



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE
LA AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGROPECUARIO**

**TEMA: NIVELES ÓPTIMOS DE CALCIO, FÓSFORO, Y SU
INTERACCIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL
CULTIVO DE FRUTILLA (*Fragaria vesca* L.) VARIEDAD
FESTIVAL**

**AUTOR: GÓMEZ SÁNCHEZ, VALERIA DAYANA
VALLEJO TIPÁN CARLA MARIUXI**

**DIRECTOR: ING. LANDÁZURI, PABLO
CODIRECTOR: ING. M.Sc. SORIA, NORMAN**

SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICADO

Ing. Pablo Landázuri

Ing. Norman Soria

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado NIVELES ÓPTIMOS DE CALCIO, FÓSFORO, Y SU INTERACCIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL CULTIVO DE FRUTILLA (*Fragaria vesca* L.) VARIEDAD FESTIVAL, realizado por las señoritas Gómez Sánchez Valeria Dayana y Vallejo Tipán Carla Mariuxi, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Debido al interés de su contenido recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto, el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizamos a Gómez Sánchez Valeria Dayana y Vallejo Tipán Carla Mariuxi que lo entregue a la Ing. Martha Vargas, en su calidad de Directora de Carrera.

Sangolquí, Mayo del 2015

**Ing. Pablo Landázuri**

DIRECTOR

**Ing. Norman Soria**

CODIRECTOR

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, GÓMEZ SÁNCHEZ VALERIA DAYANA

VALLEJO TIPÁN CARLA MARIUXI

Declaramos que:

El proyecto de grado denominado, NIVELES ÓPTIMOS DE CALCIO, FÓSFORO, Y SU INTERACCIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL CULTIVO DE FRUTILLA (*Fragaria vesca* L.) VARIEDAD FESTIVAL, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Mayo del 2015.



Gómez Sánchez Valeria Dayana



Vallejo Tipán Carla Mariuxi

AUTORIZACIÓN

Nosotras, GÓMEZ SÁNCHEZ VALERIA DAYANA

VALLEJO TIPÁN CARLA MARIUXI.

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo NIVELES ÓPTIMOS DE CALCIO, FÓSFORO, Y SU INTERACCIÓN EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DEL CULTIVO DE FRUTILLA (*Fragaria vesca* L.) VARIEDAD FESTIVAL, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Mayo del 2015



Gómez Sánchez Valeria Dayana



Vallejo Tipán Carla Mariuxi

DEDICATORIA

A mis padres, Germán Gómez y Mercy Sánchez, por su lucha constante para que la culminación de mi carrera sea posible, por su paciencia, apoyo, consejos, por los valores y principios inculcados, por su amor incondicional, y por el esfuerzo que realizan día a día para que nuestra familia salga adelante, a ellos que son el pilar que alienta mi crecimiento como persona y profesional.

A mis hermanos René y Andrés, por ser un gran ejemplo en mi vida, mis mejores amigos, por siempre brindarme su apoyo, cariño y amor incondicional.

A mi cuñada Katy y a mi sobrina Romy por brindarme su apoyo absoluto, por estar siempre a mi lado en las buenas y en las malas.

A mi mejor amiga Carlita Vallejo por todos estos años de sincera amistad, a quien con su paciencia, cariño, ánimo, trabajo duro y sobretodo su alegría que me alentaba en los momentos difíciles durante todo el proceso de investigación.

¡Gracias por todo!

Valeria Dayana.

DEDICATORIA

A mis padres, Carlos Vallejo y Verónica Tipán, por haberme enseñado que la lucha diaria y la perseverancia me llevarán a conseguir todo lo que me he propuesto, por su amor incondicional y hacer de mí una persona, hija y madre responsable.

A mi hija Ariana, por ser mi fuerza para salir a delante ya que con una simple sonrisa cambiaba mi día y si ese día no era bueno simplemente con tres palabras lo arreglaba, “MAMÁ TE AMO”.

A mis hermanos, Leslie y José, ya que a pesar de los malos momentos hemos sabido ser unidos y responsables, por apoyarme y darme su mano cuando más lo he necesitado.

A mi novio, Daniel, por ser mi mayor apoyo y saber comprender las situaciones y las dificultades de mis obligaciones como estudiante.

A mis abuelitos, tíos y primos, por siempre encontrar una palabra de aliento que no permitiera que me derrumbe en mis peores momentos.

A mi mejor amiga, Valeria Gómez, ya que juntas con responsabilidad y dedicación supimos llevar de la mejor manera la elaboración de este proyecto.

Carla Mariuxi.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme día a día la sabiduría y la fuerza necesaria para guiar mi camino y seguir adelante para la finalización de este proyecto.

A mi familia por su apoyo infaltable e incondicional.

A los Ingenieros Pablo Landázuri y Norman Soria, mi más sincero agradecimiento, que con su confianza, paciencia, dedicación, sugerencias en los momentos adecuados, se pudo llevar a cabo el desarrollo y culminación de este proyecto. Muchísimas gracias.

Al Ingeniero Jaime Villacís y Santiago Ulloa por su cooperación en el desarrollo de la parte estadística del estudio.

Al Licenciado Marco Taco por la facilidad y apertura de las instalaciones y equipos de laboratorio de todo corazón muchas gracias.

Valeria Dayana.

AGRADECIMIENTO

A Dios primeramente, por darme la salud y vida para día a día cumplir todo lo que me he propuesto, hasta la culminación de mi carrera, por haberme enviado al ser más valioso que hoy puedo tener mi hija.

A los Ingenieros Pablo Landázuri y Norman Soria, ya que gracias a sus conocimientos y asesorías han logrado guiarnos para realizar juntos una investigación digna de nuestra carrera, gracias por su tiempo, dedicación y por haber formado parte de este logro.

Al Ing. Jaime Gía por compartir sus conocimientos y de igual manera aportar positivamente para realizar con éxito la culminación de este proyecto

Al Licenciado Marco Taco por la apertura a las instalaciones y la facilidad de la obtención de materiales del laboratorio.

Carla Mariuxi

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ix
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 General	2
1.1.2 Específicos	2
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Generalidades	3
2.1.1 Origen e Historia	3
2.1.2 Taxonomía.....	3
2.1.3 Características Botánicas.....	3
2.2 Variedades de Frutilla	5
2.2.1 Variedades de día corto	5
2.2.2 Variedades de día neutro	6
2.2.3 Principales variedades cultivadas.....	6
2.3 Función de los elementos en la planta.....	6
2.3.1 Función del Calcio	6

2.3.2	Función del Fósforo	8
2.4	Interacción entre los elementos nutricionales	9
2.4.1	Ley del mínimo	10
2.4.2	Interacciones y ley del máximo.....	11
2.5	Hidroponía.....	11
2.5.1	Sistemas utilizados en Hidroponía	11
2.6	Semi – Hidroponía	13
2.7	El sustrato	13
2.7.1	Características de los sustratos	13
2.7.2	Tipos de Sustratos	15
2.8	Solución Nutritiva	16
CAPÍTULO III		
MATERIALES Y MÉTODOS		
18		
3.1	Ubicación del lugar de investigación	18
3.1.1	Ubicación política de la hacienda “El Prado”	18
3.1.2	Ubicación geográfica de la hacienda “El Prado”	18
3.1.3	Ubicación ecológica de la hacienda “El Prado”	18
3.1.4	Condiciones de laboratorio	18
3.2	Materiales.....	19
3.2.1	Campo	19
3.2.2	Laboratorio.....	19
3.3	Métodos.....	19
3.3.1	Toma de Muestras foliares para análisis de P y Ca.....	19
3.3.2	Análisis de fósforo foliar.....	19
3.3.3	Análisis de calcio foliar.....	20
3.3.4	Determinación de clorofila.....	21

3.3.5	Diseño Experimental.....	22
3.3.6	Variables evaluadas.....	27
3.3.6.1	Variables en la planta y el fruto	27

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		30
4.1.	Fósforo	30
4.2.	Calcio	37
4.3.	Relación Ca y P.....	50

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		59
5.1.	Conclusiones	59
5.2.	Recomendaciones.....	60
5.3.	Bibliografía	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Influencia de la concentración de fósforo en las características de crecimiento de la planta de frutilla var. Festival	30
Cuadro 2	Influencia de la concentración de fósforo en las características de crecimiento de la planta de frutilla var. Festival con evaluación semanal.	32
Cuadro 3	Peso fresco y seco de las hojas de la planta de frutilla var. Festival con diferentes niveles de fósforo	33
Cuadro 4	Evaluación de clorofila en las hojas de la planta de frutilla var. Festival mediante un clorómetro (ICC) con diferentes niveles de fósforo	33
Cuadro 5	Evaluación del contenido de clorofila con diferentes concentraciones de fósforo mediante un espectofotómetro en la hoja de la planta de frutilla var. Festival	34
Cuadro 6	Evaluación del contenido de fósforo en la hoja de la planta de frutilla var. Festival	36
Cuadro 7	Evaluación de la concentración de fósforo mediante un fluorómetro en la hoja de la planta de frutilla var. Festival	36
Cuadro 8	Influencia de la concentración de calcio en las características de crecimiento de la planta de frutilla var. Festival	37
Cuadro 9	Influencia de la concentración de calcio en las características de crecimiento de la planta de frutilla var. Festival con evaluación semanal	43
Cuadro 10	Peso fresco y seco de las hojas de la planta de frutilla var. Festival con diferentes niveles de calcio	44
Cuadro 11	Evaluación de clorofila en las hojas de la planta de frutilla var. Festival mediante un clorómetro (ICC) con diferentes niveles de calcio	45
Cuadro 12	Evaluación del contenido de clorofila con diferentes concentraciones de calcio mediante un espectofotómetro en la hoja de la planta de frutilla var. Festival	46
Cuadro 13	Evaluación del contenido de calcio mediante un proceso de titulación ..	48

Cuadro 14	Evaluación de la concentración de calcio mediante un fluorómetro en la hoja de la planta de frutilla var. Festival	49
Cuadro 15	Influencia de la interacción de la concentración de fósforo y calcio en las características de crecimiento de la planta de frutilla var. Festival ...	51
Cuadro 16	Influencia de la interacción de la concentración de fósforo y calcio en las características de crecimiento de la planta de frutilla var. Festival con evaluación semanal	53
Cuadro 17	Peso seco y fresco en la relación P – Ca en la planta de frutilla var. Festival	54
Cuadro 18	Evaluación del contenido de calcio en la relación P – Ca mediante un proceso de titulación	55
Cuadro 19	Evaluación del contenido de fósforo en la relación P-Ca	56
Cuadro 20	Evaluación de la concentración de la relación fósforo y calcio mediante un fluorómetro en la planta de frutilla var. Festival	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Regresión lineal de la variable altura con diferentes niveles de fósforo en frutilla var. Festival.....	31
Figura 2	Análisis de Clorofila a, b y total mediante un espectofotómetro en la planta de frutilla var. Festival.....	35
Figura 3	Regresión cuadrática de la variable altura en la planta de frutilla con diferentes niveles de calcio	38
Figura 4	Regresión lineal de la variable diámetro de la corona en la planta de frutilla con diferentes niveles de calcio	39
Figura 5	Regresión lineal de la variable número de frutos en la planta de frutilla con diferentes niveles de calcio.....	40
Figura 6	Regresión lineal de la variable número de hojas con diferentes niveles de calcio	41
Figura 7	Análisis de peso fresco y seco de la planta de frutilla var. Festival	45
Figura 8	Análisis de índice de contenido de clorofila mediante un clorómetro en las hojas de la planta de frutilla var. Festival	46
Figura 9	Contenido de clorofila con diferentes niveles de calcio mediante un espectofotómetro en las hojas de la planta de frutilla var. Festival.....	47
Figura 10	Contenido de fluorescencia en la hoja de la planta de frutilla var. Festival mediante un fluorómetro	50
Figura 11	Regresión lineal de la variable altura en la relación P - Ca en la planta de frutilla var. Festival	52
Figura 12	Regresión cuadrática de la variable diámetro de la corona en la relación P - Ca en la planta de frutilla var. Festival.....	52
Figura 13	Regresión cuadrática de la variable número de frutos en la relación P - Ca en la planta de frutilla var. Festival.....	53
Figura 14	Análisis de peso fresco y seco de la planta de frutilla var. Festival en la relación P - Ca.....	55
Figura 15	Contenido de fósforo con diferentes niveles de P - Ca en la hoja de la planta de frutilla var. Festival.....	57

Figura 16 Contenido de fósforo con diferentes niveles de P - Ca mediante un fluorómetro en la hoja de la planta de frutilla var. Festival	58
---	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Altura de la planta de frutilla var. Festival con niveles de fósforo	31
Gráfico 2	Altura de la planta de frutilla var. Festival con niveles de calcio	38
Gráfico 3	Diámetro de la corona de la planta de frutilla var. Festival con niveles de calcio	39
Gráfico 4	Número de frutos de la planta de frutilla var. Festival con niveles de calcio	40
Gráfico 5	Número de hojas de la planta de frutilla var. Festival con niveles de calcio	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tratamientos evaluados de los niveles de calcio	22
Tabla 2	Esquema del análisis de varianza de niveles de calcio en la planta de frutilla.....	23
Tabla 3	Tratamientos evaluados de los niveles de fósforo	24
Tabla 4	Tratamientos evaluados de la relación fósforo – calcio.....	25
Tabla 5	Esquema del análisis de varianza de la relación en la planta de frutilla	26

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Laboratorio de Química de la Carrera de Ciencias Agropecuarias IASA I, con el fin de determinar los niveles óptimos de fósforo, calcio y su interacción en el cultivo de frutilla. El cultivo de frutilla ha sufrido impactos en su comportamiento agronómico debido a los cambios climáticos y la inadecuada aplicación de fertilizantes. Las plantas de frutilla variedad Festival fueron cultivadas en sustrato inerte (pomina) para evaluar los efectos de cuatro diferentes concentraciones de P (0.5; 1.0; 2.0; 2.5 meq.L⁻¹), Ca (2.5; 5.0; 7.5; 10.0 meq.L⁻¹) y su interacción. Se evaluaron las siguientes variables: altura de la planta, diámetro de la corona, número de flores, número de hojas, número de frutos, número de brotes por planta, peso fresco, peso seco, fluorescencia y clorofila en las hojas. Donde se utilizó diferentes técnicas de análisis, para Ca se analizó por titulación y para P por la técnica del nitro-vanadomolibdato. El mejor tratamiento fue al aplicar 0,5 meq.L⁻¹ de P , en Ca fue 2,5 meq.L⁻¹ y en la relación P-Ca con 0,5 meq.L⁻¹ P y 2,5 meq.L⁻¹ Ca, se obtuvieron los mejores valores para altura, diámetro de la corona, número de flores, hojas y frutos en la planta de frutilla. El nivel de fósforo 0,5 meq.L⁻¹ y Ca 2,5 meq.L⁻¹ mostraron un alto porcentaje de clorofila 35.06% y 33,80% respectivamente. La relación P-Ca de 0,5 y 2,5 meq.L⁻¹ fueron las más adecuadas para el contenido de clorofila, peso seco, fresco y fluorescencia.

PALABRAS CLAVES:

- **CALCIO**
- **CLOROFILA**
- **FÓSFORO**
- **FRUTILLA**
- **POMINA**

ABSTRACT

This research took place at the Chemistry Laboratory of the Sciences Agricultural School of IASA I, in order to determine the optimal levels of phosphorus, calcium and their interaction in the cultivation of strawberries. The strawberry crop has been impacted in its agronomic behavior due to climate change and inadequate use of fertilizers. The strawberry plans, belonging to “Festival” variety, were grown in inert substrate (pomina) to evaluate the effects of Four Different Concentrations of P (0.5, 1.0, 2.0, 2.5 mEq.L⁻¹), Ca (2.5, 5.0, 7.5, 10.0 meq L⁻¹) and their interaction. The following variables were evaluated: plant height, crown diameter, number of flowers, number of leaves, number of fruits, number of shoots per plant, fresh weight, dry weight, and chlorophyll fluorescence in leaves; where different analysis techniques were used; Ca was analyzed by titration and P by the technique of nitro-vanadomolybdate. The best treatment was to apply 0,5 meq.L⁻¹ and in Ca was 2.5 meq.L⁻¹ and P-Ca relation with 0,5 meq.L⁻¹ P and 2,5 meq.L⁻¹ Ca. The best values about height, crown diameter, number of flowers, leaves and fruit in strawberry plant were obtained. The phosphorus level 0,5 meq.L⁻¹ and Ca 2,5 meq.L⁻¹ showed a high chlorophyll percentage of 35.06% and 33.80% respectively. The P-Ca relation of 0.5 and 2.5 meq.L⁻¹ was the most appropriate for the chlorophyll content, dry and fresh weight, and fluorescence.

KEYWORDS:

- **CALCIUM**
- **CHLOROPHYLL**
- **PHOSPHORUS**
- **STRAWBERRY**
- **POMINA**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La fresa es uno de los productos con creciente posibilidad de expansión referente al consumo, su importancia a nivel mundial ha hecho que se extienda a casi toda Europa y América: Estados Unidos, Canadá, México, Guatemala, Costa Rica, Colombia, Ecuador, Chile y Argentina (Fernández, 2005).

La semi-hidroponía, es una de las principales técnicas de cultivo en fresa. Este sistema, combina los métodos de cultivo en suelo y lo mejor de la hidroponía, este permite a las plantas tener acceso a todos los nutrientes del suelo, acompañado con una nutri-irrigación (Resh, 2001). En el Ecuador uno de los sustratos más utilizados es la pomina que posee muy buena retención de humedad y buenas condiciones físicas de estabilidad y durabilidad, siendo de origen volcánico y encontrándose disponible en zonas volcánicas (Calderon, 2011).

Desarrollar nuevas alternativas de manejo de cultivos es algo necesario e imperante por falta de tierras fértiles. Esto hace que se genere técnicas para producir en espacios pequeños grandes poblaciones de plantas. Estos métodos alternativos incluyen uso de invernaderos con sistemas de semi-hidroponía y métodos inteligentes que permiten manejar una agricultura de precisión. Todo esto está revolucionando el mundo en producciones hortofrutícolas. Estas nuevas técnicas ameritan un adecuado establecimiento de cultivos en medios de sustratos tanto orgánicos como inertes así como de equilibrios nutricionales a través de soluciones nutritivas que compensen las necesidades de los cultivos (Ramírez, 2011).

El cultivo de frutilla así como otros han sufrido grandes impactos en su comportamiento agronómico debido a los cambios climáticos; la inadecuada aplicación de elementos esenciales como Ca y P en el cultivo de fresa (*Fragaria vesca* L.) determina la mala calidad de los frutos y la baja productividad causando pérdidas económicas importantes, en la presente investigación realizada en la Hda. El Prado IASA I se determinó los niveles óptimos de fósforo, calcio y las relaciones que

existen entre estos elementos en el cultivo de frutilla mediante una técnica semi-hidropónica.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Determinar los niveles óptimos de Ca, P, y su interacción en la producción y calidad del cultivo de frutilla, variedad festival

1.1.2 Específicos

- Evaluar diferentes niveles de Ca en el cultivo de frutilla en un sistema semi-hidropónico para determinar el nivel óptimo de aplicación sobre la producción y calidad del fruto.
- Evaluar diferentes niveles de P en el cultivo de frutilla en un sistema semi-hidropónico para determinar el nivel óptimo de aplicación sobre la producción y calidad del fruto.
- Evaluar las interacciones de los niveles de Ca y P para determinar los problemas de correlación en la producción y calidad del fruto.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades

2.1.1 Origen e Historia

La fresa es de origen europeo, dicha fruta era muy apreciada por su sabor intenso, fragancia y tamaño. En el siglo XVIII en Sudamérica, en Chile específicamente, se descubre una especie de fresón o frutilla con el nombre genérico de fresa. En la actualidad, su cultivo se encuentra extendido por muchos países, siendo España uno de los primeros productores mundiales (Sholto, 1982).

2.1.2 Taxonomía

La frutilla pertenece a la familia *Rosaceae*, subfamilia *Rosoideas*, tribu *Potentilleae*, género *fragaria*. En la familia *Rosaceae* se reportan más de 2000 especies, entre herbáceas, arbustos, y árboles (Urrutia, 1986).

2.1.3 Características Botánicas

Raíces

Son de aspecto fibroso, se originan en la corona, se dividen en primarias que son más gruesas y dan soporte, son de color café oscuro y nacen en la base de las hojas; y las secundarias que son raicillas alimenticias, más delgadas y de color marfil (INCONTEC, 1997).

Una planta de frutilla tiene de 20 a 35 raíces primarias, pero puede llegar a desarrollar más de 100. Las raíces primarias son penetradoras del suelo, las raíces secundarias exploran el suelo para adherirse y alimentar la planta. El cilindro vascular central es usado como indicador de la salinidad de la raíz y la planta por su color y estado (Urrutia, 1986).

Tallo

La frutilla tiene un tallo de tamaño reducido denominado corona, lleva las yemas tanto vegetativas como florales y de ellas nacen: las hojas, estolones o guías, y las inflorescencias. El tallo tiene una forma de roseta comprimida de 1 a 3 cm de largo y está cubierta en la parte externa por hojas basales superpuestas llamadas estípulas (Gonzales, 2010).

Hojas

Las hojas se hallan insertas en peciolo de longitud variable, son pinadas o palmadas, subdivididas en tres folíolos, pero es común que en algunas variedades hayan 4 o 5 (Sagñay, 2009). Poseen estípulas en su base y su grosor varía según la variedad. Son de color verde más o menos intenso, presentándose coloraciones rojizas en las especies invernales (Hernández, 2006).

Flores

La frutilla tiene flores blancas o rosadas de tipo “cima bipara”, poseen raquis altos o basales. Según la variedad pueden ser perfectas (hermafroditas), típicas de las variedades actuales, o femeninas (pistiladas) y masculinas (estaminadas) (Barahona & Sancho, 2007).

La inflorescencia se puede 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 (Folquer, 1986). La flor tiene entre cinco y seis pétalos, de veinte a treinta y cinco estambres y varios cientos de pistilos sobre un receptáculo carnoso. Cada óvulo fecundado da lugar a un fruto de 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 (Alsina, 1970).

Fruto

Es una infrutescencia cuya parte carnosa corresponde al receptáculo y los verdaderos frutos son las semillas que lo recubren que se llaman aquenios. Son éstos los que producen las hormonas que estimulan el engrosamiento del receptáculo floral. Por problemas de fecundación se pueden producir deformaciones en el fruto al no desarrollarse todos los aquenios. En una misma inflorescencia se pueden encontrar frutos primarios, secundarios, y terciarios. El tamaño del fruto y el número de aquenios varía según el orden de aparición de los frutos (Barahona & Barrantes, 1992). El período comprendido entre polinización y madurez del fruto puede ser de 20 a 50 d. Los grandes frutos primarios que maduran en la primavera, lo hacen con bajas temperaturas y cuando hay menos polen disponible, por lo que son irregulares en forma y maduran en 30 d. La mayor parte de las frutillas que son cosechadas con mayores temperaturas abren sus flores cuando hay abundante polen, son algo más pequeñas pero más regulares en forma y maduran en 20 a 23 d (Urrutia, 1986).

2.2 Variedades de Frutilla

En el mundo existen más de 1000 variedades de fresa; en el Ecuador las variedades que más se siembran son Oso grande, Chandler, Festival entre otras a menor escala (Montes, 1980).

Las variedades de frutilla se pueden clasificar en variedades de día corto y neutro las cuales se describen a continuación

2.2.1 Variedades de día corto

Su inducción floral ocurre cuando los días comienzan a acortarse y las temperaturas medias son moderadas (entre verano y otoño). Pasan el invierno en reposo y producen en primavera. Algunas de las variedades más conocidas son: Pájaro, Chandler, Douglas, Oso Grande, Camarosa (Cruz & Hernández, 2000).

2.2.2 Variedades de día neutro

Su inducción floral ocurre independiente del fotoperiodo (horas luz), las yemas son inducidas en forma permanente. Solo las altas o las bajas temperaturas afectan el fenómeno inductivo. La producción no se concentra en primavera, sino que se prolonga desde la primavera hasta el otoño. Algunas de las variedades más conocidas son: Selva, Brighton, y Sweet Charly (Cruz & Hernández, 2000).

2.2.3 Principales variedades cultivadas

Festival

Es la variedad más sembrada en México. Se estima que se está utilizando en el 60% de las plantaciones de este país. Produce fruta abundante y de excelente calidad, tanto para consumo en fresco como para la industria. Es una planta vigorosa de día o fotoperiodo corto, productora en invierno con producción temprana, consistente y uniforme, es gran productora de estolones y presenta buen rendimiento. Produce frutilla brillante y roja de forma cónica, de textura firme con excelente sabor. El fruto mantiene un tamaño mediano a grande a lo largo de la producción. Es susceptible a antracnosis de fruto (*Colletotrichu maculatum*), pudrición de corona (*Colletotrichum gloeosporodies*), y bacterias (Cruz & Hernández, 2000).

Oso grande

Esta variedad es de color rojo anaranjado, tamaño grueso y de buen sabor, la planta es vigorosa y de follaje oscuro. Su inconveniente es la tendencia a la rajadura del fruto. Tiene buena resistencia al transporte y es apta para el mercado en fresco. En zonas templadas, el trasplante se realiza durante el verano. Para la producción del año siguiente se aconseja una densidad de plantación de 6 a 7 plantas/m² (Cruz & Hernández, 2000).

2.3 Función de los elementos en la planta

2.3.1 Función del Calcio

El Ca se encuentra en diversas formas, ya sea como carbonatos, sulfatos, cloruros, fosfatos, y compuestos orgánicos esenciales para los cultivos. El Ca se

absorbe como Ca^{2+} . La mayoría de suelos contienen suficiente Ca para permitir un crecimiento vegetal. Su papel principal es estructural porque constituye, como pectatos de Ca en las láminas medias, la parte cementante de las paredes celulares. Interviene en la formación de membranas celulares y de estructuras lipídicas y en el transporte de glúcidos. Se utiliza en pequeñas cantidades para la mitosis en las zonas meristemáticas, pues confiere estabilidad al aparato estructural durante la división celular. Actúa como activador de enzimas y se relaciona con la nodulación y la fijación de N (Sallbury & Cleon, 1994). Una de las principales funciones del Ca en la planta es la de actuar, formando parte de la estructura de la protopectina, como agente cementante para mantener las células unidas (Navarro & Navarro, 2000).

La mayor parte del Ca en las plantas se encuentra en las vacuolas centrales y unidas en las paredes celulares a polisacáridos llamados pectatos. En las vacuolas el Ca puede precipitarse en forma de cristales insolubles de oxalatos y en algunas especies como carbonato, fosfatos, o sulfatos insolubles (Sallbury & Cleon, 1994). La carencia de este elemento en la frutilla se manifiesta mediante el engrosamiento del peciolo y del foliolo, con un cortamiento de los estolones, reducción de los tallos y raíces, hasta atrofiarse en sus extremidades llegando incluso a la muerte de la planta (Alsina, 1970).

La deficiencia de Ca en las plantas por lo general se manifiesta desde la germinación, provocando clorosis y deteniendo el desarrollo radicular, dando origen a raíces cortas, gruesas con una coloración parda. Las hojas se quebrantan mostrando necrosis en los bordes. Los síntomas son más visibles en las hojas jóvenes. Los síntomas de toxicidad no son visibles y esto puede estar asociado con el exceso de carbonato cálcico, el cual puede provocar deficiencia de K dada por una insuficiente absorción de éste, debido al antagonismo Ca-K, se induce a una clorosis férrica y produce inmovilización del Zn, Cu y P, provocando deficiencia de estos elementos (Navarro & Navarro, 2000).

2.3.2 Función del Fósforo

Es otro de los elementos base es imprescindible de todo vegetal, en especial en la frutilla, ya que es muy necesario para el crecimiento y desarrollo de la planta (Graeta, 1998). El P puede fijarse fácilmente al suelo, y es muy difícil que sea lavado por las aguas de lluvia o de riego, como ocurre con el N (Montes, 1980).

El P se absorbe sobre todo como anión monovalente fosfato (H_2PO_4^-) y con menor rapidez como anión divalente fosfato (HPO_4^{2-}). El pH del suelo controla la abundancia relativa de estas dos formas; el H_2PO_4^- , es favorecido por un pH de 6 y el HPO_4^{2-} es favorecido por un $\text{pH} \geq 7$. Gran parte del fosfato se convierte en formas orgánicas cuando entra en la raíz, o después de que es transportado por el xilema hasta el tallo y luego a las hojas. En contraste con lo que ocurre con el N y el S, el P nunca es reducido en las plantas y permanece como fosfato, ya sea libre o unido a formas orgánicas como ésteres (Sallbury & Cleon, 1994).

El P forma las moléculas transportadoras de energía como el ATP, ADP, AMP y Pirofosfato (PPI), por tanto, participa en todos los procesos metabólicos que involucra energía. Estructuralmente constituye parte de los fosfolípidos de las membranas celulares, de los ácidos nucleicos, de la mayoría de las enzimas y coenzimas NAD y NADP, de los nucleótidos RNA y DNA, por lo que participa en la fotosíntesis, la glicólisis, la respiración, la síntesis de ácidos grasos y en la síntesis de proteínas, en especial nucleoproteínas en los tejidos meristemáticos. El ácido fítico (hexafosfato de inositol), almacenada en las semillas es la principal fuente de P inorgánico durante la germinación (Luzuriaga, 1997).

Los síntomas de las deficiencias de fósforo se deben al desarrollo anormal del vegetal, mostrándose en la parte aérea y en el sistema radicular, el fósforo es un elemento básico en casi todos los procesos de crecimiento y síntesis de sus compuestos constituyentes. La deficiencia de fósforo se muestra en las hojas, se hacen más delgadas, erectas, de menor tamaño que las normales y con las nerviaciones menos pronunciadas. Las alteraciones por exceso de fósforo se pueden observar en cultivos que se encuentran en un medio líquido. En ciertos suelos

enriquecidos fuertemente por aportaciones masivas y repetidas de fertilizantes fosforados solubles, son frecuentes, clorosis férricas por la insolubilización que sufre el hierro ante dichos excesos (Navarro & Navarro, 2000).

2.4 Interacción entre los elementos nutricionales

Las interacciones entre los elementos nutricionales, y los factores de crecimiento, se los puede clasificar en:

Sinergismo

La adición de un elemento o factor puede hacer a otro más eficiente. Por ejemplo, si se adiciona N a un cultivo, se produce más materia seca por agua transpirada, esto puede ser debido a la influencia que el N tiene sobre el crecimiento de las raíces o sobre la formación de más área foliar (Luzuriaga, 1997).

Un sinergismo consiste en que el aumento en la concentración de un elemento favorece la absorción de otro. Ejemplo N/Mg, P/Mg. Puede darse el caso de existir sinergismo negativo, donde la carencia de un determinado elemento propicia la deficiencia de otro, como el caso B/Ca. En muchas ocasiones dos elementos pueden comportarse como sinérgicos o antagónicos en función de sus proporciones relativas, de esta forma si guardan un correcto equilibrio se muestran como sinérgicos (León, Viteri, & Mejía, 2004)

Antagonismo

La adición de un elemento o factor tiene un efecto directo, supresor o antagónico, sobre otro elemento. Por ejemplo, si se añade mucho K en un cultivo de frutales como duraznos y manzanas, se inhibe la absorción del Zn produciendo deficiencias de este elemento (Luzuriaga, 1997).

El calcio desarrolla una actividad antagonista con el potasio favoreciendo la reducción de volumen del plasma, incrementando la traspiración y reduciendo la absorción de agua. Elevadas cantidades de este elemento son requeridas por la planta durante la formación de polen (León, Viteri, & Mejía, 2004)

El antagonismo consiste en que el aumento por encima de cierto nivel de la concentración de un elemento reduce la absorción de otro. Ejemplos: Na/Ca, K/Mg, Ca/Mg y K, Ca/Fe, Mn, Zn y B, Fe/Mn, N/K. Quizá el elemento más preocupante en suelos calizos sea el Ca. También un exceso de abonado nitrogenado impide una correcta asimilación del K (León, Viteri, & Mejía, 2004)

Reacciones en cadena

Cuando la adición de un elemento ocasiona que se produzcan reacciones en secuencia, se dice que este elemento tiene una reacción en cadena. Por ejemplo, una mayor aplicación de N ocasiona un mayor crecimiento vegetativo, lo cual produce una mayor sombra en el ambiente, de tal forma que disminuye la temperatura del suelo y por consiguiente se reduce la pérdida de humedad del suelo (Luzuriaga, 1997).

2.4.1 Ley del mínimo

Se han usado dos diferentes leyes del mínimo para describir como los factores limitantes se relacionan con la producción de cultivos. La ley del mínimo de Liebig indica que el rendimiento de los cultivos está regulado por el factor más limitante y que el rendimiento se puede incrementar con la corrección de este factor limitante. Por otro lado, la ley del mínimo de Mitscherlich indica que el rendimiento está influenciado por todos los factores limitantes de forma simultánea. La influencia de cada uno de los factores limitantes es proporcional a su grado de limitación. Con esta ley, el rendimiento obtenido en un conjunto dado de condiciones, resulta de la suma integrada de todos los factores limitantes remanentes. Es posible explicar con modelos matemáticos el grado de cada limitación con datos obtenidos en experimentos de laboratorio y campo. Con estos datos se puede calcular los rendimientos esperados a medida que se corrigen los factores limitantes (Wallase, 1993).

2.4.2 Interacciones y ley del máximo

En las condiciones actuales de producción en lugar de leyes del mínimo, se debe hablar de una ley del máximo. La ley del máximo no puede operar si existen factores limitantes del tipo Liebig. Esta ley tiene dos características: 1) el efecto de una medida correcta se incrementa a medida que otros factores limitantes son corregidos. El resultado final es más grande que la suma de los efectos individuales por la forma en la cual ellos interaccionan. La interacción multiplica los efectos de cada uno. 2) los rendimientos pueden ser los más altos o máximos cuando no existen o permanecen factores limitantes. Mientras menos factores limitantes existan mayor será el rendimiento del cultivo (Wallase, 1993).

2.5 Hidroponía

La hidroponía es parte de los sistemas de producción de cultivos sin suelo. En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta es una sustancia o material de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes, es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas (Gilsanz, 2007). La hidroponía es un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua y en lugar de suelo se utiliza como sustrato un material inerte y estéril, o solo la solución nutritiva (González N. , 2006).

2.5.1 Sistemas utilizados en Hidroponía

Sistema NFT (Nutrient Flow Technic)

Esta técnica es muy utilizada en el mundo para el cultivo de hortalizas de hojas como berros, lechugas, acelgas, y especias como albahaca y menta, aunque también se producen frutos como chile dulce, tomate y pepino, entre otros (Soto, 2006). Se trata de una técnica cultural en donde las plantas son cultivadas con su sistema radicular sumergido en una lámina de agua por la cual circula la solución nutritiva. Las funciones de la lámina de agua son dos: 1) evitar que la solución nutritiva esté lejos de las raíces, y 2) favorecer la aireación. La NFT comprende una serie de

diseños, cuyo principio es la continua circulación de una lámina muy delgada de solución nutritiva a través de las raíces de las plantas (Sánchez del Castillo & Escalante, 1988).

Sistema flotante

El sistema de bandejas flotantes (Floating system), es un sistema de riego basado en un conjunto de bandejas que flotan sobre una lámina de agua o solución nutritiva con una altura entre 5 y 10 cm. Utilizado en la horticultura italiana presenta grandes ventajas en cultivos protegidos. Ésta técnica de cultivo permite reducir los ciclos de cultivo con respecto al cultivo en suelo, siendo una técnica muy interesante por su bajo coste de instalación y de mano de obra, ausencia de malas hierbas, y rapidez en el momento de la recolección. La posibilidad de programar cada una de las fases del cultivo permite obtener una producción continua durante todo el año (Cros, Nicola, Fernandez, Martínez, & Carreño, 2003).

Sistema DFT (Deep Flowtechnique)

El sistema DFT se cataloga como un híbrido entre los dos sistemas anteriores, presenta recirculación de la solución nutritiva igual que el NFT por medio de una bomba. Esto elimina la necesidad de aireación y presenta la disposición de una plancha sobre la superficie de la solución nutritiva con las mismas ventajas y desventajas del sistema flotante (Gilsanz, 2007).

Sistema estático

El sistema tiene su base teórica en la determinación del consumo de solución nutritiva para el periodo de crecimiento, ya que el sistema prevé una sola carga de solución al comienzo de ciclo de crecimiento. Los volúmenes de la solución nutritiva requerida varían de estación a estación al variar la evapotranspiración. Es importante esta información para la correcta formulación de la solución nutritiva. El otro aspecto que el sistema toma en cuenta es el no requerimiento de energía, al eliminar el bombeo y obviar la aireación ya sea mecánica o por agregado de O₂ externo (Gilsanz, 2007).

2.6 Semi – Hidroponía

Resh (2001) menciona que la semi-hidroponía combina lo mejor de las técnicas de cultivo en suelo y lo mejor de la hidroponía. Este método permite a las plantas tener acceso a todos los nutrientes del suelo, acompañado con una nutri-irrigación. Los cultivos semi-hidropónicos son un sistema de producción de plantas en sustratos mixtos en diversas estructuras; clasificándose en huertos intensivos, semi-hidropónicos, huertos populares, y agricultura del hogar, siendo la semi-hidroponía la más practicada y de mejores resultados.

2.7 El sustrato

Calderón (2011) explica que sustrato es un medio sólido inerte, que tiene una doble función: 1) anclar y aferrar las raíces protegiéndolas de la luz y permitiéndoles la respiración, y 2) contener el agua y los nutrientes que las plantas necesitan. El empleo de sustratos sólidos por los cuales circula la solución nutritiva, es la base del cultivo semi-hidropónico en América Latina.

2.7.1 Características de los sustratos

Densidad aparente

Corresponde al peso seco del sustrato por unidad de volumen, incluyendo todos los espacios ocupados por aire y materiales orgánicos (Abad, 1993). Esta característica se utiliza para estimar la capacidad total de almacenaje del sustrato y su grado de compactación. Un sustrato con baja densidad aparente es beneficioso desde un punto de vista económico debido a que maximiza la capacidad operacional del medio de cultivo, minimizando los costos de transporte, y manipulación de materiales (Calderón, 2005).

Porosidad

La porosidad de un sustrato consiste en el volumen total que no está siendo ocupado por partículas sólidas, minerales u orgánicas. Los regímenes de agua y aire dentro de un sustrato dependen del espacio poroso del medio; sin embargo, no es suficiente que

el sustrato posea una elevada porosidad total, sino que ésta se encuentre compartida entre macro poros que se hallan ocupados por aire, y micro poros que alojan agua en su interior (Bures, 1997).

Aireación

Calderón (2005) menciona que el tipo de material utilizado como sustrato, el tamaño y continuidad de sus poros, la temperatura, profundidad, humedad, y actividad microbiológica, son aspectos que deben ser considerados para comprender la dinámica de los gases dentro de un medio de cultivo, donde el intercambio gaseoso debe ser rápido. Además la utilización de contenedores de volumen reducido, produce cambios en la aireación, y retención de agua, afectando el desarrollo de las plantas.

Retención de agua

La cantidad total de agua retenida por un sustrato en un contenedor depende de la proporción de micro poros y del volumen del contenedor; sin embargo, aunque la retención de agua sea elevada, puede ser adsorbida por las partículas del sustrato, por lo que no se encontrará disponible. Esto dependerá del tamaño de los poros más pequeños y de la concentración de sales en la solución acuosa. Un sustrato adecuado tiene de 20 a 30% de agua disponible (Ansorena, 1994).

Granulometría

Debe ser mediana a gruesa, con tamaños de 0,25 a 2,60 mm y que produzcan poros de 30 a 300 μm , permitiendo una buena aireación y retención de agua. También es importante que el tamaño de las partículas sea estable en el tiempo (Aguilar R. , 2002).

pH

Corresponde a la medida de concentración de la acidez en la solución del sustrato y tiene la capacidad de controlar la disponibilidad de los nutrientes (Pastor, 2000). El pH óptimo depende de la especie que se esté cultivando. Es así que la

mayoría de las especies crecen bien en pH de 6.2 a 6.8. Con valores inferiores a 5 pueden aparecer deficiencias de N, K, Ca, Mg, y B. Con valores superiores a 7, se producen problemas en la disponibilidad de Fe, P, Zn, Mn y, Cu (Abad, 1993).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Es la capacidad que tiene el sustrato de retener e intercambiar cationes a un determinado pH. La fuerza de la carga positiva varía dependiendo del catión, permitiendo que uno reemplace a otro en una partícula de suelo con cargas negativas (Aguilar R. , 2002). Sustratos con alta CIC podrán almacenar mayores cantidades de N, P, y K, elementos necesarios para el óptimo desarrollo de las plántulas. También existe menor riesgo de exceso de estos elementos, ya que el complejo de cambio puede absorber la abundancia de estos. Con sustratos de baja CIC, las fertilizaciones deben ser tempranas y frecuentes (Aguilar R. , 2002).

2.7.2 Tipos de Sustratos

Pomina

La pomina es una roca volcánica gris o blanca formada de la espuma de las emanaciones volcánicas, lo cual le ha dado una estructura esponjosa y porosa. La pomina es dióxido de silicio (SiO_2) y óxido de aluminio (Al_2O_3), con pequeñas cantidades de Fe, Ca, Mg, y Na en la forma de óxido por lo que es inerte y de reacción neutra. La pomina es usada para fines de propagación, cuyas partículas oscila entre 1.5 a 3.1 mm de diámetro (Ansorena, 1994).

Cascarilla de arroz

Es un sub-producto de la industria molinera que se produce en las zonas arroceras y que ofrece buenas propiedades para ser usado como sustrato hidropónico. Sus propiedades físico-químicas incluyen un producto orgánico, con buena porosidad, y liviano de baja tasa de descomposición por su alto contenido de sílice. Su principal costo es el transporte, dado que para los molineros es un desecho. Sin embargo, presenta una baja retención de humedad inicial y es difícil conservar una

humedad homogénea, por lo que se recomienda su uso en canaletas. También se requiere un especial cuidado con los residuos de cosecha, como granos de arroz enteros o en fragmentos, a la vez que pueden encontrarse semillas de otras plantas que pueden germinar generando un problema de malezas (Bedoya & Pacheco, 2002).

Fibra de Coco

Se origina del desfibrado industrial del mesocarpo de las cáscaras de coco, obteniéndose un sustrato de estructura granular homogénea, con alta porosidad total. Posee elevada capacidad de aireación y retención de agua, baja densidad aparente, pH entre 5 y 6 y estructura física estable. Su apariencia es similar a la turba, distinguiendo gran cantidad de fibras de coco en el sustrato. Debido a sus características, este sustrato permite una alta germinación, enraizamiento y un óptimo desarrollo de las plántulas. Por otro lado, este sustrato permite disminuir los costos de transporte y almacenamiento (Taveira, 2005).

2.8 Solución Nutritiva

La solución nutritiva juega un papel importante en la producción de frutillas hidropónicas, es por ello que es necesario conocer la cantidad que el cultivo demanda de cada nutriente para una solución balanceada y evitar problemas de toxicidad o de deficiencias. La frutilla es un cultivo sensible a la salinidad, es necesario monitorear la conductividad eléctrica, pH y la concentración de O_2 de la solución nutritiva.

Lara (1998) menciona que la solución nutritiva consiste de agua con oxígeno y todos los nutrimentos en forma inorgánica. Algunos compuestos orgánicos forman parte de la solución nutritiva, como es el caso de varios quelatos de Fe y otros micronutrientes.

Cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere solución nutritiva con características muy específicas. Las principales características que influyen en el crecimiento, desarrollo y calidad de los cultivos y sus productos son la relación mutua de los cationes K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , la relación mutua entre los aniones NO_3^- ,

H₂PO₄⁻ y SO₄⁻², la concentración de iones (representada por el potencial osmótico) y el pH (Lara, 1998).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del lugar de investigación

3.1.1 Ubicación política de la hacienda “El Prado”

Provincia:	Pichincha
Cantón:	Rumiñahui
Parroquia:	San Fernando
Hacienda:	El Prado

3.1.2 Ubicación geográfica de la hacienda “El Prado”

Norte:	Población San Fernando
Sur:	Montaña Pasochoa
Este:	Población de Loreto
Oeste:	Rio Pita

3.1.3 Ubicación ecológica de la hacienda “El Prado”

Altitud:	2 850 m
Temperatura Promedio:	14° C
Precipitación Anual:	1200 mm
Humedad Relativa:	70%

3.1.4 Condiciones de laboratorio

Temperatura Promedio:	14° C
Temperatura Máxima:	21° C
Temperatura Mínima:	7° C

3.2 Materiales

3.2.1 Campo

Los materiales y equipos que se utilizaron para la elaboración de la fase de campo son plantines de frutilla, vasos plásticos, tarrinas plásticas, cascajo (pomina), plástico negro, flexómetro, regaderas, baldes, tanques, libretas de campo, marcadores, pH metro, tensiómetro, fluorómetro, clorómetro, probetas y solución nutritiva.

3.2.2 Laboratorio

Los equipos y herramientas a utilizarse en esta fase son balanza electrónica, pH metro, estufa, espectrofotómetro, vasos de precipitación, probetas, pipetas, frascos de orina, embudos, papel filtro, acetona 80%, agua destilada, ácido nítrico, pinzas, frascos matraces Erlenmeyer, soporte universal, morteros, balones de destilación, crisoles de porcelana, goteros, peras, molino industrial, estufa, mufla, campana extractora de gases.

3.3 Métodos

La investigación se llevó a cabo de la siguiente manera: análisis de fósforo, calcio y validación de métodos de medición.

3.3.1 Toma de Muestras foliares para análisis de P y Ca

Se tomaron muestras de hojas de frutilla de los diferentes tratamientos de una manera al azar, llevándolas en bolsas de papel y colocándolas a la estufa a 70 °C durante 12 horas. Una vez secas las muestras se procedieron a moler, homogenizarlas y se separaron porciones de 5-8 g (Sadzawka, Grez, Carrasco, & Mora, 2004).

3.3.2 Análisis de fósforo foliar

Para el análisis de Fósforo se utilizó Ácido Clorhídrico al 37% con una densidad de 1,19 kg.L⁻¹, se diluyó 8,3 ml de HCl con agua destilada y se aforo a 50 ml. De

igual manera se manejó Ácido nítrico al 69% con una densidad de $1,41 \text{ kg.L}^{-1}$. Posteriormente se preparó la solución de nitro-vanadomolibdato:

Solución de vanadato de amonio $0,09 \text{ g.100ml}^{-1}$. Se disolvió $0,09 \text{ g}$ de NH_4VO_3 en alrededor de 50 ml de agua hirviendo, se enfrió y se agregó $2,4 \text{ ml}$ de HNO_3 . Se diluyó con agua a 100 ml . La solución de molibdato de amonio $1,9 \text{ g.100ml}^{-1}$. Se disolvió $1,9 \text{ g}$ de $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en agua a $50 \text{ }^\circ\text{C}$, se enfrió y se diluyó a 100 ml con agua. Finalmente el ácido nítrico se diluyó $9,7 \text{ ml}$ de HNO_3 con agua a 100 ml . Se mezcló las soluciones antes mencionadas en partes iguales. Para la elaboración de la solución estándar de fósforo se pesó $0,439 \text{ g}$ de fosfato dihidrógeno de potasio (KH_2PO_4), secando a 105°C durante 2 horas, en un matraz aforado de 50 ml (Sadzawka, Grez, Carrasco, & Mora, 2004).

Se procedió a tomar una alícuota de 1 ml de los filtrados de las muestras y del blanco en tubos de ensayo, se agregó 4 ml de la solución de nitro-vanadomolibdato y se mezcló, dejando reposar durante una hora, después de este tiempo se llevó a cabo la lectura en el espectrofotómetro a una absorbancia de 400 nm (Sadzawka, Grez, Carrasco, & Mora, 2004)

3.3.2 Análisis de calcio foliar

El método de titulación se utilizó para el análisis de la concentración de Ca en tejido vegetal de frutilla, los reactivos que se utilizaron para la determinación de Ca fueron: Hidróxido de sodio (NaOH (1N)); solución valorada de EDTA (0,01 M), en forma de indicador se utilizó Murexida, el cual se utilizó para determinar el punto final de la reacción donde se muestra el cambio de color de rosa a púrpura. Las muestras de tejido vegetal secas y molidas se calcinaron a $600 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 4 horas, después del tiempo indicado se dejó enfriar la mufla a temperatura ambiente, las cenizas se colocaron en vasos de porcelana, adicionando 20 ml de ácido nítrico y llevándolos a la cocineta eléctrica hasta su ebullición ($300 \text{ }^\circ\text{C}$). Se dejó enfriar por 30 minutos, transcurrido el tiempo indicado, se transfirieron las muestras a balones de precipitación 250 ml aforando con alcohol (Sadzawka, Grez, Carrasco, & Mora, 2004).

Para el método de titulación se añadió 2,0 cm³ de solución de NaOH o un volumen suficiente para producir un pH de 12 a 13, después se agitó y añadió 0,1 a 0,2 g de la mezcla del indicador (o 1 a 2 gotas de la solución de indicador). Posteriormente se añadió lentamente la solución titulante de EDTA, agitando continuamente hasta el punto final de la reacción (cambio de color) (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1983).

3.3.3 Determinación de clorofila

Para la extracción de clorofila se pesó 0,25 g de muestra de tejido vegetal de cada tratamiento respectivamente y se procedió a cortar finamente, después se ubicaron las muestras en frascos de color ámbar de 25 ml y se añadió 2,5 ml de acetona al 80%. Se dejó reposar las muestras por un periodo de 24 horas en oscuridad y en condiciones de refrigeración a -4°C (Harborne, 1973).

Transcurrido ese tiempo, se procedió a preparar el embudo para recibir la muestra con un poco de algodón o papel filtro humedeciéndolo con acetona al 80%, a continuación se filtró y se transfirió la muestra a un mortero para molerse totalmente, finalmente se filtró el extracto obtenido de las muestras y se aforó a 6,25 ml con acetona. De esas soluciones se tomaron las muestras y se procedió a su respectiva lectura mediante un espectrofotómetro a una longitud de onda de 645 y 663 nm (Harborne, 1973).

La cantidad se obtiene por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Clorofila a (C)} = \frac{[(12.7 * A_{663}) - (2.59 * A_{645})](V)}{(1000 * P)}$$

$$\text{Clorofila b (C)} = \frac{[(22.9 * A_{645}) - (4.70 * A_{663})](V)}{(1000 * P)}$$

$$\text{Clorofila total (C)} = \text{Clorofila a} + \text{Clorofila b}$$

Donde:

A = Absorbancia, los subíndices indican la longitud de onda (645 y 663 nm).

C = Concentración (mg g^{-1} PF).

V = Volumen de aforado (mL^{-1}).

P = Peso de muestra (g).

1000 = factor de conversión.

Por lo tanto, el resultado será igual a: mg de clorofila g PF

3.3.4 Diseño Experimental

Niveles de Ca

Diseño experimental y tratamientos a evaluar**Tabla 1****Tratamientos evaluados de los niveles de calcio**

Tratamiento	Código	Descripción (meq.L^{-1})
0	Ca0	Niveles de Ca 0,0
1	Ca1	Niveles de Ca 2,5
2	Ca2	Niveles de Ca 5,0
3	Ca3	Niveles de Ca 7,5
4	Ca4	Niveles de Ca 10,0

Tipo de diseño

El diseño fue en Bloques Completos al Azar (DBCA) con los niveles de Ca. Para la evaluación se utilizó la Eq. [1].

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + B_j + E_{ij} \quad [1]$$

Donde:

Y_{ij} = es la observación l , en el nivel i del factor A, nivel j del bloque.

μ = es la media general.

T_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

B_j = Efecto del j -ésimo bloque.

E_{ij} = Error experimental.

Repeticiones o bloques

Se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento.

Características de las UE

Cada unidad experimental estuvo representada por cuatro plantas en un vaso plástico individual de 16 onzas, el cual se llenó de pomina. En el Anexo 1 se presenta el diagrama de la distribución de las UE para el diseño experimental del Ca.

Análisis estadístico y esquema de análisis de varianza del Ca

Se realizó un análisis de variancia de las variables en diseño en bloques completos al azar (Tabla 2).

Tabla 2

Esquema del análisis de varianza de niveles de calcio en la planta de frutilla

F de V	GL
Total	19
Tratamientos	4
Bloque	3
Error	12

Niveles de P

Diseño experimental y tratamientos a evaluar

Los factores en estudio fueron 6 tratamientos para la determinación de P (Tabla 3)

Tabla 3

Tratamientos evaluados de los niveles de fósforo

Tratamiento	Código	Descripción (meq.L⁻¹)	Referencia
0	P0	Niveles de P 0,0	(Choi, 2012).
1	P1	Niveles de P 0,5	(Choi, 2012).
2	P2	Niveles de P 1,0	(Choi, 2012).
3	P3	Niveles de P 2,0	(Choi, 2012).
4	P4	Niveles de P 2,5	(Choi, 2012).

Tipo de diseño

Debido a la estructura de la investigación, se realizó un DBCA con los niveles de P. Para la evaluación se utilizó el modelo que se presentó en la Eq. [1].

Repeticiones o bloques

Se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento.

Características de las UE

Cada unidad experimental estuvo representada por cuatro plantas en un vaso plástico individual de 16 onzas, el cual contiene el sustrato escogido, en este caso pomina. En el Anexo 2 se presenta el diagrama de la distribución de las UE para el diseño experimental del P.

Análisis estadístico y esquema de análisis de varianza del P

Se realizó un análisis de variancia de las variables en diseño en bloques completos al azar, tal y como se presentó en la Tabla 3.

Relación entre Ca y P

Diseño experimental y tratamientos a evaluar

Se obtuvo un total de 4 tratamientos en estudio para la relación entre Ca y P (Tabla 4)

Tabla 4

Tratamientos evaluados de la relación fósforo – calcio

Tratamiento	Código	Descripción
1	Ca1P1	Ca y P Niveles T1
2	Ca2-P2	Ca y P Niveles T2
3	Ca3-P3	Ca y P Niveles T3
4	Ca4-P4	Ca y P Niveles T4

Tipo de diseño

Debido a la estructura de la investigación, se realizó un DBCA con la relación entre niveles de Ca y P. Para la evaluación se utilizará la Eq. [2].

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + E_{ijk} \quad [2]$$

Donde:

Y_{ijk} = es la observación l , en el nivel i del factor B, nivel j del bloque

μ = es la media general.

A_i = Efecto del i -ésimo niveles de Ca.

B_j = Efecto del j -ésimo niveles de P.

AB_{ij} = Efecto de la interacción de Ca y P.

E_{ijk} = Error experimental.

Repeticiones o bloques

Se realizaron cuatro repeticiones por tratamiento.

Características de las UE

Cada unidad experimental estuvo representada por cuatro plantas en un vaso plástico individual de 16 onzas, el cual contiene pomina. En el Anexo 3 se presenta el diagrama de la distribución de las UE para el diseño experimental de la relación de Ca y P.

En las variables a describirse se realizó una regresión lineal utilizando la siguiente Eq. [3].

$$Y = a + bx \quad [3]$$

Análisis estadístico y esquema de análisis de varianza para la relación de Ca y P

Se realizó un análisis de variancia de las variables en diseño en bloques completos al azar con relación entre Ca y P (Tabla 5).

Tabla 5

Esquema del análisis de varianza de la relación en la planta de frutilla

F de V	GL
Total	15
Niveles de Ca	3
Niveles de P	3
Ca x P	9
Error	6

3.3.5 Variables evaluadas

3.3.5.1 Variables en la planta y el fruto

Peso fresco

El peso fresco se midió en las plantas de frutilla en los diferentes tratamientos establecidos, se tomaron dos plantas por unidad experimental, las cuales se pesaron en el momento de la cosecha. El peso fresco se midió en g planta^{-1} .

Peso seco

El peso seco se midió en las plantas de frutilla en los diferentes tratamientos establecidos, tomando dos plantas que fueron pesadas en el momento de la cosecha, luego se separaron las hojas, tallo, la inflorescencia y cada una de estas estructuras se colocaron en fundas de papel etiquetado, se llevó a la estufa a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se procedió a pesar luego del secado. El peso seco se midió en g planta^{-1} .

Fluorescencia

La fluorescencia se determinó mediante un fluorómetro, en el cual se midió la fluorescencia variable (Fv). La primera medición se realizó a los 105 y 135 d después del trasplante en la época de floración, cuando el cultivo se encontró en época de fructificación. Se determinó la fluorescencia de clorofila de nueve folíolos de frutilla por tratamiento, de hojas expandidas (hojas recientes). Las pinzas se colocaron en la parte media del folíolo central de la hoja sin incluir las nervaduras primarias y secundarias en el área de medición (Ramírez, 2011).

Número de flores por planta

Se determinó el número de flores por planta, de dos plantas tomadas al azar de cada unidad experimental, cada 8 días a partir del apareamiento del 80% de la flor.

Número de hojas por planta

Se determinó el número de hojas por planta, de dos plantas tomadas al azar de cada unidad experimental, tomando cada 8 días a partir del primer brote de hojas verdaderas.

Número de frutos por planta

Se determinó el número de frutos por planta, de dos plantas tomadas al azar de cada unidad experimental. El número de frutos por planta se determinó al final del ciclo de cultivo.

Concentración de nutrientes

La concentración de Ca y P en la planta mediante un análisis foliar a los 65 días después del trasplante, y se tomó las hojas maduras más jóvenes. El análisis foliar se lo realizó en el laboratorio de Química del IASA I para conocer las diferencias de nutrientes existentes en los tejidos vegetales entre los distintos tratamientos.

Altura de la planta

Se determinó la altura de todas las plantas, de cada unidad experimental, tomado cada ocho días a partir del trasplante, desde cuello de la raíz hasta el ápice de la hoja más grande. La variable se midió en centímetros con la ayuda de una regla.

Diámetro de la planta

Se determinó el diámetro de todas las plantas de cada unidad experimental, tomado cada ocho días a partir del trasplante, a partir de dos hojas presentes en la planta. La variable se midió en centímetros con la ayuda de una regla.

Número de brotes por planta

El número de brotes se determinó cuantitativamente de cada unidad experimental, tomado cada ocho días a partir del trasplante.

Clorofila

La clorofila de las plantas se determinó en una sola medición a los 105 días después del trasplante, de dos formas: mediante la ayuda del clorómetro, tomando una hoja al azar de cada unidad experimental y la aplicación de una técnica de extracción de clorofila descrita en la sección de métodos. La clorofila se midió en % de verdor presente en la hoja de la planta de frutilla.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Fósforo

4.1.1. Evaluación de diferentes niveles de P en el cultivo de frutilla en un sistema semi-hidropónico para determinar el nivel óptimo de aplicación sobre la producción y calidad del fruto.

Para el factor niveles de fósforo se encontraron diferencias significativas en las variables altura ($p_{(5;16)} < 0.0001$), número de flores ($p_{(5;16)} < 0.0001$), de hojas ($p_{(5;16)} < 0.0001$) y de frutos ($p_{(5;16)} = 0.0157$). Al realizar el ADEVA para la regresión lineal se encontraron diferencias significativas para la variable altura (Cuadro 1, Figura 1).

Cuadro 1

Influencia de la concentración de fósforo en las características de crecimiento de la planta de frutilla var. Festival

NIVELES P meq.L ⁻¹	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	No. FLORES	No. HOJAS	No. BROTOS	No. FRUTO
T ₀ (0.0)	6.57 d	9.47	0.48 b	3.05 c	0.36	0.21 a
T ₁ (0.5)	6.40 c	9.60	0.94 d	2.80 b	0.33	0.58 b
T ₂ (1.0)	6.18 b	9.73	0.34 a	3.07 c	0.40	0.38 a
T ₃ (2.0)	5.88 a	9.71	0.67 c	2.79 b	0.40	0.33 a
T ₄ (2.5)	5.75 a	9.52	0.67 c	2.32 a	0.32	0.31 a
LINEAL	**	NS	NS	NS	NS	NS
CUADRÁTICA	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

NS, *, **, ***; no significativo o significativo $p < 0.05$, 0.01 y 0.001 respectivamente.

En el cuadro 1 se presenta la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de las variables ya descritas. Donde al aplicar diferentes niveles se obtuvo para la altura 6.57 cm del Testigo (sin aplicación de fósforo), seguido del T1 (0.5 meq.L⁻¹) correspondiente a 6.40 cm, para el número de flores y número de frutos se obtuvo que el mejor tratamiento pertenece al T1 (0.5 meq.L⁻¹) correspondiente a 0.94 y 0.58 respectivamente, para el diámetro de la corona y número de brotes no existió diferencias significativas para ninguno de los tratamientos y para la variable número de hojas se encontró que el mejor tratamiento fue T2 (1 meq.L⁻¹) correspondiente a

3,07. En la figura 1 se presenta un efecto inverso para la variable altura, a menor concentración de fósforo mayor altura de la planta.

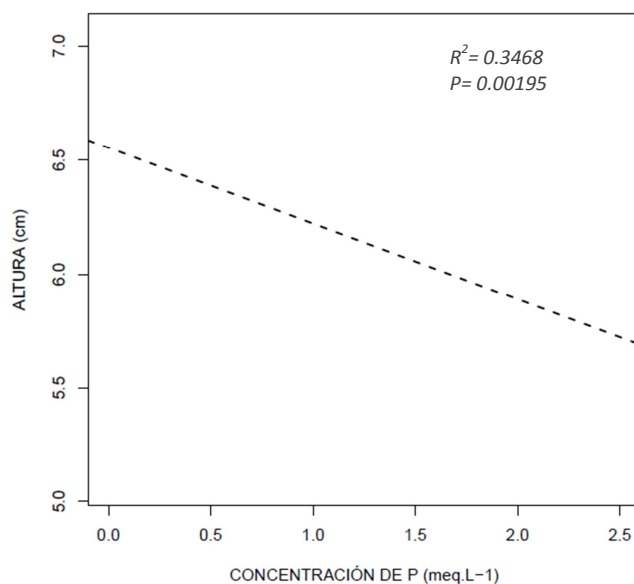


Figura 1. Regresión lineal de la variable altura con diferentes niveles de fósforo en frutilla var. Festival



Gráfico 1 Altura de la planta de frutilla var. Festival con niveles de fósforo

En el presente estudio se encontró un efecto positivo en la altura de la planta de frutilla al aplicar bajos niveles de P (0,5 meq.L⁻¹), al igual que (Choi, Latigui, & Lee, 2012), donde al aplicar P en rangos de 1-1,5 meq.L⁻¹ mostraron las mejores alturas promedio. Mientras que al aplicar altos niveles de P (2,0-2,5 meq.L⁻¹) en la presente investigación, disminuyó el crecimiento de la planta al igual que el trabajo realizado por (Choi & Lee, 2012). Este efecto puede deberse a que el fósforo en solución de

fertilizante disminuye el contenido de Fe y Zn en los tejidos, debido a un efecto antagonista afectando el desarrollo normal de la planta (Choi, Latigui, & Lee, 2012).

Cuadro 2

Influencia de la concentración de fósforo en las características de crecimiento de la planta de frutilla var. Festival con evaluación semanal.

SEMANA	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	No. FLORES	No. HOJAS	No. BROTOS	No. FRUTO
8	5.38 a	8.71 a	0.81 c	2.08 a	0.42 bc	0.00 a
16	6.15 b	9.29 b	0.87 c	2.54 b	0.59 c	0.01 a
24	6.27 bc	9.72 c	0.76 c	2.88 c	0.33 b	0.28 b
32	6.40 c	10.01 d	0.44 b	3.03 c	0.46 bc	0.64 c
40	6.58 d	10.30 e	0.21 a	3.49 d	0.00 a	0.87 d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Para el factor evaluación semanal con niveles de fósforo se encontraron diferencias significativas en las variables altura ($p_{(5;16)} < 0.0001$), diámetro de la corona ($p_{(5;16)} < 0.0001$), número de flores ($p_{(5;16)} < 0.0001$), hojas ($p_{(5;16)} < 0.0001$), brotes ($p_{(5;16)} = 0.0001$) y frutos ($p_{(5;16)} < 0.0001$).

El cuadro 2 presenta la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de las variables ya descritas con evaluación semanal. Donde al aplicar diferentes niveles, se obtuvo los mejores resultados a la semana cuarenta, en altura con el valor de 6,58 cm, diámetro de la corona con 10.30 cm, número de hojas y frutos con 3,49 y 0,87 respectivamente. Para número de flores y brotes se obtuvo los valores correspondientes a 0,87 y 0,59 respectivamente en la semana dieciséis.

En el presente trabajo se encontró que con el transcurso de las semanas (32 y 40) las plantas de frutilla fueron mostrando un desarrollo favorable en las variables altura, diámetro de la corona, número de hojas y fruto, al igual que (Demirsoy, Ersoy, & Balci, 2010) y (Aguilar M. , 2011) en la var. Festival el mayor incremento de follaje, número de flores y frutos se dieron en mayor cantidad, entre los días 30 y 120 ddt (días después del trasplante), debido a que el P es uno de los nutrientes que más requieren las plantas para su desarrollo, y este forma parte de compuestos relacionados a la base genética de la planta, además de formar parte de los componentes energéticos del metabolismo vegetal (ATP,ADP,etc) (Yáñez, 2002).

Cuadro 3

Peso fresco y seco de las hojas de la planta de frutilla var. Festival con diferentes niveles de fósforo

FÓSFORO meq.L ⁻¹	PESO FRESCO g.planta ⁻¹	PESO SECO g.planta ⁻¹
T ₀ (0.0)	11.963	3.766
T ₁ (0.5)	14.737	4.653
T ₂ (1.0)	11.521	3.931
T ₃ (2.0)	12.301	3.211
T ₄ (2.5)	12.955	4.023

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Para el factor peso seco y fresco de las hojas con niveles de fósforo no se encontraron diferencias significativas para los tratamientos ($p_{(16;75)}=0.5732$); ($p_{(16;75)}=0.8532$) respectivamente.

En el cuadro 3 se presenta la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de las variables ya descritas. Donde al aplicar diferentes niveles de P, se obtuvo que no existen diferencia significativa entre tratamientos, lo cual es diferente a lo descrito por (Choi, Latigui, & Lee, 2012) donde se obtuvo diferencias significativa en los pesos frescos y secos, siendo el mejor tratamiento 0,5 meq.L⁻¹, esto puede evidenciarse con lo mencionado por (Durner, Barden, & Poling, 1984) donde indica que la diferencia de peso seco y fresco puede deberse a la variedad de fresa ya que los genotipos de esta presentan diferente sensibilidad a los factores ambientales en su respuesta en crecimiento vegetativo, producción de estolones y en su posterior fructificación.

Cuadro 4

Evaluación de clorofila en las hojas de la planta de frutilla var. Festival mediante un clorómetro (ICC) con diferentes niveles de fósforo

FÓSFORO (meq.L ⁻¹)	CLOROFILA (CCI)
T ₀ (0.0)	14.21 a
T ₁ (0.5)	35.06 c
T ₂ (1.0)	25.04 b
T ₃ (2.0)	24.93 b
T ₄ (2.5)	30.14 bc

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Para el factor evaluación de clorofila de la concentración de fósforo se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p_{(16;75)} < 0.0001$).

En el cuadro 4 se presenta la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de la variable ya descrita. Donde al aplicar diferentes niveles se obtuvo que el mejor tratamiento fue T₁ (0.5 meq.L⁻¹) que presentó un índice de contenido de clorofila de 35.06% seguido del T₄ (2.5 meq.L⁻¹) correspondiente a 30.14%.

De acuerdo a (Bojovic & Stojanovic, 2006) la fertilización NP (suelo al que se añadió nitrógeno y fósforo) era la variante más favorable para el contenido de clorofila de las hojas de trigo. A medida que la fertilización aumentó, mayor era el contenido de clorofila en la hoja de las plantas, esto indica que el nitrógeno y el fósforo ejercen la mayor influencia en el contenido de clorofila, a diferencia del presente trabajo donde se observa que a menores concentraciones mayor contenido de clorofila en las hojas de frutilla como es el caso del T1 (0,5 meq.L⁻¹). Una de las variables que se deben tomar en consideración para determinar el estatus fisiológico de las plantas en un momento determinado es el contenido de clorofila, responsable de la coloración verde de las hojas (Steele, Gitelson, & Rundquist, 2008). Esto se da principalmente por la respuesta que pueden tener las plantas a modificar su concentración interna en fenómenos como exceso de salinidad (Sivritepe, 1999), estrés lumínico, estrés hídrico (Steele, Gitelson, & Rundquist, 2008).

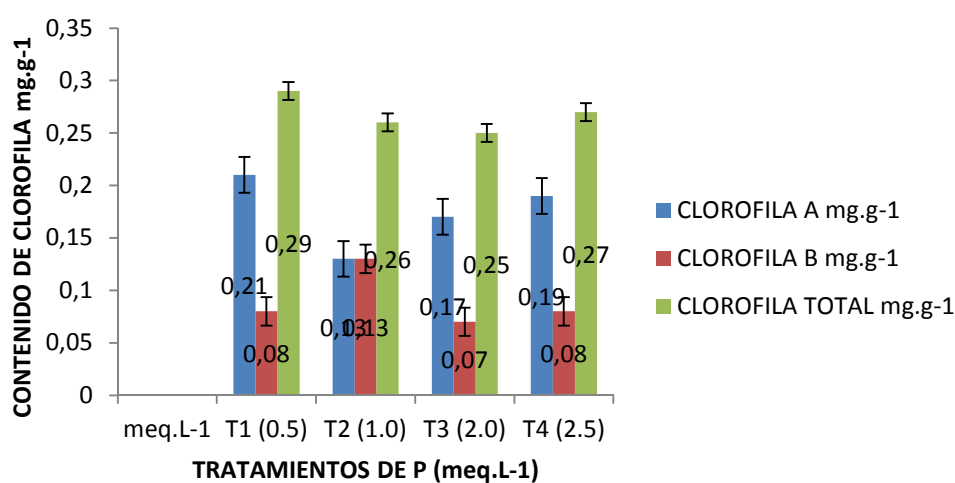
Cuadro 5

Evaluación del contenido de clorofila con diferentes concentraciones de fósforo mediante un espectofotómetro en la hoja de la planta de frutilla var. Festival

TRATAMIENTO	CLOROFILA	CLOROFILA	CLOROFILA
meq.L ⁻¹	A mg.g ⁻¹	B mg.g ⁻¹	TOTAL mg.g ⁻¹
T ₁ (0.5)	0.21	0.08	0.29
T ₂ (1.0)	0.13	0.13	0.26
T ₃ (2.0)	0.17	0.07	0.25
T ₄ (2.5)	0.19	0.08	0.27

En el cuadro 5 se presenta el contenido de clorofila a, b y total donde al aplicar diferentes niveles de P se observó que el tratamiento T₁ (0.5 meq.L⁻¹) obtuvo el valor más alto de contenido de clorofila con respecto a los demás tratamientos.

Estrada (2011) demostró que al añadir P a concentraciones de 40 y 50 % (dosis altas) disminuyeron significativamente las concentraciones de clorofilas a, b y totales, en comparación con el 30 % (dosis baja), que fue un porcentaje que elevó el contenido de estas biomoléculas, lo cual se asemeja a la presente investigación ya que al aplicar niveles elevados de fósforo en el cultivo de frutilla se obtuvieron los valores más bajos en cuanto a clorofila a,b y total y los valores más alto al momento de aplicar niveles bajos de fósforo. El P es un nutrimento que tiene influencia sobre la estabilidad de la molécula de clorofila (Bojovic & Stojanovic, 2006). Las hojas tratadas con altas concentraciones de fosfito tuvieron un color verde claro, lo que indica una posible alteración en la concentración de clorofila (Ticconi, Delatorre, & Abel, 2001).



T1: 0.5 meq.L-1 P; T2: 1.0 meq.L-1 P; T3: 2.0 meq.L-1 P; T4: 2.5 meq.L-1 P

Figura 2. Análisis de Clorofila a, b y total mediante un espectrofotómetro en la planta de frutilla var. Festival.

Cuadro 6

Evaluación del contenido de fósforo en la hoja de la planta de frutilla var. Festival

TRATAMIENTO	P meq	%
T ₀ (0.0)	0.01	0.001
T ₁ (0.5)	0.16	0.02
T ₂ (1.0)	0.25	0.03
T ₃ (2.0)	1.98	0.19
T ₄ (2.5)	2.53	0.25

En el cuadro 6 se presenta el porcentaje de contenido de fósforo en los tratamientos. Donde al aplicar diferentes niveles se observó que las concentraciones máximas y mínimas fueron 0,25% (T4) y 0.001% (T0) respectivamente, de acuerdo con la investigación realizada por (Choi, Latigui, & Lee, 2012) donde al aplicar niveles altos de fósforo encuentran mayor contenido de este elemento.

La concentración de fósforo en hojas es utilizada como indicador nutricional en el cultivo de fresa, autores como (Macarthur, 2004) menciona que la concentración adecuada de este elemento es de menos 0,01%, niveles tóxicos de 0,3 a 0,5%, tomando este criterio los tratamientos evaluados en esta investigación estarían en una concentración adecuada.

Cuadro 7

Evaluación de la concentración de fósforo mediante un fluorómetro en la hoja de la planta de frutilla var. Festival

TRATAMIENTO	FLOROMETRO Fv
T ₀ (0.0)	894.81
T ₁ (0.5)	894.81
T ₂ (1.0)	774.81
T ₃ (2.0)	846.81
T ₄ (2.5)	853.79

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En el cuadro 7 se presenta la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de la variable ya descrita. Donde al aplicar diferentes niveles se obtuvo que no existieron diferencias significativas en ninguno de los tratamientos.

La respuesta más importante de la planta, en el caso de la fluorescencia determinada en hojas adaptadas a la oscuridad, es la Fv. Mientras mayor es el valor de la Fv mayor será la capacidad del PSII para realizar la fotoquímica primaria y mayor será la capacidad de asimilar de CO₂, en los procesos bioquímicos de la fotosíntesis (Baker, 2008).

Los parámetros de fluorescencia de clorofila corresponden a las propiedades de las características fotosintéticas, la tecnología de fluorescencia de la clorofila es un método eficaz para el estudio de la fisiología del estrés de la planta (Krause & Weis, 1991).

4.2. Calcio

4.2.1. Evaluación de diferentes niveles de Ca en el cultivo de frutilla en un sistema semi-hidropónico para determinar el nivel óptimo de aplicación sobre la producción y calidad del fruto.

Para el factor niveles de calcio se encontraron diferencias significativas en las variables altura ($p_{(5;16)}=0.0002$), diámetro de la corona ($p_{(5;16)}=0.0022$), número de flores ($p_{(5;16)}=0.1617$), hojas ($p_{(5;16)}=0.0005$) y frutos ($p_{(5;16)}=0.0154$). Se encontraron diferencias significativas en la regresión cuadrática para la variable altura ($p=0.0224$), regresión lineal del diámetro de la corona ($p=0.0245$), número de hojas ($p=0.000441$) y frutos ($p=0.02603$). (Cuadro 8, Figura 3,4,5 y 6)

Cuadro 8

Influencia de la concentración de calcio en las características de crecimiento de la planta de frutilla var. Festival

Ca meq.L ⁻¹	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	No. FLORES	No. HOJAS	No. BROTOS	No. FRUTO
T ₀ (0.0)	6.52 c	10.22 b	0.19 ab	2.89 b	0.67	0.22 ab
T ₁ (2.5)	6.49 c	10.41 b	0.40 b	2.88 b	0.62	0.45 ab
T ₂ (5.0)	5.82 b	8.31 a	0.11 ab	2.01 a	0.56	0.00 a
T ₃ (7.5)	5.03 a	8.09 a	0.04 a	1.98 a	0.51	0.00 a
T ₄ (10.0)	6.52 c	9.28 b	0.24 ab	1.95 a	0.34	0.00 a
LINEAL	NS	*	NS	***	NS	*
CUADRÁTICA	*	NS	NS	NS	NS	NS

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$)

NS, *, **, ***; no significativo o significativo $p<0.05$, 0.01 y 0.001 respectivamente.

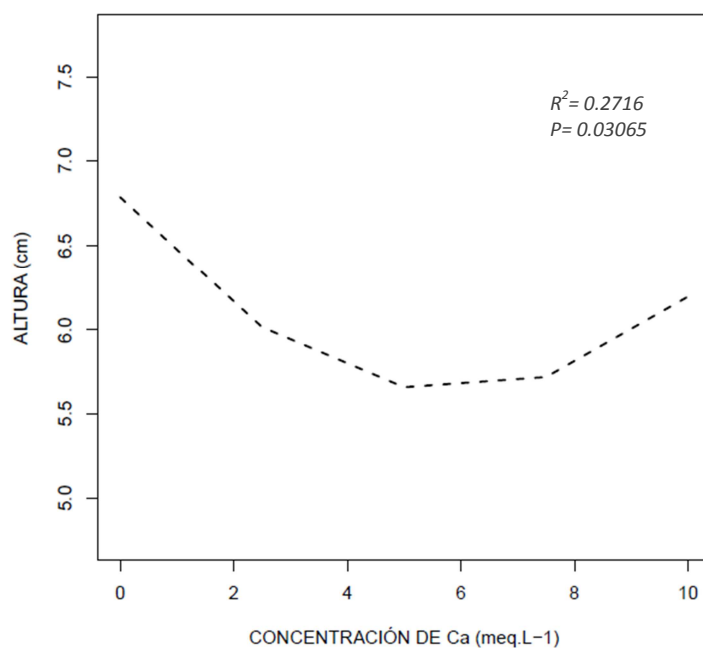


Figura 3 Regresión cuadrática de la variable altura en la planta de frutilla con diferentes niveles de calcio



Gráfico 2 Altura de la planta de frutilla var. Festival con niveles de calcio

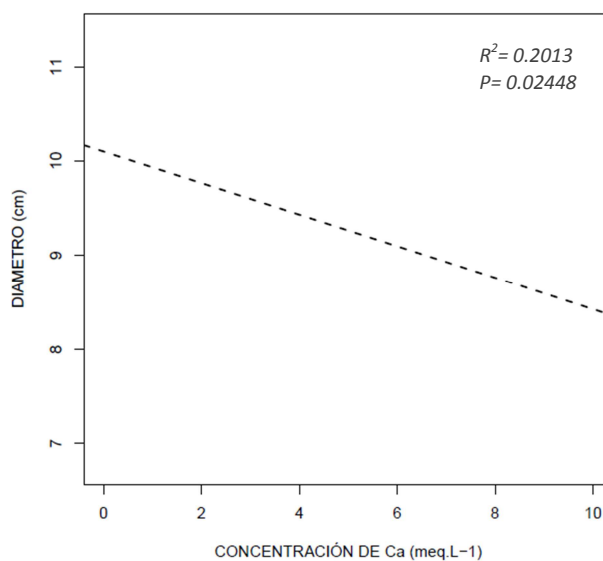


Figura 4 Regresión lineal de la variable diámetro de la corona en la planta de frutilla con diferentes niveles de calcio



Gráfico 3 Diámetro de la corona de la planta de frutilla var. Festival con niveles de calcio

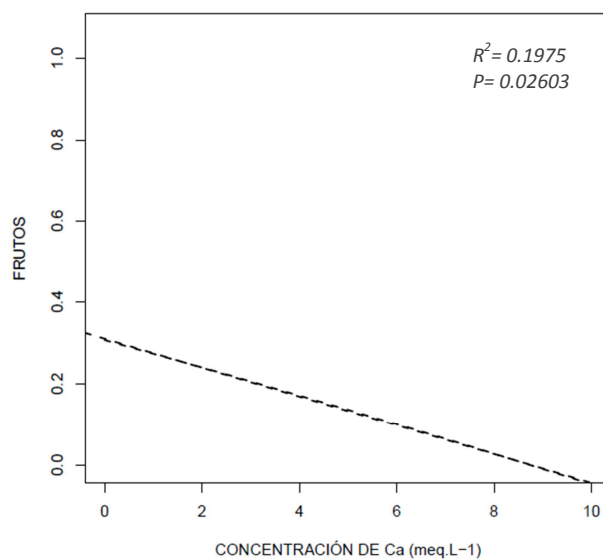


Figura 5 Regresión lineal de la variable número de frutos en la planta de frutilla con diferentes niveles de calcio



Gráfico 4 Número de frutos de la planta de frutilla var. Festival con niveles de calcio

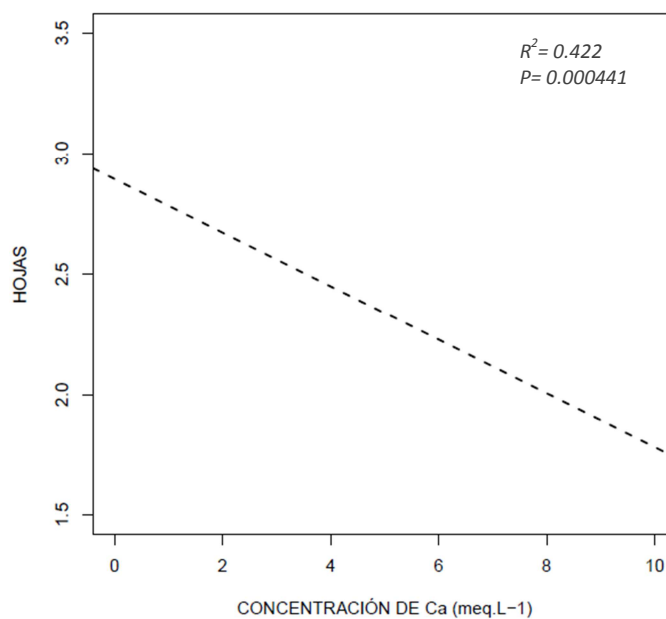


Figura 6 Regresión lineal de la variable número de hojas con diferentes niveles de calcio



Gráfico 5 Número de hojas de la planta de frutilla var. Festival con niveles de calcio

En el cuadro 8 se presentan la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de las variables ya descritas. Donde al aplicar diferentes niveles, se obtuvieron para la altura 6.52 cm del Testigo (sin aplicación de calcio) y T4 (10 meq.L⁻¹), para el diámetro de la corona, número de flores y frutos se obtuvo que el mejor tratamiento pertenece al T1 (2.5 meq.L⁻¹) correspondiente a 10.41, 0.40 y 0.45

respectivamente, para el número de hojas se obtuvo que el mejor tratamiento estadísticamente fue el testigo (sin aplicación de calcio) y T1(2.5 meq.L⁻¹) correspondiente a 2.89 y 2.88 respectivamente y para número de brotes no existió diferencias significativas para ninguno de los tratamientos. En figura 3,4 y 5 se mostró un efecto inverso para las variables diámetro de la corona, número de frutos, hojas con respecto a las diferentes concentraciones de Ca. Para la variable altura se mostró una regresión cuadrática la cual se puede explicar con la relación fuente – demanda debido a que puede ir cambiando durante el desarrollo de vida de la planta y está determinado por el número y sitios de demanda. “Varios estudios han demostrado que la demanda regula la fuente, es decir si a un árbol se le corta todos los frutos, disminuye la capacidad fotosintética de las hojas, aumenta la resistencia estomática, aumenta el contenido de almidón en las hojas y aumenta el CO₂ interno; por el contrario si se eliminan las hojas y solo permanecen los frutos se aumenta la velocidad fotosintética” (Melendez & Molina, 2002).

Según (Motamedi, Jafarpour, & Shams, 2013) en la aplicación de nitrógeno utilizados en dos niveles (10 y 12 meq.L⁻¹) y calcio usado en tres niveles (5,10 y 15 meq.L⁻¹) se observó que el incremento del Ca (10 meq.L⁻¹) tuvo efectos positivos en el crecimiento de la planta, ya que este elemento era inactivo en la misma. A diferencia del presente trabajo donde se demuestra que con el nivel de 2.5 meq.L⁻¹ se obtuvo efectos positivos en altura, diámetro de la corona número de flores, hojas y frutos, al contrario de aplicar niveles altos de calcio (5-10 meq.L⁻¹) donde las variables mostraron efectos negativos debido a que el calcio no ocasiona toxicidad a las plantas a concentraciones altas (Bennett, 1993) pero la aplicación frecuente de este nutrimento ocasiona antagonismo con potasio y magnesio, reduciendo el desarrollo de las plantas (Marschner, 1995).

El calcio es un elemento importante y esencial para la formación y desarrollo inicial de todos los órganos y tejidos de las plantas ya que es indispensable para la formación de cada una de las células y su multiplicación (Yáñez, 2002).

Cuadro 9

Influencia de la concentración de calcio en las características de crecimiento de la planta de frutilla var. Festival con evaluación semanal

SEMANA	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	No FLORES	No HOJAS	No BROTOS	No FRUTO
8	5.53 a	8.29 a	0.59 b	1.87 a	1.08 b	0.00
16	5.92 a	9.48 b	0.31 ab	2.56 b	0.44 a	0.00
24	6.17 ab	9.81 bc	0.08 a	2.30 ab	0.00 a	0.11
32	6.15 ab	10.27 c	0.00 a	2.28 ab	1.04 b	0.26
40	6.62 b	10.55 c	0.00 a	2.70 b	0.15 a	0.30

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Para el factor niveles de calcio con evaluación semanal se encontraron diferencias significativas en las variables altura ($p_{(5;16)}=0.0226$), número de flores ($p_{(5;16)}=0.0023$), diámetro de la corona ($p_{(5;16)}=0.0001$), número de hojas ($p_{(5;16)}=0.0258$) y número de brotes ($p_{(5;16)}=0.0003$).

En el cuadro 9 se presenta la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de las variables a medirse y se determinó que al aplicar diferentes niveles de Ca se obtuvo para la altura (6.62 cm), número de hojas (2.70), número de frutos (0.30) y diámetro de la corona (10.55 cm) en la semana cuarenta, mientras que para el número de flores y número de brotes se obtuvo el mejor resultado a la semana ocho, correspondiente a los valores 0.59 y 1.08 respectivamente.

La concentración de calcio es diferente en las cuatro variedades (Albion, Festival, Jacona y Zamorana), sin embargo incrementaron su valor en los días 15 ddt (días después del trasplante), 60 ddt, 105 ddt y 150 ddt, observándose un aumento en la concentración de calcio según avanza el desarrollo de la planta (Aguilar M. , 2011), en contraste con el presente trabajo donde se observaron que en la semana 32 y 40 (62 y 70 ddt) el desarrollo de la planta se fue incrementando con las diferentes niveles de calcio ya que el calcio activa la elongación y la multiplicación celular en los tejidos meristemáticos, este elemento ejerce una acción favorable sobre el crecimiento radical y es necesario en la germinación y para el crecimiento de los tubos polínicos; son necesarias pequeñas cantidades de calcio para que se lleve a cabo la división celular (mitosis), es un importante constituyente de la pared celular (Alcántar & Trejo, 2007).

Cuadro 10

Peso fresco y seco de las hojas de la planta de frutilla var. Festival con diferentes niveles de calcio

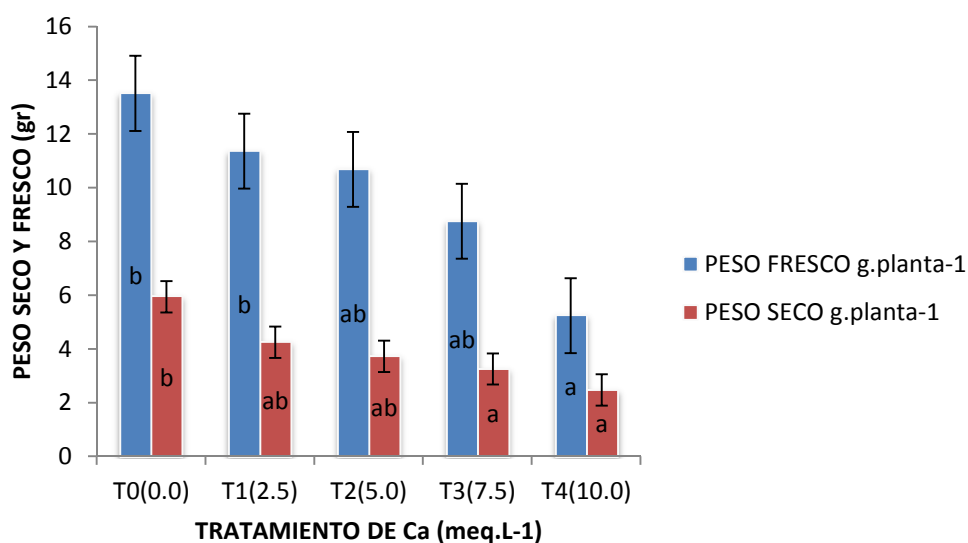
CALCIO (meq.L⁻¹)	PESO FRESCO g.planta⁻¹	PESO SECO g.planta⁻¹
T ₀ (0.0)	13.51 b	5.94 b
T ₁ (2.5)	11.36 b	4.25 ab
T ₂ (5.0)	10.68 ab	3.72 ab
T ₃ (7.5)	8.75 ab	3.25 a
T ₄ (10.0)	5.23 a	2.47 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Para la variable peso seco ($p_{(16;75)}=0.0530$) y fresco ($p_{(16;75)}=0.0444$) de las hojas con niveles de Calcio se encontraron diferencias significativas para los tratamiento

En el cuadro 10 se presenta la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de la variable ya descrita. Donde al aplicar diferentes niveles se obtuvo diferencias significativa entre tratamientos, se pudo observar que en el Testigo (sin aplicación de Ca) obtuvo el mayor peso fresco 13.51 gr y seco 5.94 gr.

En el presente estudio se encontró que existieron diferencias significativas donde al suministrar bajos niveles de calcio (0 -2.5 meq.L⁻¹), el peso seco y fresco obtuvieron los valores más altos en cuanto a g.planta⁻¹, pero los niveles más altos (5-10 meq.L⁻¹) mostraron valores bajos en las variables mencionadas, similar a estudio de (Delgado & Sandoval, 2006) donde se obtiene los mismos resultados para las variables área foliar, peso fresco y seco donde se presentó un decremento al aplicar dosis altas de nitrato de calcio, coincidiendo también con lo reportado por (Carpita, 1987) donde algunos intervalos de concentración de calcio inhiben el crecimiento y la extensión de la pared celular.



T0: Testigo; T1: 2.5 meq.L⁻¹ Ca; T2: 5.0 meq.L⁻¹ Ca; T3: 7.5 meq.L⁻¹ Ca; T4: 10.0 meq.L⁻¹ Ca

Figura 7 Análisis de peso fresco y seco de la planta de frutilla var. Festival

Cuadro 11

Evaluación de clorofila en las hojas de la planta de frutilla var. Festival mediante un clorómetro (ICC) con diferentes niveles de calcio

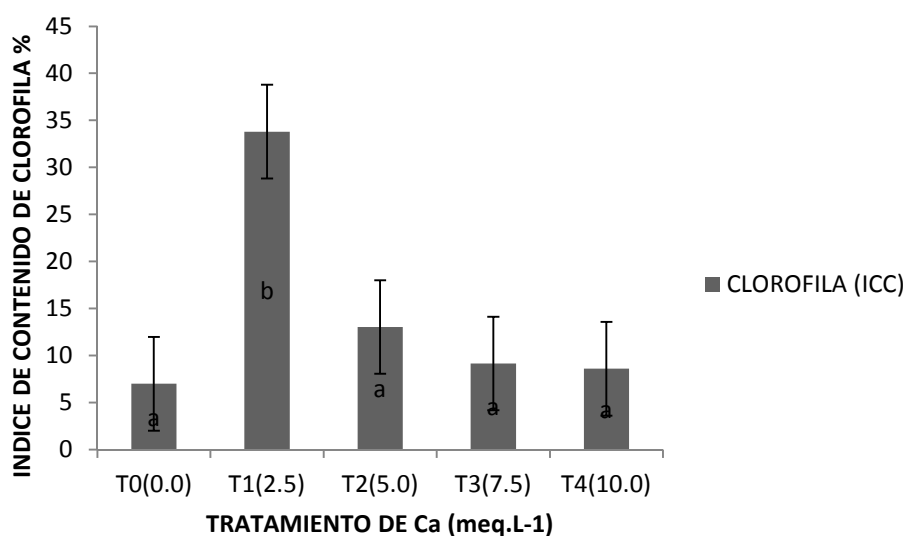
CALCIO (meq.L ⁻¹)	CLOROFILA (ICC)
T ₀ (0.0)	6.98 a
T ₁ (2.5)	33.80 b
T ₂ (5.0)	13.03 a
T ₃ (7.5)	9.14 a
T ₄ (10.0)	8.58 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En el cuadro 11 se presenta la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de las variables ya descritas. Donde al aplicar diferentes niveles de Ca se obtuvo para la clorofila el valor más alto corresponde a T1 (2.5 meq.L⁻¹) correspondiente al valor de la media de 33.80 ($p_{(16;75)} < 0.0001$).

En el presente trabajo se pudo observar que a menor concentración de calcio tales como T1(2.5 meq.L⁻¹) y T2 (5.0 meq.L⁻¹) se obtiene un mayor valor de clorofila en las plantas de frutilla, de la misma manera (Khayyat, Rajae, & Sajjadinia, 2007) señalan que con dosis bajas en el tratamiento de CaCl₂ (5 mM) tiene un menor

contenido de clorofila en las hojas y que al incrementar la concentración de CaCl_2 aumentó significativamente el contenido de clorofila ($0,95$ a $1,1$) $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, esto se debe a que el calcio juega un papel esencial en los procesos de preservar la integridad estructural y funcional de las membranas vegetales (Marschner, 1995). El medidor de clorofila portátil se utilizó para medir la hoja verde de las plantas el cual puede estimar las cantidades totales de clorofila en las hojas de una variedad de especies con un alto grado de precisión, con un método no destructivo (Neufeld, 2006).



T0: Testigo; T1: 2.5 meq.L⁻¹ Ca; T2: 5.0 meq.L⁻¹ Ca; T3: 7.5 meq.L⁻¹ Ca; T4: 10.0 meq.L⁻¹ Ca

Figura 8 Análisis de índice de contenido de clorofila mediante un clorómetro en las hojas de la planata de frutilla var. Festival

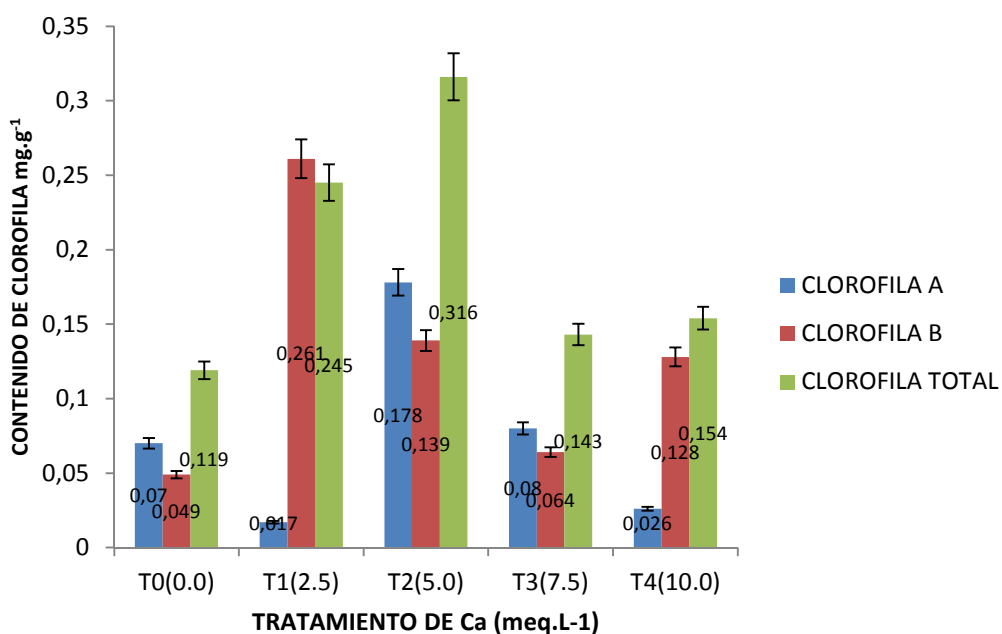
Cuadro 12

Evaluación del contenido de clorofila con diferentes concentraciones de calcio mediante un espectrofotómetro en la hoja de la planta de frutilla var. Festival

TRATAMIENTO	CLOROFILA A	CLOROFILA B	CLOROFILA TOTAL
meq.L ⁻¹	mg.g ⁻¹	mg.g ⁻¹	mg.g ⁻¹
T₀(0.0)	0.070	0.049	0.119
T₁(2.5)	0.017	0.261	0.245
T₂(5.0)	0.178	0.139	0.316
T₃(7.5)	0.080	0.064	0.143
T₄(10.0)	0.026	0.128	0.154

En el cuadro 12 se presenta el contenido de clorofila a, b y total aplicando diferentes niveles de calcio. Se observó que el tratamiento T2 (5.0 meq.L⁻¹) obtuvo el valor más alto de contenido de clorofila

El contenido de clorofila total en la hoja de frutilla se incrementó al aplicar niveles de calcio entre (2.5 – 5 meq.L⁻¹) este resultado se asemeja a lo publicado por (Arce, 2012) donde el contenido de clorofila a, b y total destacó en el tratamiento con 25 mg.L⁻¹ en solución nutritiva, el cual fue el más alto. Nuevamente el resultado se contrasta con (Wang & Galletta, 1998) quienes, utilizando la misma técnica espectrofotométrica, concluyeron que el contenido total de clorofila en las plantas de fresa aumenta conforme se incrementa la concentración de silicio y calcio.



T0: Testigo; T1: 2.5 meq.L⁻¹ Ca; T2: 5.0 meq.L⁻¹ Ca; T3: 7.5 meq.L⁻¹ Ca; T4: 10.0 meq.L⁻¹ Ca

Figura 9 Contenido de clorofila con diferentes niveles de calcio mediante un espectofotómetro en las hoja de la planta de frutilla var. Festival

Cuadro 13

Evaluación del contenido de calcio mediante un proceso de titulación

TRATAMIENTO	Ca meq
T ₀ (0.0)	4
T ₁ (2.5)	6
T ₂ (5.0)	8
T ₃ (7.5)	10
T ₄ (10.0)	8

En el cuadro 13 se observa que a mayor nivel de calcio mayor concentración del mismo, como es el caso del T3 (7,5 meq.L⁻¹) que obtuvo el valor de 10 meq.L⁻¹ en el tejido vegetal y al no aplicar Ca en la solución (T0) se observó el bajo contenido de este elemento (4 meq.L⁻¹) en las hojas de frutilla var. Festival.

El contenido de Ca en hojas aumentó significativamente al aplicar 9meq.L⁻¹ de este elemento en el cultivo de (*Lycopersicon esculentum* Mill.), mostrando que por cada 100gr de muestra se obtuvo 2,1 g de calcio en las hojas de tomate (mayor contenido) (Parra, Villareal, Sánchez, Corrales, & Hernandez, 2008), al igual que la presente investigación se muestra que a medida que se incrementan los niveles de Ca, también se incrementa el contenido de este elemento en las hojas de frutilla.

Esto se debe a que el incremento del calcio en las hojas se asocia con el aumento en la concentración de Ca en la solución, ya que el acceso de este nutriente a la raíz es por flujo de masas, por lo que la cantidad de Ca que se acumula en la raíz depende, entre otros factores, de su concentración en la solución y del coeficiente de transpiración del cultivo (Alcántar & Trejo, 2007). Así mismo mencionan que a mayor concentración de Ca en la solución mayor es la cantidad que se acumula en la zona radical, facilitando el proceso de su absorción por la planta, ya que el transporte hacia la raíz es el primer paso de una serie dinámica de procesos que continúan con la absorción, translocación y utilización del Ca en procesos metabólicos, lo que explicaría el aumento significativo del contenido de Ca en las hojas de frutilla al utilizar 10meq.L⁻¹ en la solución.

Cuadro 14

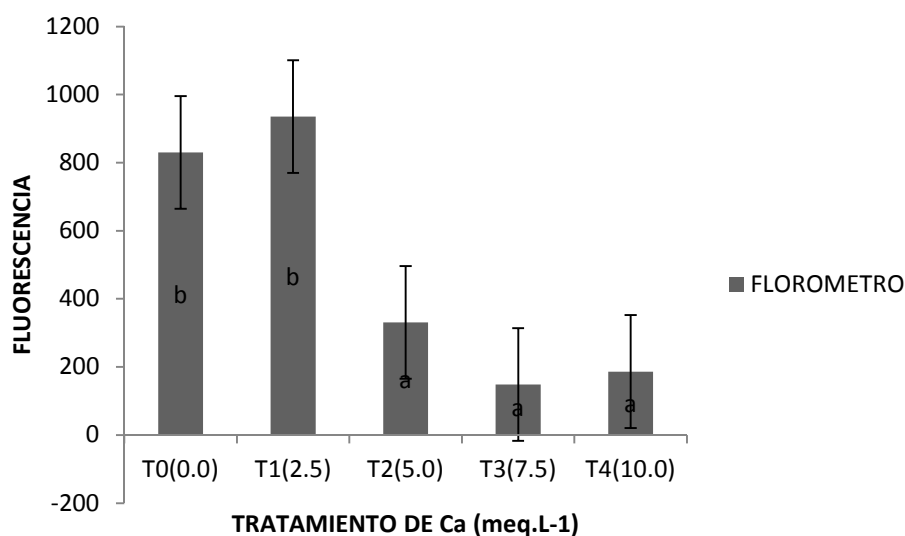
Evaluación de la concentración de calcio mediante un fluorómetro en la hoja de la planta de frutilla var. Festival

TRATAMIENTO	FLUOROMETRO
T ₀ (0.0)	830.38 b
T ₁ (2.5)	935.20 b
T ₂ (5.0)	331.08 a
T ₃ (7.5)	148.30 a
T ₄ (10.0)	186.50 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Para el factor evaluación de clorofila de la concentración de fósforo se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p_{(15;54)} < 0.0001$). En el cuadro 14 se presenta la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de las variables ya descritas. Donde al aplicar diferentes niveles de Ca se obtuvo para la fluorescencia el valor más alto corresponde a T1 (2.5 meq.L⁻¹) correspondiente al valor de la media de 935,20.

Según (Benavides, 2014) la aplicación de CaCl₂ no afectó significativamente a la mayoría de los parámetros de fluorescencia, a comparación del presente trabajo donde se muestran diferencias significativas al aplicar niveles altos de Ca se observó bajo contenido de fluorescencia ya que esta puede medir la mayoría de los tipos de estrés de la planta debido a las tensiones ambientales, por ejemplo, temperaturas extremas, la luz y la disponibilidad de agua, puede reducir la capacidad de una planta para metabolizar normalmente (Baker, 2008). Importante es reconocer que la fluorescencia clorofílica entrega información acerca del estado del fotosistema II (Maxwell & Jhonson, 2000). La fluorescencia clorofílica es un indicador de estrés que permite tener una visión del estado en el que se encuentra el fotosistema II, por lo tanto se deriva de ello, la capacidad a la cual la planta como un todo está respondiendo en términos de asimilación fotosintética, una planta que trabaja al nivel máximo con sus fotosistemas, es una planta que puede tener un rendimiento cuántico óptimo (Alegria, 2011).



T0: Testigo; T1: 2.5 meq.L⁻¹ Ca; T2: 5.0 meq.L⁻¹ Ca; T3: 7.5 meq.L⁻¹ Ca; T4: 10.0 meq.L⁻¹ Ca

Figura 10 Contenido de fluorescencia en la hoja de la planata de frutilla var. Festival mediante un fluorómetro

4.3. Relación Ca y P

4.3.1. Evaluación de la relación de los niveles de Ca y P para determinar los problemas de correlación en la producción y calidad del fruto.

Para el factor de la relación de la concentración de fósforo y calcio se encontraron diferencias significativas en las variables altura ($p_{(5;11)} < 0.0001$), diámetro de la corona ($p_{(5;11)} < 0.0001$), número de flores ($p_{(5;11)} = 0.0127$), hojas ($p_{(5;11)} < 0.0001$) y fruto ($p_{(5;11)} = 0.0155$). Al realizar el ADEVA para la regresión lineal se encontraron diferencias significativas en altura ($p = 0.00046$) y regresión cuadrática en diámetro de la corona ($p = 0.000256$); número de hojas ($p = 0.03674$) y frutos ($p = 0.03674$).

Cuadro 15

Influencia de la interacción de la concentración de fósforo y calcio en las características de crecimiento de la planta de frutilla var. Festival

INTERACCIÓN Meq.L ⁻¹	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	No. FLORES	No. HOJAS	No. BROTOS	No. FRUTO
1 (0.5-2.5)	5.89 c	10.16 c	0.18 ab	2.96 d	0.39	0.34 b
2(1.0-5.0)	5.68 c	7.87 b	0.39 b	2.49 c	0.19	0.00 a
3(2.0-7.5)	4.08 a	5.51 a	0.00 a	2.17 b	0.28	0.00 a
4(2.5-10.0)	4.54 b	6.98 b	0.19 ab	2.45 a	0.17	0.03 a
LINEAL	***	NS	NS	NS	NS	NS
CUADRÁTICA	NS	***	NS	*	NS	*

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

NS, *, **, ***; no significativo o significativo $p < 0.05$, 0.01 y 0.001 respectivamente.

En el cuadro 15 se presenta la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de las variables ya descritas. Donde al aplicar diferentes niveles de calcio y fósforo se obtuvo los mejores resultados en la relación 1 para la altura, diámetro de la corona, número de hojas y frutos correspondientes a 5.89 cm, 10.16 cm, 2.96 y 0.34 respectivamente, para el número de flores se obtuvo el mejor resultado en la interacción 2 correspondiente a 0.39 y referente al número de brotes no se encontró diferencias significativas entre tratamientos. En la figura 11 se observó un efecto inverso para la variable altura con respecto a las diferentes concentraciones de P y Ca. Para la figura 12 y 13 se observó una regresión cuadrática para las variables diámetro de la corona y número de frutos con respecto a las diferentes concentraciones de P y Ca.

Mortvedt (1972) hace énfasis en la compleja naturaleza de las relaciones entre crecimiento de la planta, la concentración de nutrientes en solución y la concentración de los mismos dentro de la planta; el crecimiento depende de varios factores que interactúan entre sí, tales como: el abastecimiento de nutrientes, el rango de absorción de los nutrientes, la distribución de éstos hacia sitios funcionales y la movilidad de los mismos.

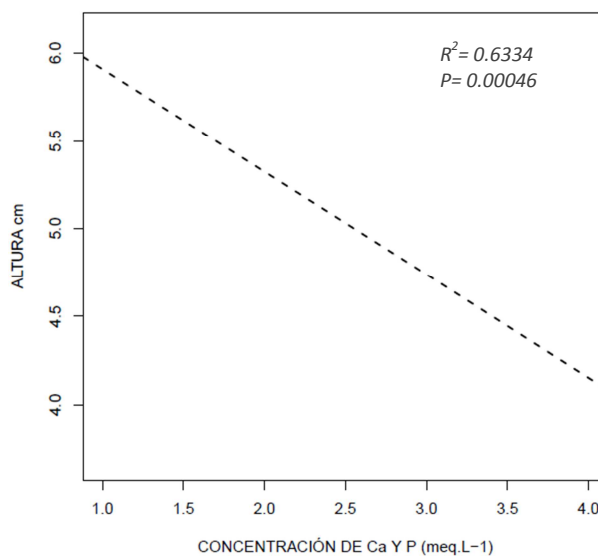


Figura 11 Regresión lineal de la variable altura en la relación P - Ca en la planta de frutilla var. Festival

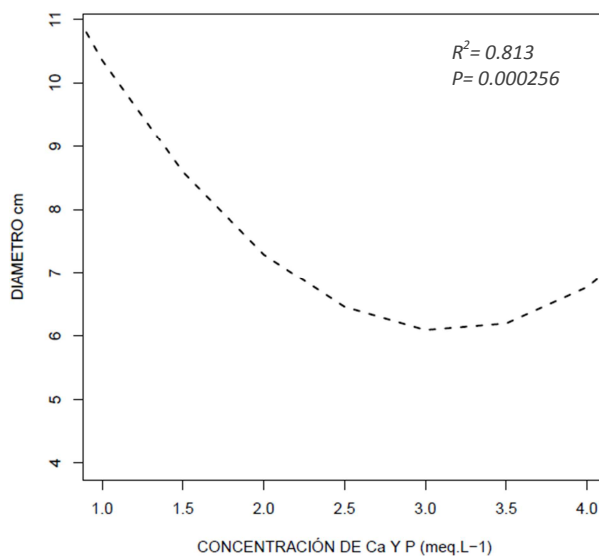


Figura 12 Regresión cuadrática de la variable diámetro de la corona en la relación P - Ca en la planta de frutilla var. Festival

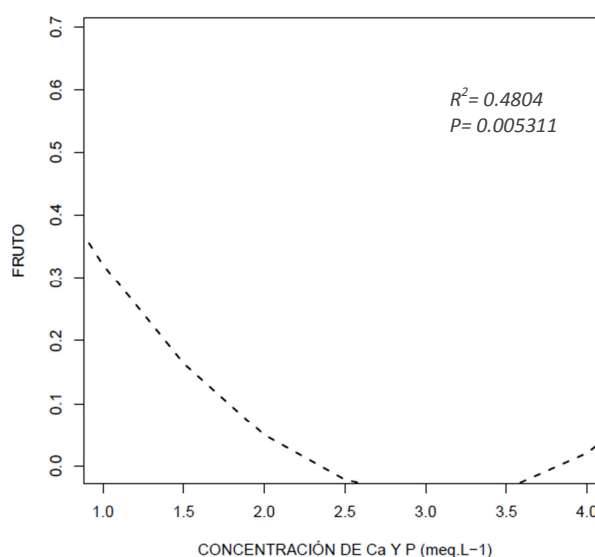


Figura 13 Regresión cuadrática de la variable número de frutos en la relación P - Ca en la planta de frutilla var. Festival

Cuadro 16

Influencia de la interacción de la concentración de fósforo y calcio en las características de crecimiento de la planta de frutilla var. Festival con evaluación semanal

SEMANA	ALTURA (cm)	DIÁMETRO (cm)	No FLORES	No HOJAS	No BROTOS	No FRUTO
8	4.76 a	7.32	0.28	1.82 a	0.50 b	0.00
16	5.08 ab	7.65	0.24	2.11 b	0.53 b	0.02
24	5.20 b	7.92	0.21	2.32 bc	0.15 ab	0.08
32	5.20 b	7.67	0.16	2.52 c	0.14 ab	0.16
40	5.00 ab	7.49	0.05	2.52 c	0.03 a	0.21

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Para el factor de la interacción de la concentración de fósforo y calcio se encontraron diferencias significativas en las variables altura ($p_{(5;11)}=0.0668$), número de hojas ($p_{(5;11)}=0.0003$) y brotes ($p_{(5;11)}=0.0695$).

En el cuadro 16 se presenta la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de las variables ya descritas. Donde al aplicar diferentes niveles de calcio y fósforo se obtuvo los mejores resultados en la semana 24 y 32 para la altura correspondiente a 5.20 para ambas, en el número de hojas se obtuvo en la semana 32 y 40 correspondiente a 2.52 para ambas, número de brotes se obtuvo en la semana 8

y 16 correspondientes a 0.50 y 0.53 respectivamente y referente a número de flores, diámetro de la corona y número de frutos no se obtuvieron diferencias significativas entre semanas.

El estudio realizado por (Rincon, Gallardo, Leal, & Rojas, 2003) demostró a nivel de vivero la respuesta en crecimiento de *Acacia mangium* (Willd) ante diferentes relaciones de calcio:fósforo en el suelo. Se utilizaron las relaciones 10:1, 31:1, 44:1 y 133:1. Los cuatro tratamientos fueron evaluados con cuatro repeticiones a los 45, 90 y 135 días después de la siembra. Una relación Ca:P cercana a 10:1 representa la más favorable para el crecimiento en *A. mangium* y que se produce un efecto negativo sobre estas variables a medida que esta relación aumenta.

Cuadro 17

Peso seco y fresco en la relación P – Ca en la planta de frutilla var. Festival

RELACIÓN meq.L ⁻¹	PESO FRESCO gr.planta ⁻¹	PESO SECO gr.planta ⁻¹
1 (0.5-2.5)	19.06 b	5.78 b
2(1.0-5.0)	16.71 b	4.25 ab
3(2.0-7.5)	4.70 a	2.59 a
4(2.5-10.0)	9.28 a	3.20 a

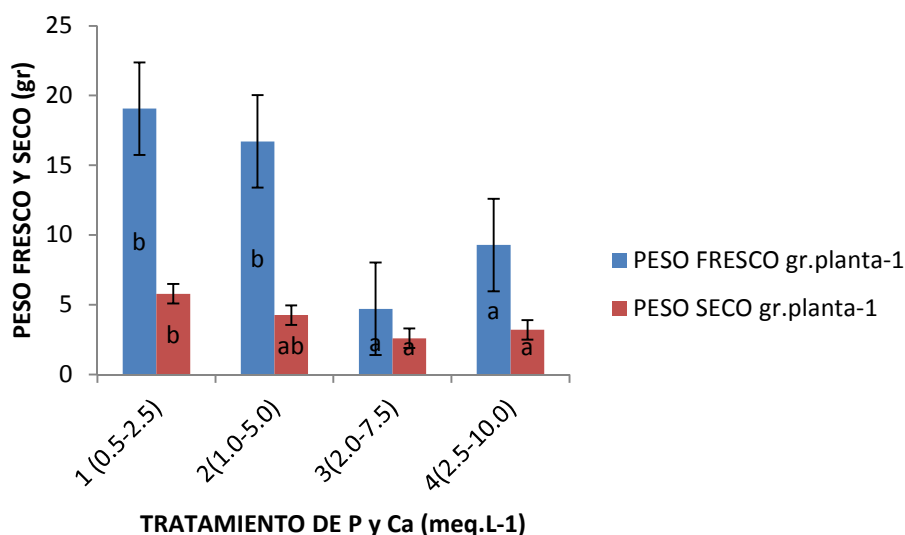
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

En el cuadro 17 se presenta la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de las variables ya descritas. Donde al aplicar diferentes niveles de P y Ca se obtuvo que hubo diferencias significativas para peso fresco ($p_{(16;60)} < 0.0001$) y seco ($p_{(16;60)} = 0.0162$) el valor más alto en la relación fósforo-calcio fue la número 1 (0,5meq.L⁻¹ P + 2,5meq.L⁻¹ Ca) correspondiente a 19.063 y 5.783 respectivamente.

La importancia en la producción de cultivos de las interacciones nutrimentales muestran que los más altos rendimientos han sido obtenidos donde los nutrientes y otros factores del crecimiento están favorablemente balanceados, cuando uno se aleja de ese estado los antagonismos se reflejan en reducción del rendimiento; las interacciones antagonistas y sinergistas están determinadas por el nivel de cada nutriente en el suelo y la especie de la planta y algunas veces entre cultivares de la misma especie, en suma, la física, química y las propiedades biológicas del suelo

también cambian los patrones de las interacciones de nutrientes en las plantas (Fageria & Baligar, 1999).

El mejor entendimiento de esas propiedades del suelo nos puede conducir a reducir las interacciones negativas y a hacer más eficiente la producción de los cultivos. Aunque han sido reportados muchos estudios, las interacciones no están completamente caracterizadas. Las interacciones entre macro y micronutrientes necesitan más estudio y caracterización, especialmente bajo condiciones de campo (Fageria & Baligar, 1999).



T1: 0.5 meq.L⁻¹ P + 2.5 meq.L⁻¹ Ca; T2: 1.0 meq.L⁻¹ P + 5.0 meq.L⁻¹ Ca; T3: 2.0 meq.L⁻¹ P + 7.5 meq.L⁻¹ Ca; T4: 2.5 meq.L⁻¹ P + 10.0 meq.L⁻¹ Ca

Figura 14 Análisis de peso fresco y seco de la planta de frutilla var. Festival en la relación P - Ca

Cuadro 18

Evaluación del contenido de calcio en la relación P – Ca mediante un proceso de titulación

RELACIÓN	Ca meq
1 (0.5-2.5)	6
2(1.0-5.0)	8
3(2.0-7.5)	8
4(2.5-10.0)	2

En el cuadro 18 se presenta el contenido de Calcio en la relación P-Ca donde al aplicar diferentes niveles de P y Ca se observó que en la relación 2 y 3 obtuvieron los valores más altos en contenido de Ca (meq.L^{-1}) correspondiente a 8 meq.L^{-1} para ambos tratamientos.

La interacción entre nutrientes en las plantas cultivadas ocurre cuando al abastecimiento de uno de los nutrientes afecta la absorción y utilización de otros nutrientes, este tipo de interacción es muy común cuando un nutriente tiene un exceso de concentración en el medio de cultivo, estas interacciones pueden ocurrir en la superficie de la raíz o dentro de la planta y pueden ser clasificadas en dos categorías principales; en la primera están los precipitados o complejos que ocurren entre iones por su capacidad de formar vínculos químicos; en la segunda es entre iones con propiedades tan similares que compiten por el sitio de adsorción, absorción, transporte y función en la raíz de las plantas o dentro de sus tejidos, estas interacciones son comunes entre nutrientes de similar tamaño, carga, geometría de coordinación y configuración electrónica, este tipo de interacción es común entre Ca^{2++} , Mg^{2++} , K^+ , y Na^+ (Fageria V. , 2001).

Cuadro 19

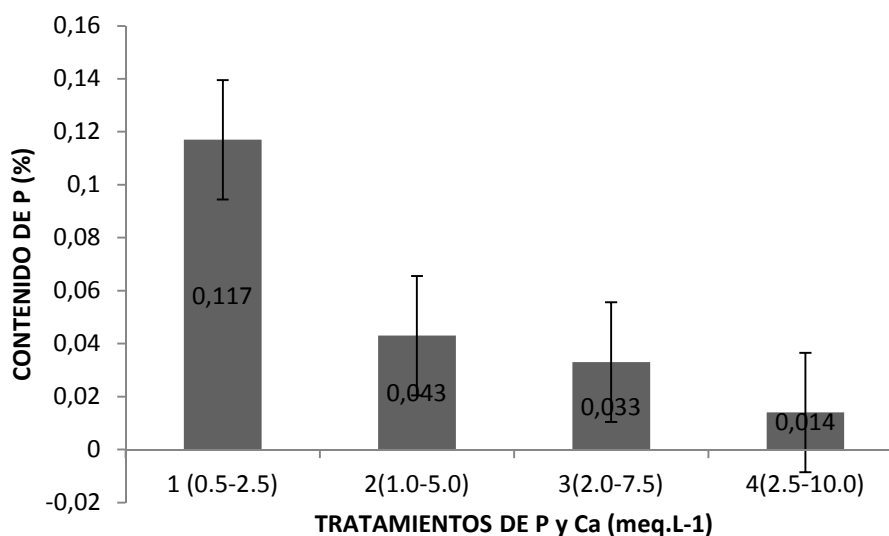
Evaluación del contenido de fósforo en la relación P-Ca

RELACIÓN	P meq	%
1 (0.5-2.5)	1.176	0.117
2(1.0-5.0)	0.433	0.043
3(2.0-7.5)	0.332	0.033
4(2.5-10.0)	0.137	0.014

En el cuadro 19 se presenta el porcentaje del contenido de fósforo en la relación P-Ca se observó que en la interacción 1 ($0,5 \text{ meq.L}^{-1} \text{ P} + 2,5 \text{ meq.L}^{-1} \text{ Ca}$) se obtuvo el valor más alto en contenido de Fósforo a comparación de las demás interacciones.

La interacción fósforo-calcio se debe fundamentalmente a la formación de fosfatos de Ca de muy distintas solubilidades a la retención de fósforo en las superficies de carbonato cálcico. A nivel de toma de fósforo por las plantas, se ha encontrado una acción estimulante del calcio en la absorción de fósforo. Para

explicar esta actuación se han dado distintas teorías. Uno de los mecanismos propuestos supone que el calcio incrementa la velocidad de transporte de fósforo a causa de su efecto en los transportadores de éste; otro indica un efecto pantalla del calcio en los lugares electronegativos, dando lugar a una mayor accesibilidad a los puntos más específicos de iones fosfatos (Fernandez, 2007).



T1: 0.5 meq.L⁻¹ P + 2.5 meq.L⁻¹ Ca; **T2:** 1.0 meq.L⁻¹ P + 5.0 meq.L⁻¹ Ca; **T3:** 2.0 meq.L⁻¹ P + 7.5 meq.L⁻¹ Ca; **T4:** 2.5 meq.L⁻¹ P + 10.0 meq.L⁻¹ Ca

Figura 15 Contenido de fósforo con diferentes niveles de P - Ca en la hoja de la planta de frutilla var. Festival

Cuadro 20

Evaluación de la concentración de la relación fósforo y calcio mediante un fluorómetro en la planta de frutilla var. Festival

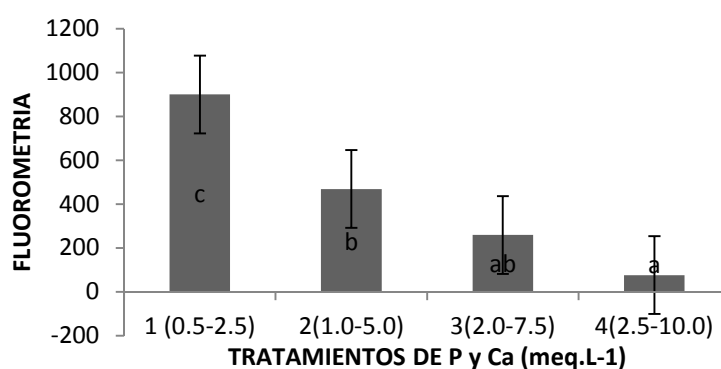
RELACIÓN	FLUOROMETRO
1 (0.5-2.5)	899.75 c
2(1.0-5.0)	468.33 b
3(2.0-7.5)	258.75 ab
4(2.5-10.0)	76.00 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Para el factor de la concentración de la relación de fósforo y calcio se encontraron diferencias significativas ($p_{(16;27)} < 0.0001$).

En el cuadro 20 se presenta la separación de medias con la prueba de Duncan al 5%, de las variables ya descritas. Donde al aplicar diferentes niveles de calcio y fósforo se obtuvo los mejores resultados en la interacción 1 correspondiente a 899.75.

Las relaciones entre nutrientes pueden ser positivas o negativas y puede ser posible que no haya interacción. Cuando la respuesta del cultivo a la combinación de nutrientes es más grande que la suma de sus efectos individuales, la interacción es positiva; cuando el efecto de la combinación es más pequeño, la interacción es negativa; en el primer caso los nutrientes presentan sinergismo y en el último caso es antagonismo. Si no hay diferencia de la respuesta en la combinación con respecto a su aplicación separadamente, hay ausencia de interacción. En la mayoría de los experimentos de nutrición en plantas es estudiado el efecto de un solo nutriente en el crecimiento de las plantas, sin embargo las investigaciones que analizan el efecto de más de un nutriente en el mismo experimento son limitadas; bajo esta situación las interacciones entre los nutrientes pueden ser identificadas tomando en consideración los efectos de incrementar concentraciones de nutrientes en la toma o absorción de otro nutriente y su correspondiente respuesta del cultivo (Fageria V. , 2001)



T1: 0.5 meq.L⁻¹ P + 2.5 meq.L⁻¹ Ca; **T2:** 1.0 meq.L⁻¹ P + 5.0 meq.L⁻¹ Ca; **T3:** 2.0 meq.L⁻¹ P + 7.5 meq.L⁻¹ Ca; **T4:** 2.5 meq.L⁻¹ P + 10.0 meq.L⁻¹ Ca

Figura 16 Contenido de fósforo con diferentes niveles de P - Ca mediante un fluorómetro en la hoja de la planta de frutilla var. Festival

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Al aplicar $0,5 \text{ meq.L}^{-1}$ de P (T1), se obtuvieron los mejores valores para altura, diámetro de la corona, número de flores, hojas y frutos en la planta de frutilla var. Festival. En el peso fresco y seco en las plantas de frutilla con aplicación de diferentes niveles de fósforo no mostraron diferencias entre los tratamientos lo que quiere decir que los niveles no influyen de manera directa sobre estas variables.

El mejor tratamiento que se muestra en la investigación en cuanto a la aplicación de Ca en el sistema semi-hidropónico de frutilla fue de $2,5 \text{ meq.L}^{-1}$ ya que presenta los mejores valores para las variables altura, diámetro de la corona, número de flores, número de hojas, brotes y frutos. En las diferentes aplicaciones de calcio se observó que ha mayor concentración de Ca ($7-10 \text{ meq.L}^{-1}$) menor es el peso fresco y seco de las plantas y a una concentración de $2,5 \text{ meq.L}^{-1}$ de Ca se obtuvieron peso fresco y seco de $11,36$ y $4,25 \text{ g.planta}^{-1}$ respectivamente.

La relación P-Ca que brindó los mejores resultados para las variables altura, diámetro de la corona, número de flores, hojas, brotes y número de frutos en las planta de frutilla fueron de $0,5$ P y $2,5$ Ca meq.L^{-1} .

El nivel de fósforo $0,5 \text{ meq.L}^{-1}$ y Ca $2,5 \text{ meq.L}^{-1}$ mostraron un alto porcentaje de clorofila $35,06\%$ y $33,80\%$ respectivamente. La relación P-Ca de $0,5$ y $2,5 \text{ meq.L}^{-1}$ fueron las más adecuadas para el contenido de clorofila, peso seco y fresco, fluorescencia.

La variable altura con diferentes niveles de calcio presentó una regresión cuadrática mostrando la relación fuente-demanda, de igual manera este efecto se presentó en la relación P-Ca para las variables diámetro de la corona y número de frutos.

5.2. Recomendaciones

Para un desarrollo óptimo de la planta de frutilla se recomienda utilizar niveles entre 0,5 y 1,0 meq.L⁻¹ de P y 2,5 y 5,0 meq.L⁻¹ de Ca.

Para el cultivo de frutilla var. Festival se recomienda la aplicación de 0,5 meq.L⁻¹ P y 2,5 meq.L⁻¹ Ca de la relación entre los nutrientes.

Además de utilizar pomina como sustrato para el sistema semi hidropónico del cultivo de frutilla, también se puede recurrir a la aplicación de otros sustratos como fibra de coco y cascarilla de arroz, ya que al igual que, la pomina son sustratos inertes que tiene buenas características para ser utilizados en este sistema.

Se recomienda realizar estudios similares al presente trabajo, enfocados en la interacción de otros nutrientes, debido a que no existe mucha información acerca del tema.

5.3. Bibliografía

- Abad, M. (1993). *Sustrato: Características y propiedades* . Instituto de Estudios Amerienses. Fiapa .
- Aguilar, M. (2011). *Demanda Nutricional de Cuatro variedades de Fresa (Fragaria X annanasa), cultivadas en la región de Zamora Michoacán*. Tesis presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias, Institución de enseñanza e investigación en ciencias Agrícolas , Montecillo, Mexico .
- Aguilar, R. (2002). *Producción de sustratos para viveros*.
- Alcántar, G., & Trejo, L. (2007). *Nutrición de cultivos*. Colegio de Postgrados . D.F/ México : Mundi presa.
- Alegria, M. (2011). *Uso de la fluorescencia clorofilica como indicador de estres por altas temperaturas en plantas futaes*. Tesis .
- Alsina, L. (1970). *Cultivo de Frutilla y Fresones* (Primera ed.). España: SINTES.
- Ansorena, J. (1994). *Propiedades físicas de los sustratos* . Chile .
- Arce, M. (2012). *Nutricion Silicia en Fresa(Fragaria x ananassa Duch)*. Tesis como requisito parcial para obtener el Grado de Maestro en Ciencias en Horticultura, Chapingo, Mexico.
- Baker, N. R. (2008). *Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis*. Annu. Rev. Plant Biol.
- Barahona, M., & Barrantes, E. (1992). *Manzana, melocotón, frutilla y mora. Fruticultura especializada*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- Barahona, M., & Sancho, E. (2007). *Manzana, melocotón, frutilla y mora (Fruticultura especial, Facículo N6)* (Primera ed.). San José , Costa Rica : Universidad Estatal a Distancia .

- Bedoya, E., & Pacheco, M. (2002). *Hidroponía* . Universidad Jose Carlos Mariategui .
- Benavides, A. (2014). *Impacto de la salinidad y la temperatura diurna sobre la fluorescencia de la clorofila en fresa*. Mexico: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.
- Bennett, F. (1993). *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plant*. The American Phytopathological Society.
- Bojovic, B., & Stojanovic, J. (2006). *Some wheat leaf characteristics in dependence of fertilization* . Serbia: Kragujevac Journal of Science.
- Bures, S. (1997). *Sustratos*. Madrid : Ediciones Agrotécnicas S.L.
- Calderón, A. (2005). *Sustratos Agrícolas*. Chile: Fac. Cs. Agronómicas.
- Calderon, F. (2011). *Los Sustratos*. Recuperado el 17 de Marzo de 2014, de www.drcalderonlabs.com
- Carpita, N. (1987). *The Biochemistry of the "Growing" plant cell wall*. American Society of Plant Physiologists .
- Choi, J., & Lee, C. (2012). *Influence of elevated phosphorus levels in nutrient solution on micronutrient uptake and deficiency symptom development in strawberry cultured with fertigation system*. J. Plant Nutr.
- Choi, J., Latigui, A., & Lee, C. (2012). Visual Symptom and Tissue Nutrient Contents in Dry Matter and Petiole Sap for Diagnostic Criteria of Phosphorus Nutrition for Seolhyang Strawberry Cultivation. *Horticultural Science and Springer*, 54-56.
- Cros, V., Nicola, J., Fernandez, J., Martínez, J., & Carreño, S. (2003). *Cultivo de Hortalizas en bandejas flotantes: Sistema de riego y control de la solución nutritiva*. Agrícola Vergel 268.
- Cruz, L., & Hernández, M. (2000). *Termistodes, 50 cultivos de Exportación no tradicionales* (Cuarta ed.). Quito, Ecuador : Desde el Surco .

- Delgado, I., & Sandoval, M. (2006). *Aplicaciones foliares de Calcio y Silicio en la incidencia de Mildiu en lechuga*. Chapingo.
- Demirsoy, L., Ersoy, B., & Balci, G. (2010). *Seasonal variation of N,P,K and Ca content of leaf, crown and root of "Sweet Charlie" strawberry under different irrigation*. Zemdirbyste Agriculture.
- Durner, E., Barden, J., & Poling, E. (1984). *Photoperiod and temperature effects on flower and runner development in day-neutral, June-bearing and ever-bearing strawberries*. Journal of the American Society for Horticultural Science.
- Fageria, N., & Baligar, V. (1999). *Growth and nutrient concentrations of common bean, lowland rice, corn, soybean, and wheat at different soil pH on an inceptisol*. J. Plant Nutr.
- Fageria, V. (2001). *Nutrient interactions in crop plants*. Journal of Plant Nutrition.
- Fernández, J. (2005). *Enciclopedia Práctica de la Agricultura y Ganadería*. México: Oceano/Centrum.
- Fernandez, M. (2007). *Fósforo: amigo o enemigo*. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. La Habana/Cuba: ISSN (Versión impresa): 0138-6204.
- Folquer, F. (1986). *La Frutilla o Freson. Estudio de la planta y su producción comercial*. Argentina, Hemisferio Sur.
- Gilsanz, J. (2007). *Hidroponía*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias - INIA., Montevideo.
- Gonzales, M. (2010). *Conservación de Mora, Uvilla y Frutilla mediante la utilización de aceite esencial de canela*. Tesis de Grado , Escuela Superior Politécnica de Chimborazo , Riobamba.
- González, N. (2006). *Avanzan los sistemas hidropónicos en México*. Distrito Federal , México : Agro Sín. S.A. de C.V. .

- Graeta, N. (1998). *Suelos y fertilizantes*. Distrito Federal, México: Iberoamericana.
- Harborne, J. (1973). *Chlorophyll extraction*. In: *Phytochemical Methods*. London: Science Paperbacks.
- Hernández, A. (2006). *Evaluación de la actividad enzimática peroxidasa y profenoloxidasa en dos variedades de frutilla durante estrés por bajas temperaturas*. Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias, Bogotá.
- INCONTEC, I. C. (1997). *Frutas Frescas: Frutilla variedad Chandler, especificaciones*. Bogotá: NTC4103.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (1983). *Determinación del Calcio por Método EDTA*. Quito-Ecuador.
- Khayat, M., Rajae, S., & Sajjadinia, A. (2007). *Calcium effects on changes in chlorophyll contents, dry weight and micronutrients of strawberry (Fragaria × ananassa Duch.) plants under salt-stress conditions*. Dep. Hortic. Sci., Coll. Agric.
- Krause, G., & Weis, E. (1991). *Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics*. Plant Biol.
- Lara, A. (1998). *Soluciones nutritivas para cuatro etapas fenológicas del jitomate*. Colegio de Postgraduados. Texcoco MX.
- León, J., Viteri, P., & Mejía, A. (2004). *Guía para la determinación de deficiencias nutricionales de Babaco*. INIAP.
- Luzuriaga, C. (1997). Funciones de los elementos esenciales en la planta. *Boletín Informativo*, 1-10.
- Macarthur, M. (2004). *Strawberry fertillize guide*. Recuperado el 12 de Marzo de 2015, de AGFACT: www.agric.nsw.gov.au
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. Londres: Academic Press.

- Maxwell, K., & Jhonson, G. (2000). *Chlorophyll fluorescence a practical guide*. Journal of Experimental Botany.
- Melendez, G., & Molina, E. (2002). *Fertilización foliar: Principios y aplicaciones*. Costa Rica.
- Montes, L. (1980). *Las Frutillas* (Primera ed.). Buenos Aires , Argentina : Albatros SRL.
- Motamedi, S., Jafarpour, M., & Shams, J. (2013). Evaluation of nutrition of flower number and yield of strawberry in greenhouse. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 2092-2093.
- Navarro, S., & Navarro, G. (2000). *El suelo y los elementos quimicos esenciales para la vida vegetal*. Barcelona: Mundi-Prensa.
- Neufeld, H. (2006). *Visible foliar injury caused by ozone alters the relationship between SPAD meter readings and chlorophyll concentrations in cut leaf coneflower*. Photosynthesis Research.
- Parra, S., Villareal, M., Sánchez, P., Corrales, J., & Hernandez, S. (2008). *Efecto del Calcio y potencial osmótico en la solución nutritiva en la pudrición apical, composición mineral y rendimiento de Tomate*. Mexico.
- Pastor, J. (2000). *Utilización de sustratos en viveros*. Universidad de Lleida , Dpto. de Hortofruticultura, Botánica y Jardinería , Madrid .
- Ramírez, H. (2011). *Sistemas de Producción de Frutilla de altas densidades*. Colegio de Postgrados , Montecillo.
- Resh, H. (2001). *Cultivos Hidropónicos, Nuevas técnicas de Producción*. Universidad de la Columbia Británica, Departamento de Ciencia de las Plantas . Vancouver : Mundi Prensa.
- Rincon, J., Gallardo, J., Leal, M., & Rojas, Y. (2003). *EFEECTO DE LA RELACIÓN CALCIO:FÓSFORO EN EL SUELO SOBRE EL CRECIMIENTO Y NODULACIÓN DE PLANTAS*. Dpto. Producción Animal, Decanato de

Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", Barquisimeto

- Sadzawka, A., Grez, R., Carrasco, M., & Mora, M. (2004). Método y Análisis de tejidos vegetales . *Comisión de Normalización y Acreditación*, 25 - 27. Chile .
- Sagñay, N. (2009). *Un sistema de producción de plantas hidroponía: principios y métodos de cultivo*. Tesis de Licenciatura , Escuela Superior Politécnica de Chimborazo , Riobamba - Ecuador .
- Sallbury, F., & Cleon, R. (1994). *Fisiología Vegetal* . (V. González, Trad.) USA: Iberoamericana .
- Sánchez del Castillo, F., & Escalante, E. (1988). *Un sistema de producción de plantas hidroponía: principios y métodos de cultivo* (Tercera ed.). Chapingo (MX): Universidad Autónoma Chapingo.
- Sholto, D. (1982). *Hidroponía ¿Como cultivar sin tierra?* El ATENEO.
- Sivritepe, N. (1999). *Determination of Salt Tolerance in Some Grapevine Cultivars (Vitis viniferaL.) Under in vitro Conditions*. Departament of Horticulture , Turkey.
- Soto, F. (2006). *Producción de lechuga con la técnica de lámina de nutriente modificada (NFT)*. San José , Costa Rica .
- Steele, M., Gitelson, A., & Rundquist, D. (2008). *A Comparision of Two Techniques for Nondestructive Measurement of Chlorophyll Content in Grapevine Leaves*. Agronomy Journal.
- Taveira, A. (2005). Fibra de Coco: Una nueva alternativa para la formación de plantas. *Revista Brasileira de Reproducción de Plantas*, 275-277.
- Ticconi, C., Delatorre, C., & Abel, S. (2001). *Attenuation of phosphate starvation responces by phosphit in Arabidoxis*. California : Plant Phiyiol.

- Urrutia, S. (1986). *Mercado y cultivo de Berries. Capítulo 3: Descripción de Especies y Requerimientos de los Cultivos*. Santiago de Chile: Departamento Agroindustrial .
- Wallase, A. (1993). *The Law of the maximum*. Better Crops .
- Wang, S., & Galletta, G. (1998). *Foliar application of Potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants*. Journal of Plant Nutrition.
- Wu, Y., & Zhao, K. (2013). *Root-exuded malic acid versus chlorophyll fluorescence parameters in four plant species under different phosphorus levels*. Journal of Soil Science and Plant Nutrition.
- Yáñez, J. (2002). *NUTRICION Y REGULACION DEL CRECIMIENTO EN HORTALIZAS Y FRUTALES*. Coahuila: Tecnología, Comercio y Servicios Agrícolas Mundiales.