	34.58 a	30.52 ab	22.44 ab	38.99 bc
T5	33.29 a	29.06 ab	22.06 ab	36.43 ab
T6	33.58 a	31.48 a	21.68 c	34.6 c

Tratamientos con la misma literal no difieren entre sí, Duncan  $P \leq 0.05$ .



**Figura 5.17** Ubicación grafica de las coordenadas L\*a\*b\* en el espacio de color CIELab.



## V.5 Desviación del Óptimo Porcentual (DOP) como método de interpretación del análisis nutrimental del tejido vegetal del cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa Duch*)

Al obtenerse los resultados de la concentración de cada elemento en el tejido vegetal, se realizó la interpretación del análisis nutrimental por medio de la desviación del óptimo porcentual (DOP) utilizando los valores óptimos establecidos por 4 diferentes autores, se generó en cada caso el orden de requerimiento y el índice de desbalance nutrimental (IDN).

### V.5.1 DOP de acuerdo a Ellis *et al.*, (2006).

**Cuadro 5.15** Índice de desbalance nutricional de acuerdo a Ellis *et al.*, (2006)

Tratamiento	SN	IDN	Orden de requerimiento
T1	1	363.21	Cu>Zn>Mn>Mg>P>K>N>Ca>Fe
T2	1	375.22	Cu>Mn>Zn>Mg>P>N>K>Ca>Fe
T3	2	394.15	Mn>Zn>Mg>Cu>P>K>Ca>N>Fe
T4	2	325.43	Mg>Zn>Mn>P>K>Cu>N>Ca>Fe
T5	3	673.58	Zn>Cu>Mg>K>P>Fe>Ca>N>Mn
T6	3	617.62	Mg>Cu>Zn>Mn>K>P>Ca>N>Fe

IDN: Índice de Desbalance Nutricional

El DOP realizado en base a los valores de Ellis *et al.*(2006), reporta los IDN más altos en el T5 y T6 por exceder los valores óptimos en el caso del hierro y el calcio, dejando al zinc, al manganeso y el cobre como los elementos más deficientes concentrados en el tejido foliar.

### V.5.2 DOP de acuerdo a Campbell (2000)

**Cuadro 5.16** Índice de desbalance nutricional de acuerdo a Campbell (2000)

Tratamiento	SN	IDN	Orden de requerimiento
T1	1	376.37	Cu>Mn>Zn>Fe>Mg>N>P>Ca>K
T2	1	350.14	Mn>Cu>Zn>Fe>N>Mg>P>Ca>K
T3	2	293.96	Mn>Fe>Mg>Zn>Cu>N>Ca>P>K
T4	2	200.09	Mn>Mg>Fe>Cu >N>Zn>K>P>Ca
T5	3	333.23	Cu>Mg>Fe>Zn>Mn>K>N>P>Ca
T6	3	319.47	Mn>Mg>Cu>Fe>Zn>N>K>Ca>P

IDN: Índice de Desbalance Nutricional

El orden de requerimiento según Campbell (2000) señala al manganeso como el elemento más deficiente en el tejido foliar seguido de otros microelementos como el zinc y el hierro. La Solución Nutritiva “Arteaga Reforzada” proporcionada en sistema cerrado (recirculación) que corresponde al T4 obtiene un IDN menor a los demás tratamientos, lo que indica que obtiene los valores más cercanos a los óptimos proporcionados por Campbell *et al.*(2000).

### V.5.3 DOP de acuerdo a Benton Jones (1991)

**Cuadro 5.17** Índice de desbalance nutricional de acuerdo a Benton Jones (1991)

Tratamiento	SN	IDN	Orden de requerimiento
T1	1	485.55	Cu>Mn>Zn>Mg>P>Ca>K>Fe>N
T2	1	481.34	Cu>Mn>Zn>Mg>P>Ca>Fe>K>N
T3	2	445.69	Mn>Zn>Cu>Mg>P>Ca>Fe>K>N
T4	2	394.07	Mn>Zn>Cu>Mg>P>Ca>K>Fe>N
T5	3	401.64	Cu>Zn>Mg>Mn>P>Fe>Ca>K>N
T6	3	415.85	Cu>Zn>Mg>Mn>Ca>P>K>Fe>N

IDN: Índice de Desbalance Nutricional

El orden de requerimiento, según los valores de Benton (1991) señala al manganeso, el zinc y el cobre como los elementos más deficientes en la concentración del tejido foliar en este caso la mayoría de los elemento reportados en el análisis foliar se encuentra considerablemente por debajo de los valores óptimos establecidos por el autor, a excepción del nitrógeno que se encuentra hasta 2 puntos porcentuales por encima del óptimo.

#### V.5.4 DOP de acuerdo a Cadahia (2005).

**Cuadro 5.18** Índice de desbalance nutricional de acuerdo a Cadahia (2005)

Tratamiento	SN	IDN	Orden de requerimiento
T1	1	501.09	Cu>Mn>Fe>K>Ca>Zn>Mg>P>N
T2	1	459.09	Cu>Mn>Fe>K>Ca>Mg>Zn>P>N
T3	2	465.97	Mn>Cu>Fe>Ca>K>Mg>Zn>P>N
T4	2	415.35	Cu>Fe>K>Mn>Mg>Ca>P>Zn>N
T5	3	534.04	Cu>Fe>K>Mg>Ca>Zn>Mn>P>N
T6	3	516.41	Cu>Fe>K>Mg>Ca>Mn>Zn>P>N

IDN: Índice de Desbalance Nutricional

Los valores más altos de IDN se obtienen al realizar el DOP con los valores óptimos reportados por Cadahia (2005) ya que la cantidad de nitrógeno acumulado en el tejido foliar tuvo porcentajes muy por encima del valor óptimo del autor, lo que incrementó considerablemente el IDN, sin embargo los requerimientos de micronutrientes siguen siendo deficientes, en este caso el cobre, manganeso y hierro

## VI. CONCLUSIONES

El T4 se perfila como la mejor opción en cuanto a la formulación de la SN (“Arteaga Reforzada”) aplicada y el sistema de recirculación utilizado, ya que obtuvo el mayor rendimiento por planta y registró la mayor cantidad de frutos de calidad tipo “A”, bajo la norma NMX-FF-062-SCFI-2002, aunque el T6 consiguió mejores valores de calidad en el experimento, pero no así de rendimiento, se vio afectado por el valor mayor de C.E. en la SN, lo que concuerda con Graves y Hurd (1983) y Satti *et al.* (1996) quienes reportaron que al aumentar la CE de la SN se obtiene un menor rendimiento, pero se incrementa la calidad de los frutos: firmeza, contenido de sólidos solubles y acidez titulable.

Los índices de calidad poscosecha para las fresas son la apariencia (color, tamaño, forma), la firmeza, el sabor, un contenido en sólidos solubles mínimo de 7 °Brix y una acidez titulable de 0,8% como máximo (Mitcham *et al.* 2002). Lo que como referencia, sitúa al T1 y T2 por debajo de estos parámetros.

El autor que proporciona un IDN más bajo es Campbell (2005), ya que los rangos de suficiencia los establece para la vecina región sur de los Estados Unidos, que colinda con el estado de Coahuila, resultando una referencia regional más cercana que Ellis *et al.*(2006), Cadahia (2005) y Benton (1991).

En general se observa una deficiencia marcada de hierro, manganeso y cobre en los sistemas con recirculación de nutrientes; Dasgan y Ekici (2004) mencionan que la acumulación de micronutrientes en el sistema cerrado no es importante, a su vez registraron en el sustrato de recirculación una ligera acumulación de Zn. El Zn fue el único microelemento que aumentó su concentración, como se encontró en el DOP realizado, el Zn se reportó en la mayoría de los casos como suficiente; lo cual no sucedió con el  $Fe^{+2}$ , probablemente por los altos niveles de N como  $NO_3$  ya que en estudios llevados a cabo por Alloush *et al.* (1990) encontraron que los niveles de hierro disminuyeron cuando la fuente principal de N se suministró como  $NO_3$ , lo que puede provocar la precipitación de  $Fe^{+2}$  en las raíces y en el apoplasto de las hojas.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se sugiere realizar análisis del tejido foliar por etapa fenológica del cultivo, para elaborar el método de diagnóstico nutricional y llevar a cabo el manejo de la SN de manera puntual, para corregir desbalances nutricionales y así mejorar el rendimiento y evitar deficiencias nutricionales.

Se recomienda probar otras variedades de fresa, comparar rendimientos y seleccionar la más adecuada para la región.

El diseño agronómico del invernadero es un factor determinante para obtener mejor calidad y mayores rendimientos en el cultivo, por lo que se sugiere mejorar este aspecto para establecer futuros trabajos de investigación.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, A. 2013. Aplicación foliar de tres dosis de calcio y tres dosis de boro en el cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa Duch*) cultivar oso grande, bajo cubierta. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Técnica de Ambato. Ambato – Ecuador. 98p.
- Adams, P. 1994. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hidroponic systems. *Acta Hort.* 361: 245-257.
- Adams, P. 1994b. Some effects of the environment on the nutrition of greenhouse tomatoes. *Acta Hort.* 366: 405-416.
- Adams, P. y L.C. Ho. 1993. Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and the incidence of blossom-end rot. *Plant Soil* 154: 127-132.
- Alavoine, F., & Crochon, M. (1988, May). Taste quality of strawberry. In *International Strawberry Symposium* 265 (pp. 449-452).
- Alcántar González, G., & Trejo-Téllez, L. I. (2007). *Nutrición de cultivos* (No. 04; CP S633 N88.). Colegio de Postgraduados.
- Alloush, G. A., Le Bot, J., Sanders, F. E., & Kirkby, E. A. (1990). Mineral nutrition of chickpea plants supplied with NO<sub>3</sub> or NH<sub>4</sub> N: I. Ionic balance in relation to iron stress. *Journal of plant nutrition*, 13(12), 1575-1590.
- Almenar, E., Hernández-Muñoz, P., Lagarón, J. M., Catalá, R., & Gavara, R. (2006). Controlled atmosphere storage of wild strawberry fruit (*Fragaria vesca* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(1), 86-91.
- Alpi A, Tognoni F. 1991. Cultivo en invernadero. 3a ed. Edizioni Agricole. bologna, Italia. 353 p.
- Asher, C.J. y D.G. Edwards. 1983. Modern solution culture techniques. pp. 94-119. In: A. Pirson y M.H. Zimmermann (ed.). *Encyclopedia of Plant Physiology*. Vol. 15-A. SpringerVerlag, Berlin.
- Ayers, R.S. y D.W. Westcot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. FAO, Serie riego y drenaje No. 29. Roma, Italia.
- Benton Jones, Benjamin Wolf, Harry A. Mills (1991) *Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide* Editor Micro-Macro Pub., 213 páginas ISBN 1878148001, 9781878148001

- Bouma, D. 1983. Diagnosis of mineral deficiencies using plant test. pp. 120-146. In: A. Pirson, and M.H. Zimmerman (ed.). Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. 15-A. SpringerVerlag, Berlin.
- Branzanti, E. C. (1989). Capítulo 3: La 'planta'fresa. La fresa. Editorial Mundi-Prensa, España, 49-58.
- Brückner U (1997) Physical proprieties of different potting media and substrate mixtures -especially air- and water capacity. Acta Hortic. 450:263–270.
- Cabrera R I (1999) Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. Rev. Chapingo S. Hortic. 5(1):5–11.
- Cadahia, C. (Ed.). (2005). Fertirrigación: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-prensa Libros.
- Campbell, C. (2000). Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States.
- Cantliffe DJ; Castellanos JZ; Paranjpe AV. 2007. Yield and quality of greenhouse-grown strawberries as affected by nitrogen level in coco coir and pine mark media. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 120: 157-161
- Carvalho, S. F. de; Ferreira, L. V.; Picolotto, L.; Antunes, L. E. C.; Cantillano, R. F. F.; Amaral, P. A.; Weber, D.; Malgarim, M. B. 2013. Comportamento e qualidade de cultivares de morango (*Fragaria x ananassa Duch.*) na região de Pelotas-RS. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, v.14, p.176-180.
- Comisión de las Comunidades Europeas (CCE). 2002. Reglamento (CE) Núm. 843/2002 de la Comisión de 21 de mayo de 2002 por el que se establecen las normas de comercialización de las fresas y se modifica el Reglamento (CEE) Núm. 899/ 87. Diario Oficial de las Comunidades Europeas.
- Cockshull, K. E. (1993, November). Plant responses and adaptation to water issues in the greenhouse environment. In International Symposium on Water Quality & Quantity-Greenhouse 458 (pp. 201-206).
- Cordenunsi, B. R., Oliveira do Nascimento, J. R., Genovese, M. I., & Lajolo, F. M. (2002). Influence of cultivar on quality parameters and chemical composition of strawberry fruits grown in Brazil. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50(9), 2581-2586.
- Cornillon, P. 1988. Influence of root temperature on tomato growth and nitrogen nutrition. Acta Hort. 229: 211-218.



- Castilla N., Prados. 2007. Invernaderos de plástico: tecnología y manejo. 462 páginas Mundi-Prensa Libros. ISBN 8484766160, 9788484766162.
- Dasgan, H. Y., & Ekici, B. (2004, November). Comparison of open and recycling systems for ion accumulation of substrate, nutrient uptake and water and water use of tomato plants. In International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics 697 (pp. 399-408).
- De Reijck, G. y E. Schrevens. 1998. Cationic speciation in nutrient solutions as a function of pH. *J. Plant Nutr.* 21: 861-870
- Demarty, M., Morvan, C., & Thellier, M. (1984). Calcium and the cell wall. *Plant, Cell & Environment*, 7(6), 441-448.
- Dinamarca, P. (2005). Arándanos. Producción y mercado. Recuperado: Noviembre de 2017, de indap.gob.cl: <http://www.indap.gob.cl/extras/estrategias-por-rubros-2005/5region/5Arandanos-ExposicionEspecialista.pdf>
- Eaves, C. A., & Leefe, J. S. (1962). Note on the influence of foliar sprays of calcium on the firmness of strawberries. *Canadian Journal of Plant Science*, 42(4), 746-747.
- Ehret, D.L. y L.C. Ho. 1986a. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *An. Bot.* 58: 679-688.
- Ehret, D.L. y L.C. Ho. 1986b. Effects of osmotic potential in nutrient solution on diurnal growth of tomato fruit. *J. Exp. Bot.* 37: 1294-1302.
- Ellis, M. A., Funt, R. C., Wright, S., Demchak, K., Wahle, E., Doohan, D., ... & Brown, M. (2006). Midwest strawberry production guide. The Ohio State University Extension Services, Columbus, Ohio, United States.
- Estrada Nolasco, C. (2011). Caracterización fisiológica y productiva de dos variedades mexicanas de fresa (*Fragaria x Ananassa*) para el subtrópico.
- FIRA. (2016). Panorama Agroalimentario Berries 2016. Octubre 2017, de Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero Sitio  
web:[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200633/Panorama\\_A\\_groalimentario\\_Berries\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200633/Panorama_A_groalimentario_Berries_2016.pdf)
- Gertsson, U.E. 1995. Nutrient uptake by tomatoes grown in hydroponics. *Acta Hort.* 401: 351-356.
- Giménez, G., Paullier, J., Maeso, D., & Leoni, C. (2003). Identificación y manejo de las principales enfermedades y plagas en el cultivo de frutilla. INIA Boletín de Divulgación.

- Granstedt, R.C. y R.C. Huffaker. 1982. Identification of the leaf vacuole as a major nitrate storage pool. *Plant Physiol.* 70: 410-413.
- Graves, C.J. 1983. The nutrient film technique. *Hort. Rev.* 5: 1-44.
- Guill, M.A. y H.M. Reisenauer. 1993. Nature and characterization of ammonium effects on wheat and tomato. *Agron. J.* 85: 874-879.
- Hamano, M.Y.; Yamazaki, Y.H.; Miura, H. 2002. Change in sugar contents and composition of strawberry fruit during development. *Acta Horticulturae* 567: 369-372.
- Haynes, R. J., & Goh, K. M. (1987). Effects of nitrogen and potassium applications on strawberry growth, yield and quality. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 18(4), 457-471.
- Herráez, H., & Maurí, A. (2009). Curso teórico-práctico de Análisis industrial. Departamento de Química Analítica, Facultad de Química Universidad de Valencia.
- Herrera, A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17(3): 221-229
- Hidekazu, I. 2002. Potential on near infrared spectroscopy for nondestructive determination of °Brix in strawberries. *Acta Horticulturae* 567: 751-754.
- Howard M (1998) *Hydroponic Food Production. A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower.* Woodbridge. Santa Barbara, California. 520 p.
- Huertas, L. (2008). El control ambiental en invernaderos: humedad relativa. *Industria hortícola, tecnología de producción*, 52-54.
- Hurtado. M. 1996. Productor de fresas, *Revista FOREXPOR*. P 11
- Jensen, M.H. y W.L. Collins. 1985. Hydroponic vegetable production. *Hort. Rev.* 483-559.
- Kafkas, E., Koşar, M., Paydaş, S., Kafkas, S., & Başer, K. H. C. (2007). Quality characteristics of strawberry genotypes at different maturation stages. *Food Chemistry*, 100(3), 1229-1236.
- Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D., & Saltali, K. (2002). Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia Horticulturae*, 93(1), 65-74. DOI: 10.1016/S0304-4238(01)00313-2

- Kroggel, M. and Kubota, C. (2017). Controlled environment strategies for tipburn management in greenhouse strawberry production. *Acta Hort.* 1156, 529-536 DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1156.78
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd edition. Ed. Academic Press. San Diego, Ca., USA.
- Larson, K.D. 1994. Strawberry. In: Schaffer, B.; Anderson, P.C. eds. Handbook of environmental physiology of fruit crops. Boca Raton, FL, CRC. v.1, pp. 83-271-297
- Leech, L., Simpson, D.W. and Whitehouse, A.B. (2002). Effect of temperature and relative humidity on pollen germination in four strawberry cultivars. *Acta Hort.* 567, 261-263 DOI: 10.17660/ActaHortic.2002.567.53
- Lemaire F (1997) The problem of the biostability in organic substrates. *Acta Hort.* 450:63–69.
- López-Pérez, L., Cárdenas-Navarro, R., Lobit, P., Martínez-Castro, O., & Escalante-Linares, O. (2005). Selección de un sustrato para el crecimiento de fresa en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 28(2).
- Lorenzo, P. (2012). El cultivo en invernaderos y su relación con el clima. *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios (CEA)*, (3), 23-44.
- Lucena, J. J. 1997. Methods of diagnosis of mineral nutrition of plants: a critical review. *Acta Hort.* 448: 179-192.
- Maroto, B., J. V.; López, G. S. 1988. Producción de fresas y fresones. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 119 p.
- Mason, G. F., & Guttridge, C. G. (1975). The influence of relative humidity and nutrition on leaf tipburn of strawberry. *Scientia Horticulturae*, 3(4), 339-349.
- Martínez, G., J. Mercado, M. López y B.Z. Prieto. 2008. Propiedades fisicoquímicas de seis variedades de fresa (*Fragaria x ananassa*) que se cultivan en Guanajuato. *Revista Salud Pública y Nutrición*, octava edición especial. X Congreso de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Gómez Palacio, Durango, México.
- Medeiros CAB; Strassburger AS; Antunes LEC. 2008. Avaliação de substratos constituídos de casca de arroz no cultivo sem solo do morangueiro. *Horticultura Brasileira* 26: S4827-S4831.

- Miliev, K. 1997. Effects of two nutrient solutions at different conductivities on some growth parameters of tomato plants. *Acta Hort.* 462: 641-648.
- Mitcham, E. J., Crisosto, C. H., & Kader, A. A. (2002). Fresa (frutilla): recomendaciones para mantener la calidad postcosecha. University of California, Davis. Sánchez Pineda de las Infantas, MT (2004). Procesos de conservación poscosecha de productos vegetales. Ediciones A Madrid Vicente, Madrid.
- Mitchell, F. G.; Mitcham, E.; Thompson, J. F.; Welch, N. 1996. Handling strawberries for fresh market. Oakland, CA: Univ. Calif. Agr. Nat. Resources, Special Publ. 2442, 14 p
- Moccia S., Monaco E., Oberti A., Chiesa Á. (2007). Evaluación comparativa de índices de calidad a cosecha y post cosecha en seis variedades de frutilla (*Frutilla x ananassa* Duch.). V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones. 29 mayo - 1 junio. Cartagena, España. pp. 432-441.
- Molina, E. 2002. Fertilización foliar de cultivos frutícolas. In: Memorias Seminario Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones. G. Meléndez y E. Molina (eds.). Laboratorio de Suelos CIA-UCR/ACCS, San José, Costa Rica. p. 85-104.
- Montañés, L., L. Heras, J. Abadía, and M. Sanz. 1993. Plant analysis interpretation based on a new index: Deviation from optimum percentage (DOP). *J. Plant Nutr.* 16: 1289-1308.
- Montero, T. M., Mollá, E. M., Esteban, R. M., & López-Andréu, F. J. (1996). Quality attributes of strawberry during ripening. *Scientia Horticulturae*, 65(4), 239-250.
- Moorby, J. y C.J. Graves. 1980. The effects of root and air temperature on the growth of tomatoes. *Acta Hort.* 98: 29-43.
- Morard, P., A. Pujos, A. Bernadac y G. Bertoni. 1996. Effect of temporary calcium deficiency on tomato growth and nutrition. *J. Plant Nutr.* 19: 115-127.
- Morel P, Poncet L, Rivière L (2000) Les Supports de Culture Horticoles. Les Matériaux Complémentaires et Alternatifs à la Tourbe. INRA. Paris. 87 p.
- Moroto, J. V. y L. Galarza. 1988. Producción de fresas y fresones. Mundi-Prensa. Madrid, España
- Navarro T. (2017). Mantenimiento y optimización de microclimas en invernaderos. *Horticultivos Volumen Febrero 2017*. pag 14-19.

- NMX-F-102-NORMEX-2010 Alimentos-determinación de acidez titulable en alimentos-método de ensayo (prueba) (esta norma cancela a la nmx-f-102-s-1978). Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación. México, D.F, 21 de Junio del 2010.
- NMX-FF-062-SCFI-2002 Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - fruta fresca - fresa (fragaria x ananassa, duch) – especificaciones y método de prueba (cancela a la nmx-ff-062-1987) Declaratoria de vigencia publicada en Diario Oficial de la Federación. México, D.F, 09 de Agosto del 2002.
- Ojeda-Real L, R Cárdenas-Navarro, P Lobit, O Grageda-Cabrera, E Valencia-Cantero, L Macías-Rodríguez (2008) Efecto de la nutrición níttrica y sistemas de riego en el sabor de la fresa. *Rev. Chapingo S. Hort.* 14:61-70.
- Paraskevopoulou, P. G.; Vassilakakis, C. D. M. 1995. Effects of temperature, duration of cold storage and package on postharvest quality of strawberry fruit. *Acta Horticulturae* 379: 337–344.
- Pastor S J N (2000) Utilización de sustratos en viveros. *Terra* 17 (3):213–235.
- Patiño, D.; Garcia, F.; Barrera, E.; Quejada, O.; Rodriguez, H. y Arroyo, I. (2014). Manual técnico del cultivo de fresa bajo buenas prácticas agrícolas. Gobernación de Antioquia. Medellin, Colombia
- Perales, A., Perdigones, A., Garcia, J. L., Montero, J. I., & Antón, A. (2003). El control de la condensación en invernaderos. *Horticultura*, 168, 14-19.
- Pérez de Camacaro, M., Jiménez, A., Terán, Y. and Calderón, L. (2005). Physical and chemical quality of strawberry fruits from three years old cultivation at high altitude. *Acta Hortic.* 682, 763-766 DOI: 10.17660/ActaHortic.2005.682.100
- Pérez-Parra, J., Montero, J. I., Baeza, E., & Antón, A. (2001). Ventilación y refrigeración de invernaderos. López, JC; Lorenzo, P.; Castilla, N.; Pérez-Parra, J, 49-58.
- Perkins-Veazie, P. (2010). Growth and ripening of strawberry fruit. *Horticultural Reviews*, Volume 17, 267-297.
- Prenger, J. J., and P. P. Ling. 2001. Greenhouse condensation control: understanding and using vapor pressure deficit (VPD). Fact Sheet (Series) AEX-804-01. Ohio State University Extension, Columbus, OH.
- Pujos, P. y P. Morard. 1997. Effects of potassium deficiency on tomato growth and mineral nutrition at the early production stage. *Plant Soil* 189: 189-196.

- Resh, H.M. 1991. Hydroponic food production. 4th edition. Woodbridge Press Publishing Company. Santa Barbara, Ca, USA
- Román, L.F.; Gutiérrez, M.A. 1998. Evaluación de ácidos carboxílicos y nitrato de calcio para incrementar calidad, cantidad y vida en anaquel en tres tipos de melón. *Terra* 16(1): 49-54.
- Roudeillac, P. and K. Trajkovski. 2004. Breeding for fruit quality and nutrition in strawberries. *Acta Hort. (ISHS)* 649: 55-59
- Sachs, M. and Izsak, E. (1973). The effect of flower position in the inflorescence on subsequent fruit development and size in fresno and tioga strawberries. *Acta Hort.* 30, 107-114 DOI: 10.17660/ActaHortic.1973.30.11
- Sánchez-Alonso, F. y M. Lachica. 1987. Seasonal trends in the mineral content of sweet cherry leaves. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 18: 17-29
- Sanchez D. F. (2010). Fracasa 60% de invernaderos de hidroponía por falta de capacitación: UACH. 2000 Agro Revista Industrial del Campo. Recuperado: <http://www.2000agro.com.mx/hidroponia/fracasa-60-de-invernaderos-de-hidroponia-por-falta-de-capacitacion-uach/>
- Serrano, Z. 2002. Construcción de invernaderos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 499 pp.
- SIAP. 2016. Atlas Agroalimentario 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. México. 94-95.
- Skupień, K., & Oszmiański, J. (2004). Comparison of six cultivars of strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.) grown in northwest Poland. *European Food Research and Technology*, 219(1), 66-70.
- Solórzano, A. C., Martín, A., Salazar, S. M., Sandoval, J. S., & Kirschbaum, D. S. (2015). Correlación entre la medida del color del fruto y la concentración de sólidos solubles totales en frutilla o fresa (*Fragaria ananassa* Duch.). *Revista agronómica del noroeste argentino*, 35(1), 55-60.
- Soria, T., & Cuartero, J. (1993, November). Tomato fruit yield and water consumption with salty water irrigation. In *International Symposium on Water Quality & Quantity-Greenhouse* 458 (pp. 215-220).
- Stanghellini C. Van Meurs, W.T.M.; Simose, L. y Van Galen, J. 1998. Combined effect of climate and concentration of the nutrient solution on a greenhouse tomato crop. I Vegetative growth *Acta horticulturae* 458:231-238.
- Steiner, A.A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil.* 15: 134- 154

- Steiner, A.A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. pp. 43-53. In: Proceedings 3rd International Congress on Soils Culture. Wageningen, The Netherlands.
- Taylor, D. R. 2002. The physiology of flowering in strawberry. *Acta Hort.* 567: 245-251.
- Valencia-Botín, A. J., Bautista-Martínez, N., & López-Buenfil, J. A. (2004). Uso de extractos acuosos de nim, *Azadirachta indica* A. Juss, en la oviposición de la mosca mexicana de la fruta *Anastrepha ludens* Loew (Diptera: Tephritidae) en naranja Valencia. *Fitosanidad*, 8(4), 57-59.
- Valenzuela, J.L., M. Guzmán, A. Sánchez, A. del Río y L. Romero. 1993. Relationship between biochemical indicators and physiological parameters of nitrogen and physiological plant age. pp: 215-257. In: M.A.C. Fragoso y M.L. van Beusichem (eds.). *Optimization of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands.
- Verdier, M. M. (1987). Cultivo de fresón en climas templados. Caja Rural Provincial de Huelva.
- Villa, P., Castillo, J.E. 1993. El fresón de Huelva: Tecnología actual. *El Monte*. 147 pp.
- Ulrich, A., Mostafa, M. A. E., Allen, W. W., & Davis, P. A. (1980). Strawberry deficiency symptoms: a visual and plant analysis guide to fertilization (No. 13665). Berkeley, CA 94720: University of California, Division of Agricultural Sciences.
- Ünver I, Ataman Y, Çanga M R, Munsuz N (1989) Buffering capacities of some mineral and organic substrates. *Acta Horti*. 238:83– 97.
- USDA. 2006. United States Standards for Grades of Strawberries.
- Walker, R. R., Kriedemann, P. E., & Maggs, D. H. (1979). Growth, leaf physiology and fruit development in salt-stressed guavas. *Australian Journal of Agricultural Research*, 30(3), 477-488.
- Wang, S. Y., Zheng, W., & Galletta, G. J. (2002). Cultural system affects fruit quality and antioxidant capacity in strawberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(22), 6534-6542.

# IX. APENDICE



**Fertilidad de Suelos S. de R.L.**  
**"Análisis que rinden frutos"**



ANÁLISIS DE AGUA										
Información General										
No. de Registro: AG-4757					Municipio: Saltillo					
Fecha Recepción: 18/03/2014					Estado: Coahuila					
Fecha Entrega: 21/03/2014					Ubicación GPS Lat:			Long:		
Cliente: Jose Antonio Gonzalez Fuentes					Tipo Agua: Pozo					
Rancho: Uaaan					Cultivo (s):					
Características Generales de Salinidad /Sodicidad										
Determinación	Abrev.	Unidades	Resultados	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Cond Electrica	CE	dS/m	1.14	[Barra de nivel]						
pH			7.90	[Barra de nivel]						
Rel. Ads Sodio	RAS		1.56	[Barra de nivel]						
Cationes										
Determinación	Abrev.	Unidades	Resultados	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Calcio	Ca	me/l	5.64	[Barra de nivel]						
Magnesio	Mg	ppm	2.51	[Barra de nivel]						
Sodio	Na		3.15	[Barra de nivel]						
Potasio	K		0.11	[Barra de nivel]						
Suma de Cationes	-		11.41	[Barra de nivel]						
Aniones										
Sulfatos	SO4		3.11	[Barra de nivel]						
Bicarbonatos	HCO3		6.00	[Barra de nivel]						
Cloruros	Cl		1.94	[Barra de nivel]						
Carbonatos	CO3		0	[Barra de nivel]						
N-Nitratos	N-NO3		0.37	[Barra de nivel]						
Suma de Aniones	-		11.41	[Barra de nivel]						
Otros Parametros de Salinidad /Sodicidad										
Determinación	Abrev.	Unidades	Resultados	Muy Bajo	Bajo	Mod. Bajo	Mediano	Mod. Alto	Alto	Muy Alto
Salinidad Efectiva	SE	me/l	5.41	[Barra de nivel]						
% de Sodio Posible	PSP	%	58.2	[Barra de nivel]						
Carb.Sodio Res	C.S.R.	%	0	[Barra de nivel]						
Rel. Ads Sodio Aj	RASaj		2.42	[Barra de nivel]						
Determinaciones Especiales										
Boro	B	ppm	0.29	[Barra de nivel]						
Fierro	Fe	ppm	ND	[Barra de nivel]						
Manganeso	Mn	ppm	ND	[Barra de nivel]						

Figura A.1 Análisis del agua de riego de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"



**Cuadro B1.** DOP de acuerdo a Ellis *et al.* Ohio University (2006).

Concentracion	T1	DOP	Índice de desbalance nutricional	Concentracion	T2	DOP	Índice de desbalance nutricional
N(%)	2.41	20.500	363.21	N(%)	2.11	5.500	375.22
P(%)	0.25	6.667		P(%)	0.28	6.667	
K(%)	1.67	4.375		K(%)	1.81	3.125	
Ca(%)	0.89	27.143		Ca(%)	1.00	2.857	
Mg(%)	0.22	6.667		Mg(%)	0.23	3.500	
Fe (ppm)	105.00	75.000		Fe (ppm)	105.00	75.000	
Zn (ppm)	15.00	7.143		Zn (ppm)	20.00	2.857	
Cu (ppm)	1.00	5.714		Cu (ppm)	1.00	5.714	
Mn (ppm)	25.00	0.000	<b>Orden de Requerimiento</b>	Mn (ppm)	10.00	0.000	<b>Orden de Requerimiento</b>
			<b>Cu&gt;Zn&gt;Mn&gt;Mg&gt;P&gt;K&gt;N&gt;Ca&gt;Fe</b>				<b>Cu&gt;Mn&gt;Zn&gt;Mg&gt;P&gt;N&gt;K&gt;Ca&gt;Fe</b>

Concentracion	T3	DOP	Índice de desbalance nutricional	Concentracion	T4	DOP	Índice de desbalance nutricional
N(%)	3.42	71.000	394.15	N(%)	3.28	64.000	325.43
P(%)	0.36	20.000		P(%)	0.32	6.667	
K(%)	2.50	56.250		K(%)	1.85	15.625	
Ca(%)	1.19	70.000		Ca(%)	1.35	92.857	
Mg(%)	0.23	-23.333		Mg(%)	0.23	-23.667	
Fe (ppm)	105.00	75.000		Fe (ppm)	125.00	108.333	
Zn (ppm)	25.00	-28.571		Zn (ppm)	35.00	0.000	
Cu (ppm)	7.00	0.000		<b>Orden de Requerimiento</b>	Cu (ppm)	8.00	
Mn (ppm)	25.00	-50.000	<b>Mn&gt;Zn&gt;Mg&gt;Cu&gt;P&gt;K&gt;Ca&gt;N&gt;Fe</b>	Mn (ppm)	50.00	0.000	<b>Mg&gt;Zn&gt;Mn&gt;P&gt;K&gt;Cu&gt;N&gt;Ca&gt;Fe</b>

Concentracion	T5	DOP	Índice de desbalance nutricional	Concentracion	T6	DOP	Índice de desbalance nutricional
N(%)	4.79	139.500	673.58	N(%)	4.30	115.000	617.62
P(%)	0.44	46.667		P(%)	0.57	90.000	
K(%)	2.13	33.125		K(%)	2.40	50.000	
Ca(%)	1.59	127.143		Ca(%)	1.40	100.000	
Mg(%)	0.22	-26.667		Mg(%)	0.23	-23.333	
Fe (ppm)	110.00	83.333		Fe (ppm)	165.00	175.000	
Zn (ppm)	25.00	-28.571		Zn (ppm)	35.00	0.000	
Cu (ppm)	5.00	-28.571		<b>Orden de Requerimiento</b>	Cu (ppm)	6.00	
Mn (ppm)	130.00	160.000	<b>Zn&gt;Cu&gt;Mg&gt;K&gt;P&gt;Fe&gt;Ca&gt;N&gt;Mn</b>	Mn (ppm)	75.00	50.000	<b>Mg&gt;Cu&gt;Zn&gt;Mn&gt;K&gt;P&gt;Ca&gt;N&gt;Fe</b>

**Cuadro B2.** DOP de acuerdo a Campbell, Sothern Cooperative (2000)

Concentracion	T1	DOP	Índice de desbalance nutricional	Concentracion	T2	DOP	Índice de desbalance nutricional
N(%)	2.41	-31.143	376.37	N(%)	2.11	-39.714	350.14
P(%)	0.25	-16.667		P(%)	0.28	-6.667	
K(%)	1.67	-7.222		K(%)	1.81	0.556	
Ca(%)	0.89	-11.000		Ca(%)	1.00	0.000	
Mg(%)	0.22	-37.143		Mg(%)	0.23	-34.429	
Fe (ppm)	105.00	-40.000		Fe (ppm)	105.00	-40.000	
Zn (ppm)	15.00	-59.459		Zn (ppm)	20.00	-45.946	
Cu (ppm)	1.00	-88.889		Orden de Requerimiento	Cu (ppm)	1.00	
Mn (ppm)	25.00	-84.848	Cu>Mn>Zn>Fe>Mg>N>P>Ca>K	Mn (ppm)	10.00	-93.939	Mn>Cu>Zn>Fe>N>Mg>P>Ca>K

Concentracion	T3	DOP	Índice de desbalance nutricional	Concentracion	T4	DOP	Índice de desbalance nutricional
N(%)	3.42	-2.286	293.96	N(%)	3.28	-6.286	200.09
P(%)	0.36	20.000		P(%)	0.32	6.667	
K(%)	2.50	38.889		K(%)	1.85	2.778	
Ca(%)	1.19	19.000		Ca(%)	1.35	35.000	
Mg(%)	0.23	-34.286		Mg(%)	0.23	-34.571	
Fe (ppm)	105.00	-40.000		Fe (ppm)	125.00	-28.571	
Zn (ppm)	25.00	-32.432		Zn (ppm)	35.00	-5.405	
Cu (ppm)	7.00	-22.222		Orden de Requerimiento	Cu (ppm)	8.00	
Mn (ppm)	25.00	-84.848	Mn>Fe>Mg>Zn>Cu>N>Ca>P>K	Mn (ppm)	50.00	-69.697	Mn>Mg>Fe>Cu>N>Zn>K>P>Ca

Concentracion	T5	DOP	Índice de desbalance nutricional	Concentracion	T6	DOP	Índice de desbalance nutricional
N(%)	4.79	36.857	333.23	N(%)	4.30	22.857	319.47
P(%)	0.44	46.667		P(%)	0.57	90.000	
K(%)	2.13	18.333		K(%)	2.40	33.333	
Ca(%)	1.59	59.000		Ca(%)	1.40	40.000	
Mg(%)	0.22	-37.143		Mg(%)	0.23	-34.286	
Fe (ppm)	110.00	-37.143		Fe (ppm)	165.00	-5.714	
Zn (ppm)	25.00	-32.432		Zn (ppm)	35.00	-5.405	
Cu (ppm)	5.00	-44.444		Orden de Requerimiento	Cu (ppm)	6.00	
Mn (ppm)	130.00	-21.212	Cu>Mg>Fe>Zn>Mn>K>N>P>Ca	Mn (ppm)	75.00	-54.545	Mn>Mg>Cu>Fe>Zn>N>K>Ca>P

**Cuadro B3.** DOP de acuerdo a Benton Jones (1991)

Concentracion	T1	DOP	Índice de desbalance nutricional	Concentracion	T2	DOP	Índice de desbalance nutricional
N(%)	2.41	-3.600		485.55	N(%)	2.11	
P(%)	0.25	-59.677	P(%)		0.28	-54.839	
K(%)	1.67	-22.326	K(%)		1.81	-15.814	
Ca(%)	0.89	-49.143	Ca(%)		1.00	-42.857	
Mg(%)	0.22	-64.516	Mg(%)		0.23	-62.984	
Fe (ppm)	105.00	-16.000	Fe (ppm)		105.00	-16.000	
Zn (ppm)	15.00	-86.364	Zn (ppm)		20.00	-81.818	
Cu (ppm)	1.00	-96.429	<b>Orden de Requerimiento</b>		Cu (ppm)	1.00	-96.429
Mn (ppm)	25.00	-87.500	<b>Cu&gt;Mn&gt;Zn&gt;Mg&gt;P&gt;Ca&gt;K&gt;Fe&gt;N</b>	Mn (ppm)	10.00	-95.000	<b>Cu&gt;Mn&gt;Zn&gt;Mg&gt;P&gt;Ca&gt;Fe&gt;K&gt;N</b>

Concentracion	T3	DOP	Índice de desbalance nutricional	Concentracion	T4	DOP	Índice de desbalance nutricional
N(%)	3.42	36.800		445.69	N(%)	3.28	
P(%)	0.36	-41.935	P(%)		0.32	-48.387	
K(%)	2.50	16.279	K(%)		1.85	-15.953	
Ca(%)	1.19	-32.000	Ca(%)		1.35	-22.857	
Mg(%)	0.23	-62.903	Mg(%)		0.23	-63.065	
Fe (ppm)	105.00	-16.000	Fe (ppm)		125.00	0.000	
Zn (ppm)	25.00	-77.273	Zn (ppm)		35.00	-68.182	
Cu (ppm)	7.00	-75.000	<b>Orden de Requerimiento</b>		Cu (ppm)	8.00	-71.429
Mn (ppm)	25.00	-87.500	<b>Mn&gt;Zn&gt;Cu&gt;Mg&gt;P&gt;Ca&gt;Fe&gt;K&gt;N</b>	Mn (ppm)	50.00	-75.000	<b>Mn&gt;Zn&gt;Cu&gt;Mg&gt;P&gt;Ca&gt;K&gt;Fe&gt;N</b>

Concentracion	T5	DOP	Índice de desbalance nutricional	Concentracion	T6	DOP	Índice de desbalance nutricional
N(%)	4.79	91.600		401.64	N(%)	4.30	
P(%)	0.44	29.032	P(%)		0.57	18.065	
K(%)	2.13	-0.930	K(%)		2.40	11.628	
Ca(%)	1.59	-9.143	Ca(%)		1.40	-20.000	
Mg(%)	0.22	-64.516	Mg(%)		0.23	-62.903	
Fe (ppm)	110.00	12.000	Fe (ppm)		165.00	32.000	
Zn (ppm)	25.00	-77.273	Zn (ppm)		35.00	-68.182	
Cu (ppm)	5.00	-82.143	<b>Orden de Requerimiento</b>		Cu (ppm)	6.00	-78.571
Mn (ppm)	130.00	35.000	<b>Cu&gt;Zn&gt;Mg&gt;Mn&gt;P&gt;Fe&gt;Ca&gt;K&gt;N</b>	Mn (ppm)	75.00	62.500	<b>Cu&gt;Zn&gt;Mg&gt;Mn&gt;Ca&gt;P&gt;K&gt;Fe&gt;N</b>

**Cuadro B4. DOP de acuerdo a Cadahia (2005)**

Concentracion	T1	DOP	Índice de desbalance nutricional	Concentracion	T2	DOP	Índice de desbalance nutricional
N(%)	2.41	50.625	501.09	N(%)	2.11	31.875	459.09
P(%)	0.25	-16.667		P(%)	0.28	-6.667	
K(%)	1.67	-58.250		K(%)	1.81	-54.750	
Ca(%)	0.89	-56.585		Ca(%)	1.00	-51.220	
Mg(%)	0.22	-37.143		Mg(%)	0.23	-34.429	
Fe (ppm)	105.00	-61.818		Fe (ppm)	105.00	-61.818	
Zn (ppm)	15.00	-50.000		Zn (ppm)	20.00	-33.333	
Cu (ppm)	1.00	-95.000		Cu (ppm)	1.00	-95.000	
Mn (ppm)	25.00	-75.000	<b>Orden de Requerimiento</b> Cu>Mn>Fe>K>Ca>Zn>Mg>P>N	Mn (ppm)	10.00	-90.000	<b>Orden de Requerimiento</b> Cu>Mn>Fe>K>Ca>Mg>Zn>P>N

Concentracion	T3	DOP	Índice de desbalance nutricional	Concentracion	T4	DOP	Índice de desbalance nutricional
N(%)	3.42	113.750	465.97	N(%)	3.28	105.000	415.35
P(%)	0.36	20.000		P(%)	0.32	6.667	
K(%)	2.50	-37.500		K(%)	1.85	-53.750	
Ca(%)	1.19	-41.951		Ca(%)	1.35	-34.146	
Mg(%)	0.23	-34.286		Mg(%)	0.23	-34.571	
Fe (ppm)	105.00	-61.818		Fe (ppm)	125.00	-54.545	
Zn (ppm)	25.00	-16.667		Zn (ppm)	35.00	16.667	
Cu (ppm)	7.00	-65.000		<b>Orden de Requerimiento</b> Mn>Cu>Fe>Ca>K>Mg>Zn>P>N	Cu (ppm)	8.00	
Mn (ppm)	25.00	-75.000		Mn (ppm)	50.00	-50.000	

Concentracion	T5	DOP	Índice de desbalance nutricional	Concentracion	T6	DOP	Índice de desbalance nutricional
N(%)	4.79	199.375	534.04	N(%)	4.30	168.750	516.41
P(%)	0.44	46.667		P(%)	0.57	90.000	
K(%)	2.13	-46.750		K(%)	2.40	-40.000	
Ca(%)	1.59	-22.439		Ca(%)	1.40	-31.707	
Mg(%)	0.22	-37.143		Mg(%)	0.23	-34.286	
Fe (ppm)	110.00	-60.000		Fe (ppm)	165.00	-40.000	
Zn (ppm)	25.00	-16.667		Zn (ppm)	35.00	16.667	
Cu (ppm)	5.00	-75.000		<b>Orden de Requerimiento</b> Cu>Fe>K>Mg>Ca>Zn>Mn>P>N	Cu (ppm)	6.00	
Mn (ppm)	130.00	30.000		Mn (ppm)	75.00	-25.000	