



Producción de frutilla (*Fragaria x ananassa*), expuesta a deficiencia de fósforo en un sistema Kratky

Crizón Pérez, María Vanessa

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Aníbal Mgtr.

24 de agosto del 2022



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Certificación:

Certifico que el trabajo de integración curricular: **Producción de frutilla (*Fragaria x ananassa*)**, expuesta a deficiencia de Fósforo en un sistema Kratky fue realizado por: **Crizón Pérez, María Vanessa**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta para prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 24 agosto del 2022



PABLO ANIBAL
LANDAZURI
ABARCA

Ing. Landázuri Abarca, Pablo Anibal Mgtr.

CC.: 1708262348

Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos**CRIZÓN PÉREZ MARÍA VANESSA_docx**

Scanned on: 3:37 August 24, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	603
Words with Minor Changes	219
Paraphrased Words	60
Omitted Words	0

**PABLO ANIBAL
LANDAZURI
ABARCA****Ing. Landázuri Abarca, Pablo Anibal. Mgtr**

C. C.: 1708262348



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Crizón Pérez, María Vanessa**, con cédula de ciudadanía No. 0402046536, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Producción de frutilla (*Fragaria x ananassa*), expuesta a deficiencia de Fósforo en un sistema Kratky es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.**

Sangolquí, 24 agosto del 2022

Crizón Pérez, María Vanessa

C.C.: 0402046536



Departamento de Ciencias de la Vida y de la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Autorización de Publicación

Yo **Crizón Pérez, María Vanessa**, con cédula de ciudadanía No. 0402046536 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Producción de frutilla (*Fragaria x ananassa*), expuesta a deficiencia de Fósforo en un sistema Kratky** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad.

Sangolquí, 24 agosto del 2022

Crizón Pérez, María Vanessa

C.C.: 0402046536

Dedicatoria

“El éxito no está en vencer siempre sino en no desanimarse nunca”.

Napoleón Bonaparte

Este proyecto está dedicado a: A mis padres Patricio y Mariana quienes con su amor, apoyo incondicional y esfuerzo me han permitido culminar hoy uno de mis objetivos a mediano plazo en mi vida, gracias por ser mi ejemplo a seguir, e inculcar en mis valores como: la perseverancia, responsabilidad, y sobre todo el no dejarse vencer por las adversidades ya que todo en su momento tiene una solución.

Vanessa Crizón

Agradecimientos

A mis padres y hermana quienes han sido siempre mi motor que impulsan mis sueños, aquellos que han estado siempre presentes a lo largo de esta etapa de mi vida tanto en buenos como en malos momentos, apoyándome incondicionalmente días y noches durante todo este tiempo. Hoy concluyo este sueño y es dirigido a ustedes amados padres y hermana. Espero algún día ser la mitad de los buenos padre que ustedes fueron conmigo muchas gracias por creer en mí.

A mis amigos que en cierto modo siempre han estado ahí para mi apoyándome y extendiéndome su mano en momentos difíciles, sin ustedes no hubiese sido igual poder culminar esta etapa de mi vida y también deseo todo lo mejor para ustedes en esta y próxima vida profesional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas –ESPE, especialmente a la carrera de Ingeniería Agropecuaria por abrirme las puertas y permitirme formarme como profesional, a cada uno de los docentes que fueron parte de esto gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Y en especial un rotundo agradecimiento a mi tutor Ing. Pablo Aníbal Landázuri Abarca principal participe de este proceso, quien, con su dirección, conocimiento, permitió el desarrollo de este trabajo.

Índice de Contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Certificación.....	2
Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos.....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimientos	7
Resumen.....	13
Abstract	14
Capítulo I.....	15
Introducción.....	15
Antecedentes	15
Justificación.....	17
Objetivos	19
Objetivo General.....	19
Objetivos específicos	19
Hipótesis	19
Capitulo II	20
Revisión literatura	20
Características del cultivo de frutilla.....	20
Variedades comerciales de frutilla	20
Oso Grande.....	20
San Andreas	21

Albi3n.....	21
Festival	21
Monterrey.....	21
Requerimiento del cultivo hidrop3nico de frutilla	22
Humedad	22
Temperatura.....	22
Conductividad el3ctrica y pH.....	22
Luz.....	23
Sistema Hidrop3nico.....	23
M3todo Kratky	23
Soluci3n nutritiva	24
Funci3n del f3sforo en la planta y s3ntomas de deficiencia.....	24
Capitulo III.....	26
Metodolog3a.....	26
Ubicaci3n y caracter3sticas del lugar de investigaci3n.....	26
Instalaci3n del ensayo.....	26
Manejo de plagas	27
Control de pH y CE (Conductividad el3ctrica).....	27
Manejo del ensayo y c3lculo de soluci3n nutritiva.....	27
Dise3o experimental y an3lisis de datos	29
Variables Evaluadas	31
Variables Agron3micas	31
Variables Productivas	32
Variables Nutrimientales y Fisiol3gicas.....	32
Capitulo IV.....	33
Resultados y Discusi3n	33

Influencia de concentración de fósforo en las diferentes variables agronómicas establecidas, para cada tratamiento	33
Influencia de concentraciones de fósforo sobre peso húmedo	34
Influencia de concentraciones de fósforo sobre materia seca	35
Influencia de concentraciones de fósforo sobre las variables productivas, número de flores	37
Influencia de concentraciones de fósforo sobre las variables productivas, número de estolones	39
Evaluación del índice de contenido de clorofila (ICC) en las hojas de la planta de frutilla variedad Monterrey mediante un clorómetro, con diferentes niveles de fósforo	40
Evaluación del contenido de fósforo en las hojas de la planta de frutilla variedad Monterrey para cada tratamiento	42
Capítulo V	44
Conclusiones	44
Recomendaciones	45
Bibliografía	46

Índice de Tablas

Tabla 1 Rangos de concentración (mg.L ⁻¹) de nutrientes esenciales de acuerdo con Yamazaki	27
Tabla 2 Composición de las soluciones de fertilizantes utilizadas para investigar el efecto de las concentraciones de fósforo en el crecimiento y producción de la fresa 'Monterrey'.....	28
Tabla 3 Promedio ± desviación estándar de las variables agronómicas de plantas de frutilla de la variedad Monterrey tratadas con diferentes dosis de fósforo	33
Tabla 4 Promedio ± desviación estándar de peso húmedo de raíz, peso húmedo área foliar y total, de frutilla de la variedad Monterrey con diferentes dosis de fósforo	35
Tabla 5 Promedio ± desviación estándar de masa seca de raíz, masa seca área foliar y total, de frutilla de la variedad Monterrey con diferentes dosis de fósforo	36
Tabla 6 Tabla de frecuencias de número de flores, con diferentes concentraciones de fósforo.....	38
Tabla 7 Tabla de frecuencias de número de estolones, con diferentes concentraciones de fósforo.....	39
Tabla 8 Evaluación del contenido de fósforo de cada tratamiento en hojas de frutilla de la variedad Monterrey	42

Índice de Figuras

Figura 1 Esquema de la Unidad Experimental.....	28
Figura 2 Vista Frontal del ensayo.....	29
Figura 3 Croquis Experimental.....	30
Figura 4 Diferencias en longitud de raíz de la frutilla Monterrey influenciadas por concentraciones diferentes de fósforo.....	37
Figura 5 Gráfica de porcentajes en relación al número de flores y número de estolones por planta para cada tratamiento evaluado a diferentes concentraciones de fósforo.....	40
Figura 6 Promedio \pm desviación estándar de la variable fisiológica de porcentaje de clorofila por cada tratamiento evaluado diferente.....	41
Figura 7 Evaluación del contenido de fósforo en las hojas de la planta de frutilla variedad Monterrey para cada tratamiento.....	43

Resumen

El cultivo de frutilla (*Fragaria x ananassa*) se ha ido popularizando a lo largo del tiempo, ya que al ser un cultivo rentable también se caracteriza por sus altas propiedades nutritivas. La importancia de obtener un cultivo sano y libre de enfermedades se basa en un adecuado manejo nutrimental para la planta en cada una de sus etapas fenológicas, con lo que respecta a la adición de las adecuadas dosis de macro y micronutrientes esenciales para la planta, para así evitar efectos de deficiencias que afectan directamente, tanto en su susceptibilidad a enfermedades como en su normal desarrollo. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de deficiencias nutrimentales de P (fósforo) en tres dosis (1,6 meq. L⁻¹; 0,9 meq. L⁻¹ y 0,2 meq. L⁻¹) en la producción de frutilla (*Fragaria x ananassa*) variedad Monterrey, en un sistema de cultivo hidropónico pasivo denominado kratky, sobre el crecimiento y desarrollo normal de la planta. Los resultados indicaron que las plantas de fresa producidas en hidroponía con régimen nutrimental manifestaron respuesta significativamente diferente, obteniendo así que la concentración deficiente de fósforo de 0,2 meq. L⁻¹, mostro los promedios más bajos en el número de hojas (4.56 hojas), número de flores (0), número de estolones (0), longitud de estolón (0 cm), longitud de raíz (17.78 cm), altura (11.52 cm), contenido de clorofila (10.69 %), contenido de materia seca total (4.15 g. planta⁻¹), peso húmedo total (16.37 g. planta⁻¹). Mientras que la concentración de 0,9 meq. L⁻¹ de fósforo mostró los mayores valores en la mayoría de las variables evaluadas, en comparación con los otros tratamientos. Considerando que el crecimiento del cultivo y el contenido de nutrientes en los tejidos, las concentraciones de P deberían estar entre 0,5 y 1,0 meq. L⁻¹ y los contenidos de P en la materia por cada tratamiento fue 0.60%, 0.59% y 0.22%. Determinando así que las plantas de frutilla sometidas a la dosis (0.2 meq. L⁻¹) de P, presentan diferente crecimiento y desarrollo que las plantas de frutillas sometidas a las dosis (1.6 meq. L⁻¹ y 0.9 meq. L⁻¹) de P.

Palabras clave: frutilla, sistema hidropónico, deficiencia de fósforo

Abstract

The cultivation of strawberry (*Fragaria x ananassa*) has become increasingly popular over time, since it is a profitable crop and is also characterized by its high nutritional properties. The importance of obtaining a healthy and disease-free crop is based on an adequate nutritional management for the plant in each of its phenological stages, with regard to the addition of adequate doses of macro and micronutrients essential for the plant, in order to avoid the effects of deficiencies that directly affect both its susceptibility to diseases and its normal development. The objective of this research was to evaluate the effect of nutrient deficiencies of P (phosphorus) in three doses (1.6 meq. L⁻¹; 0.9 meq. L⁻¹ and 0.2 meq. L⁻¹) in the production of strawberry (*Fragaria x ananassa*) variety Monterrey, in a passive hydroponic culture system called kratky, on the growth and normal development of the plant. The results indicated that strawberry plants produced in hydroponics with a nutritional regime showed a significantly different response, obtaining that the deficient phosphorus concentration of 0.2 meq. L⁻¹, showed the lowest averages in the number of leaves (4.56 leaves), number of flowers (0), number of stolons (0), stolon length (0 cm), root length (17.78 cm), height (11.52 cm), chlorophyll content (10.69 %), total dry matter content (4.15 g. plant⁻¹), total wet weight (16.37 g. plant⁻¹). While the concentration of 0.9 meq. L⁻¹ of phosphorus showed the highest values in most of the variables evaluated, compared to the other treatments. Considering crop growth and tissue nutrient contents, P concentrations should be between 0.5 and 1.0 meq. L⁻¹ and the P contents in the matter for each treatment were 0.60%, 0.59% and 0.22%. Thus determining that strawberry plants subjected to the dose (0.2 meq. L⁻¹) of P, show different growth and development than strawberry plants subjected to the doses (1.6 meq. L⁻¹ and 0.9 meq. L⁻¹) of P.

Keywords: strawberry, hydroponic system, deficiency of phosphorus.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

El cultivo de frutilla (*Fragaria x ananassa*) se ha ido popularizando a lo largo del tiempo, ya que al ser un cultivo rentable también se caracteriza por sus altas propiedades nutritivas y su actividad antioxidante, además de brindar una excelente fuente de Vitamina C, betacarotenos y Vitamina E, siendo un buen protector contra enfermedades como el cáncer, artritis y la anemia etc., esta característica atrae al consumidor la búsqueda y adquisición de este fruto (Caminiti, 2015). Esta tiene gran demanda mundial, tanto en fresco como procesada, en Ecuador se estima que la producción es de 30.000 ton mensuales para consumo (Tustón, 2012) mientras que los principales productores mundiales son los Estados Unidos, China, España, Polonia, México, Japón, Italia, Egipto y Marruecos, entre otros. En el hemisferio sur, Brasil es el mayor productor, con 3.910 has son los principales países productores (Caminiti, 2015)

El cultivo de frutilla (*Fragaria x ananassa*) se caracteriza por adaptarse a muchos climas, sin embargo, son más tolerables al frío, temperaturas bajas, pero no soporta las heladas, en nuestro País se adapta muy bien a alturas comprendidas entre los 1.900 a los 2.600 msnm, con temperaturas promedio entre los 10 °C a 18°C (Galárraga, 2015). Existen diferentes formas de cultivo, pero la que más destaca son los sistemas hidropónicos que son una buena alternativa para el desarrollo de la planta bajo condiciones controladas, además permite obtener plantas en menor tiempo y excelente calidad, resultado que se logra aportado por la solución nutritiva con disponibilidad permanente de los nutrientes necesarios para la planta siendo una alternativa atractiva para la agricultura extensiva, por la optimización de espacio (Enríquez, 2015) Hoy en día existen diferentes tipos de sistemas de cultivo hidropónico

entre estos esta, Kratky es considerado pasivo ya que se caracteriza por no requerir electricidad y bombas. Toda la solución nutritiva es agregada antes de plantar o trasplantar. Las plantas se riegan automáticamente, por todo el medio de cultivo humedece a la planta por acción capilar, el crecimiento de la planta reduce el nivel de la solución nutritiva, creando un espacio de aire húmedo cada vez mayor (Kratky, 2009).

Sin embargo, una de las problemáticas es el desconocimiento de los efectos de las deficiencias nutricionales de diferentes macronutrientes como el P (fósforo) además del impacto económico que este originaria, tomando en cuenta que su concentración optima en la planta según la solución formulada por Yamazaki (colocar año) fluctúa entre 1 meq.L⁻¹ a 1,5 meq. L⁻¹. Se han evaluado los efectos de deficiencias nutricionales en la planta de frutilla entre estas está la evaluación de seis concentraciones diferentes de P (0, 0,5, 1, 2, 4 y 6 meq. L⁻¹), obteniendo que las concentraciones deficientes y excesivas de fósforo, como 0 y 6 meq. L⁻¹, restringe el crecimiento de las plantas; además mostraron valores más bajos en número de hojas, altura de la planta, largo de la hoja y ancho, largo del pecíolo y peso fresco y seco. Mientras que la solución que contenía 1 meq. L⁻¹ de fósforo mostró un mayor crecimiento de las plantas en comparación con los otros tratamientos. Cuando las concentraciones de P fueron elevadas, el pH y la CE en la solución del suelo del sustrato de la raíz disminuyeron. Considerando el crecimiento del cultivo y los contenidos de nutrientes de los tejidos, las concentraciones de P deben estar entre 0.5 a 2.0 meq. L⁻¹ y los contenidos de P en la materia seca y la savia del pecíolo fueron de 0.23 a 0.62% y 205 a 305 mg.kg⁻¹ (Choi et al., 2013). Por otro lado, (Valentinuzzi et al., 2015) Haga clic o pulse aquí para escribir texto. indican que deficiencias de P y Fe afectan diferencialmente el metabolismo total, algunos metabolitos (p. ej., rafinosa y galactosa). Además, la deficiencia de P afecta específicamente el contenido de ácido galactárico, ácido málico, lisina, prolina y sorbitol-6-fosfato. La deficiencia de fósforo en la planta de fresa disminuye la producción, las hojas más viejas toman tonos pardos rojizos, se

necrosan y caen precozmente y lo más grave es que los frutos se presentan pequeños y se retarda su maduración alterando sus propiedades organolépticas volviendo los frutos más ácidos. Cuando hay falta de fósforo, la cosecha puede reducirse 50 % y el contenido de vitamina disminuye (Hirzel et al., 2020) afirman que el fósforo es importante para el crecimiento y transporte de nutrientes en las plantas y de allí que su deficiencia se concentre en hojas viejas, pues se desplaza rápidamente a puntos de mayor crecimiento. Mientras que otro estudio indica que el equilibrio y mezcla de diferentes nutrientes tales como Ca y P en dosis de fósforo 0,5 meq. L⁻¹ Y Ca 2,5 meq. L⁻¹ muestran un alto porcentaje de clorofila 35,06% y 33,80% respectivamente. Además, que aplicando una dosis de 0,5 meq. L⁻¹ de P se obtienen mejores valores para altura, diámetro de corona, número de flores, hojas y frutos en la planta de la variedad festival (Gómez & Vallejo, 2015).

Justificación

En el país, las zonas con mayor extensión del cultivo son en la provincia de Pichincha, en la zona noroccidental tales como: Yaruquí, Pifo, Tababela, Checa, Quinche, Ascázubi siendo estas las más importantes productoras de frutilla (Tustón, 2012). La importancia de obtener un cultivo sano y libre de enfermedades se basa en el control nutrimental durante el ciclo de cultivo en cada una de sus etapas fenológicas, con lo que respecta a la adición de las adecuadas dosis de macro y micronutrientes esenciales para la planta, para así evitar efectos de deficiencias que afectan directamente a la planta, tanto en su susceptibilidad a enfermedades como en su normal desarrollo. De hecho, uno de los principales problemas en este cultivo es el desconocimiento de los efectos que pueden llegar a producir las deficiencias de los nutrientes esenciales, tal es el caso del P (fósforo).

Según la literatura se sabe que el P es un macronutriente esencial para las plantas, se caracteriza por ser de poca movilidad en el suelo, beneficia a la planta estimulando su desarrollo radical y de floración además de ser el responsable del almacenamiento y

transferencia de energía (Mixquititla et al., 2020). Tiene un importante papel en los algunos procesos bioquímicos como: biogénesis de los glucósidos, biosíntesis de los lípidos, clorofilas y compuestos carotenoides, en la glucólisis y el metabolismo de los ácidos orgánicos; lo cual se traduce en la acidez, aroma y color de los frutos (Díaz et al., 2017). Además, forma parte de las estructuras de macromoléculas esenciales, tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que participa en todos los procesos fisiológicos. Las plantas lo absorben como ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-) o como orto fosfato secundario (HPO_4^{2-}) (Fernández, 2007). Por ende, su deficiencia origina cantidad de problemas como es el caso de la disminución del número y diámetro de las flores generando un retraso en su maduración, un rendimiento decreciente del 50 %, frutos pequeños, disminución de sus propiedades nutritivas como vitamina (Díaz et al., 2017).

Una apropiada fertilización del cultivo es uno de los pilares fundamentales para obtener una adecuada y óptima producción que ayuda al crecimiento y desarrollo normal dando como resultado, hojas y tallos color verde, resistencia a plagas, maduración temprana de semillas y frutos, formación de raíces, resistencia a sequías, raíces y tallos fuertes, semillas y hojas gruesas que ayudaran a mover los nutrientes alrededor de las plantas (FAO, 2000).El objetivo de esta investigación es evaluar el efecto en la producción de frutilla (*Fragaria x ananassa*), expuesta a deficiencias nutrimentales de P (fósforo) en tres dosis (1 meq/L; 0,5 meq. L⁻¹ y 0,10 meq. L⁻¹) bajo un sistema hidropónico Kratky, buscando obtener resultados que permitan estimar las dosis adecuadas para el rendimiento del cultivo, además de cuantificar y valorar las pérdidas que la deficiencia generaría en el cultivo.

Objetivos

Objetivo General

Evaluar el efecto de deficiencias nutrimentales de P (fósforo) en tres dosis (1,6 meq. L⁻¹; 0,9 meq. L⁻¹ y 0,2 meq. L⁻¹) en la producción de frutilla (*Fragaria x ananassa*).

Objetivos específicos

-Analizar el efecto de tres dosis de fósforo sobre las variables agronómicas, productivas, nutrimentales y fisiológicas de frutilla (*Fragaria x ananassa*).

-Determinar la función de fósforo a través de los resultados obtenidos y sintomatología para encontrar el valor óptimo para la planta de frutilla (*Fragaria x ananassa*) de la variedad monterrey.

Hipótesis

H₀: Las plantas de frutilla sometidas a la dosis (0.2 meq·L⁻¹) de P, presentan similar crecimiento y desarrollo que las plantas de frutillas sometidas a las dosis (1.6 meq·L⁻¹ y 0.9 meq·L⁻¹) de P.

H_i: Las plantas de frutilla sometidas a la dosis (0.2 meq. L⁻¹) de P, presentan diferente crecimiento y desarrollo que las plantas de frutillas sometidas a las dosis (1.6 meq·L⁻¹ y 0.9 meq·L⁻¹) de P.

Capítulo II

Revisión literatura

Características del cultivo de frutilla

La frutilla (*Fragaria x ananassa*), pertenece a la familia de las Rosáceas y género *Fragaria*; es producto del cruzamiento entre *Fragaria chiloensis* L. y *Fragaria virginiana* Duch.; y es considerada una planta perenne, aunque su potencial productivo sólo dura dos años en la agricultura (Sudzuki, 2002).

Es una planta perenne, cuyo sistema radicular es fasciculado, el cual le permite la regeneración de raíces secundarias, este se da a lugar gracias a los diferentes factores edafoclimáticos como: tipo de suelo, patógenos, factores ambientales, riego y nutrientes disponibles. Su tallo tiende a ser rastrero, hojas pecioladas, la flor es pentámera al tener cinco pétalos. Su fruto es carnoso y de color rojo, dependiendo de la variedad; este fruto puede llegar a medir hasta 6 cm de largo (Vizcaino, 2011).

Variedades comerciales de frutilla

Según algunos medios y productores agrícolas del Ecuador, se conoce algunas variedades de frutilla entre estas: Oso grande, san Andreas, Monterrey, Festival y Albión siendo estas las más apetecidas y cultivadas en nuestro país del Ecuador (Parra, 2018).

Oso Grande

Su origen está en California de los Estados Unidos de América, cuyo fruto resalta en su color rojo anaranjado, de calibre grueso y excelente sabor, la planta se caracteriza por ser vigorosa, cuyo follaje es oscuro, su único inconveniente radica en la tendencia del fruto al rajado. Su fruto es de forma cuña achatada. Es una de las frutas más resistentes al transporte, además de ser muy apto para el consumo en fresco (Tustón, 2012).

San Andreas

Esta variedad se caracteriza por ser de día neutro moderado, lo que significa que su producción y calibre a lo largo de la temporada de cosecha es muy homogéneo, su fruto es de excelente calidad y buen sabor, es resistente a enfermedades y de muy buena producción. Esta se adapta bien a distintas industrias en fresca y congelada (Tustón, 2012).

Albión

Considerada una de las preferidas tanto por sus productores, comercializadores y consumidores, por su buen sabor y por sus características organolépticas a simple vista, y producción es muy alta. Se caracteriza por ser muy rustica y con hojas grandes y gruesas, su fruto es de forma cónica y alargado de color rojo, además es resistente a una variedad de enfermedades, entre estas anthracnosis (Tustón, 2012).

Festival

Es una variedad considerada como precoz, ya que es de día corto, florece con cortas horas de luz. Es de alta productividad y buena calidad de fruto, excelente sabor aroma y tamaño homogéneo, esta es un poco más pequeña la variedad Albión, pero es más apreciada por su aspecto y dulzor (Tustón, 2012).

Monterrey

Se asemeja mucho a la variedad San Andreas, en cuanto la buena producción, pero se en las características de producción y su diferencia está en la calidad del fruto en cuanto al sabor, además de ser una planta muy vigorosa e incluso más que la variedad Albión. El sabor de su fruto se diferencia del resto ya que es más dulce y poco acida. Es resistente a la manipulación en la cosecha y pos cosecha, además de ser una variedad resistente a las lluvias y a botrytis, pero es muy sensible a trips y ácaros. Esta se adapta muy bien a las exigencias de consumidores internacionales, especialmente en el continente asiático, centrándose en los países como: Japón, Corea y China (Tustón, 2012).

Requerimiento del cultivo hidropónico de frutilla

Los requerimientos de cada cultivo son uno de los factores de gran relevancia, ya que al aportar todas las condiciones adecuadas, sea de temperatura, humedad, pH, CE, luz entre otras. Garantizara al productor un cultivo de alta calidad y eficiencia, además de asegurar una excelente productividad, obteniendo un porcentaje mínimo de ataca de plagas y enfermedades, una planta vigorosa y saludable es la clave para un rendimiento de calidad.

Humedad

La humedad relativa para el adecuado desarrollo de la planta se encuentra entre 60-75%, considerándose como lo ideal, valores superiores favorecen la presencia y proliferación de hongos y bacterias, mientras que la humedad baja provoca en la planta daños fisiológicos como baja polinización y lento cuaje de frutos, entre otros (Sepúlveda et al., 2015).

Temperatura

Este cultivo se adapta muy bien a temperaturas ente 12 °C a 22°C, mientras que la temperatura óptima para el desarrollo de frutos oscila entre los 15°C a 20°C de media anual, temperaturas por debajo de 12 °C y superiores a 22 °C (Sepúlveda et al., 2015).

Conductividad eléctrica y pH

Este sistema tiene como principal objetivo recircular el agua. Para este caso el manejo de la solución nutritiva es crítico, es necesario mantener el nivel del pH de 5.5 a 6.5 y el nivel de oxígeno mayor a 3 ppm. Otro punto a considerar es que la fresa es muy sensible a la salinidad, su crecimiento óptimo se da en soluciones nutritivas de 1.0 a 2.0 dS.m⁻¹(INTAGRI, 2014).

Luz

Está relacionado a la cantidad de horas luz que tiene un día, este es un requerimiento importante puesto que influye en la formación de yemas florales, crecimiento vegetativo, desarrollo de estolones, tamaño de hojas y longitud de peciolo además de cantidad y calidad de frutos. Siendo lo óptimo en días cortos un rango de 8 a 11 horas de luz (Morales et al., 2017).

Sistema Hidropónico

Este tipo de sistemas están basados en la utilización de agua en un sistema de recirculación, a una mínima profundidad. Estos generalmente están contruidos con infraestructura a base de PVC hidráulico, o bien materiales a base de madera generando los canales de recirculación. Utilizando un mecanismo netamente activo, ya que necesita de bombas impulsoras que ayudan a la distribución del agua por los diferentes canales. Además, se lo considera como un sistema controlado ya que debe cumplir diferentes aspectos que ayudan a su buen funcionamiento y a la buena adaptabilidad de la planta a producir. Entre los aspectos a cumplir se encuentran las condiciones edafoclimaticos como mantener el nivel del pH de 5.5 a 6.5 y el nivel de oxígeno mayor a 3 ppm. Además, se debe tomar en cuenta que la fresa es muy sensible a la salinidad, lo cual lleva a tener o controlar niveles de conductividad eléctrica en las soluciones nutritivas de 1.0 a 2.0 dS/m que garantizara un óptimo crecimiento adecuado de las plantas, y facilidad de absorción de nutrientes (INTAGRI, 2014).

Método Kratky

El método Kratky es un sistema para cultivar plantas hidropónicamente, desarrollado por el horticultor Bernard A. Kratky de la Universidad de Hawái en Manoa, es el método hidropónico más simple y fácil. Esto se debe a que no se requieren bombas, burbujeadores, mechas ni temporizadores, no requiere electricidad y muy poco esfuerzo y dinero para construir. En un sistema como el cultivo en aguas profundas, toda la copa de red (y todo el

sistema radicular) se sumerge en líquido, lo que significa que el sistema radicular desarrolla raíces aéreas para obtener suficiente oxígeno (Kratky, 2009).

Solución nutritiva

La solución nutritiva es el medio acuoso en el cual se encuentran disueltos los nutrientes esenciales para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas, y es la vía principal de nutrición de cultivos en hidroponía y sustratos. Una solución nutritiva completa debe tener: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, molibdeno, manganeso, boro, zinc, cobre y níquel. En la solución nutritiva estos elementos están en forma de iones para que las plantas puedan tomarlos, ya que no puede absorberlos en su forma elemental (INTAGRI, 2014). El éxito de las soluciones nutritivas está determinado entonces, por la constitución de dicha solución, la relación existente entre los diferentes iones minerales, la conductividad eléctrica y el pH.

Función del fósforo en la planta y síntomas de deficiencia

Es uno de los nutrientes fundamentales en la nutrición de todas las plantas, considerado como el segundo más importante después del nitrógeno, y en especial para la frutilla ya que se caracteriza por ser el promotor en el crecimiento, desarrollo de las raíces y sobre todo este se encarga de la captura y conversión de la energía solar, transformándolos en compuestos admisibles por las plantas, además de ser un nutriente de la compleja estructura de ácido nucleico de las plantas, que regula la síntesis de proteínas (Weil & Brady, 2016).

Este forma parte de la molécula transportadora de energía, por ende, este tiene acción en todos los procesos metabólicos de la planta. Forma parte de la estructura de los fosfolípidos de las membranas celulares, ácidos nucleicos, de la mayoría de las enzimas y coenzimas NAD y NADP, participa en la fotosíntesis, en el glicólisis, en la respiración, en la síntesis de ácidos grasos y en la síntesis de proteínas, especialmente nucleoproteínas en los tejidos

meristemáticos. El ácido fitico (hexafosfato de inositol) almacenado en las semillas es la principal fuente de fosfato inorgánico durante la germinación (Viana, 2020).

El fósforo es necesario para el almacenamiento y transferencia de energía en la planta, es fundamental para el crecimiento temprano de raíces y parte aérea. La fertilización con fósforo es clave, no sólo para restituir los niveles de este nutriente en el suelo, sino también para obtener plantas más vigorosas, con mayor desarrollo de raíces y por lo tanto más resistentes a la falta de agua. Todo esto se traduce en el aumento del rendimiento, pues el fósforo interviene en procesos bioquímicos tales como: biogénesis de los glucósidos, biosíntesis de los lípidos, síntesis de clorofilas y compuestos carotenoides, en la glucólisis y el metabolismo de los ácidos orgánicos (Funchess et al., 1950).

Los síntomas generales de la falta de fósforo están ligados a un desarrollo anormalmente débil del vegetal, tanto en su parte aérea como en el sistema radical. Ello es consecuencia, tal como se ha visto, de que el elemento es un participante básico en casi todos los procesos de crecimiento y síntesis de sus compuestos constituyentes. Las características más notorias de la deficiencia de este nutriente son a nivel de las hojas, las cuales se observan delgadas, erectas, específicas, de menor tamaño y con nervaduras poco pronunciadas. Las hojas antiguas son las primeras que presentan tonos pardos rojizos, se necrosan y caen precozmente. Cuando hay falta de fósforo, la cosecha puede reducirse 50 % y el contenido de vitamina disminuye (Díaz et al., 2017).

Cabe destacar que tanto el déficit como el exceso de fosforo causa problemática en la planta tomando en cuenta que la dosis optima de fosforo en plantas de frutilla va desde 0.5 – 1.0 meq. L⁻¹. Las plantas se debilitan y son completamente susceptibles a diferentes enfermedades, además de al tener un exceso de fósforo este provoca el bloqueo de otros elementos esenciales para el crecimiento de la planta. Por ende, ambas consecuencias son de gran importancia, para mantener en total equilibrio los requerimientos de la planta.

Capítulo III

Metodología

Ubicación y características del lugar de investigación

La presente investigación de campo se llevó a cabo en el invernadero de Horticultura de Carrera de Ciencias Agropecuarias IASA 1, ubicado en la hacienda El Prado, parroquia San Fernando, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha. Las condiciones fueron, temperatura promedio de 22,07°C, humedad relativa de 41,19% y 591,67 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ de Luz PAR (Villarreal, 2018).

Instalación del ensayo

Las plantas utilizadas se encontraban a raíz desnuda, sin follaje, luego se procedió a desinfectar las raíces con los fungicidas Terraclor (pentacloronitrobenzeno 2 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) y captan (Carboxamida 2 $\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$). Para promover el desarrollo radicular, las plantas fueron sembradas en sustrato a base de pomina como fase de desarrollo de raíces secundarias o raicillas blancas por 15 días, las plantas fueron regadas, con una frecuencia de riego de tres días, y se adicionó el fertilizante 10-40-10; 1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ (Fertimed Azul) para acelerar el desarrollo radicular con una aplicación semanal. Terminada la fase de desarrollo radicular, se procedió a preparar la solución base Yamazaki para una fase de adaptación de la planta al sistema hidropónico Kratky durante 15 días (Tabla 1). Se utilizaron baldes de plástico de 30 cm de diámetro interior aproximadamente de color negro para evitar el crecimiento de algas, con capacidad de 20 litros y se realizaron agujeros en la tapa de 5 cm de diámetro para sembrar cada planta, con el uso de vaso desechables pequeños. Las evaluaciones de las variables fueron medidas hasta los 83 días después de la siembra.

Manejo de plagas

El pulgón, se controló con pyriproxyfen 0.5 g. L⁻¹ y el gusano cogollero con Cartap con la dosis de 0.5 g.kg⁻¹ se preparó un litro y la aplicación fue de manera foliar y se realizó en las horas de la mañana.

Control de pH y CE (Conductividad eléctrica)

El control del pH y la Ce se lo realizó cada tres días, a 5,5 y 1.2 mS.cm⁻¹; esta actividad se hizo con esta frecuencia ya que los envases al ser cerrados y de color negro, tanto la solución nutritiva, así como el ácido nítrico utilizado, debido a las altas temperaturas que se presentaban bajo invernadero tienden a evaporarse.

Tabla 1

Rangos de concentración (mg.L⁻¹) de nutrientes esenciales de acuerdo con Yamazaki

Fertilizante	mg.L ⁻¹	gramos	12 litros
NH₄NO₃	40	4	48
KNO₃	164	16,4	194,8
CaNO₃	252,3	25,2	303
KH₂PO₄	68	6,8	81,6
MgSO₄	60	6	72

Nota. Se realizó el control de pH con HNO₃ para tener pH de 5.5 a 6.5 y CE de 1.0 a 2.0 dS/. Tabla de autoría.

Manejo del ensayo y cálculo de solución nutritiva

Posteriormente se realizó el cálculo de solución nutritiva con las diferentes dosis de fósforo (1,6 meq. L⁻¹; 0,9 meq. L⁻¹ y 0,2 meq. L⁻¹), se obtuvieron tres soluciones nutritivas (Tabla 2), luego se procedió a preparar la solución madre de 12 litros, en dos tanques a NH₄NO₃, Ca(NO₃)₂, KNO₃, Mg(NO₃)₂, (Nitratos) y b K(H₂PO₄), Mg(SO₄)₂, K₂(SO₄), H₃BO₃, ZnSO₄·7H₂O, CuSO₄·5H₂O, MnSO₄·2H₂O, Na₂MoO₄·2H₂O, Fe EDHA (fosfatos, sulfatos y micronutrientes) para evitar la precipitación de elementos. Seguido de esto se llenó un recipiente de 80 litros de

capacidad con agua, para preparar las soluciones nutritivas para cada tratamiento, colocando 600 ml del tanque b y 600 ml del tanque a, aproximadamente, regulando el pH con HNO_3 y la CE adicionando más solución madre. Por último, se procedió a llenar cada recipiente 18 litros, evitando que la raíz quede completamente bajo la solución.

Tabla 2

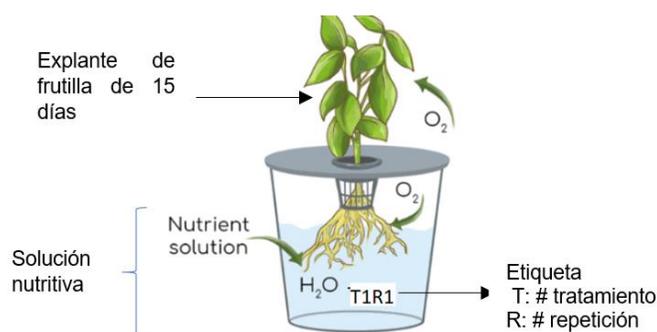
Composición de las soluciones de fertilizantes utilizadas para investigar el efecto de las concentraciones de fósforo en el crecimiento y producción de la fresa 'Monterrey'

Tratamiento de P	K^+	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	SO_4^{2-}	H_2PO_4^-
T1	3.9	0.8	5.20	3	8.3	3	1.6
T2	3.9	0.8	5.20	3	8.3	3	0.9
T3	3.9	0.8	5.20	3	8.3	3	0.2

Nota. Micronutrientes en mg. L^{-1} de solución: H_3BO_3 , 2.8; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1.98; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.54; $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 1.81; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 0.27; Fe EDHA, 33.33. Tabla de autoría.

Figura 1

Esquema de la Unidad Experimental



Nota. Tomado de (Kratky, 2009)

Figura 2

Vista Frontal del ensayo



Nota. T1(1.6 meq· L⁻¹ P), T2 (0.9 meq· L⁻¹ P), T3 (0.2 meq· L⁻¹ P) representan los tratamientos y R1, R2, R3 representan el número de repeticiones por cada tratamiento. Figura de autoría

Diseño experimental y análisis de datos

Modelo Matemático

El experimento se dispuso bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) en arreglo bifactorial 3x3 con 9 repeticiones (Figura 3), cuyo modelo matemático fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + P_i + e_{ij}$$

Donde

Y_{ij} = variable medida

μ = media general

T_i = efecto del i-ésimo concentración de fósforo

e_{ij} = error experimental

Se realizó un análisis descriptivo para las variables productivas: número de flores, número de coronas, número de estolones, longitud de estolones, además de peso fresco y la materia seca se caracterizaron mediante estadística descriptiva con el uso de tablas de frecuencia y porcentajes. Las variables número de hojas, longitud de raíz, altura, clorofila y fósforo se analizaron mediante un análisis de varianza utilizando modelos lineales generales y mixtos. La normalidad se verificó con la prueba de inferencia basada en una muestra de Shapiro-Wilks con los residuos para los tratamientos y para la homocedasticidad los residuos absolutos, los residuos se modelaron con la función varldent para cada tratamiento. Las variables y sus respectivas interacciones se analizaron con pruebas de comparación de medias LSD al 5%. Todos los análisis fueron realizados mediante el software estadístico InfoStat (di Rienzo et al., 2017).

Figura 3

Croquis Experimental

T1R1	T2R1	T2R9	T3R2	T1R8	T2R7	T3R3	T1R7	T3R9
T2R2	T1R2	T2R3	T1R9	T1R4	T2R4	T1R5	T3R4	T2R6
T3R1	T3R8	T1R3	T3R7	T2R8	T3R6	T2R5	T1R6	T3R5

Nota. T1 (1.6 meq·L⁻¹ P), T2 (0.9 meq·L⁻¹ P), T3 (0.2 meq·L⁻¹ P) representan los tratamientos y R1, R2, R3 representan el número de repeticiones por cada tratamiento, tamaño de muestra 27 plantas. Figura de autoría.

Variables Evaluadas

En la fase de campo se tomaron datos de todas las unidades experimentales para las variables agronómicas y productivas de las plantas de frutilla entre estas están:

Variables Agronómicas

Peso fresco

Se midió en 3 plantas por cada tratamiento establecido a los 83, días después de la siembra. En el laboratorio de suelos de la Universidad de las Fuerzas Armadas, IASA I, con el uso de una balanza analítica, las cuales se pesaron con la menor humedad posible, La zona radicular fue separada del área foliar para obtener el peso de cada uno por separado. El peso fresco se tomó de la raíz y zona aérea, este se midió en g. planta⁻¹.

Peso seco

Se midió en 3 plantas por cada tratamiento establecido, a los 83 días después de la siembra. En el laboratorio de suelos de la Universidad de las Fuerzas Armadas, IASA I, con el uso de una balanza analítica, la zona radicular fue separada del área foliar para obtener el peso de cada uno por separado, posteriormente fueron colocadas por separado en fundas de papel etiquetado según el tratamiento, se llevó a la estufa a 95 °C durante 24 horas. Finalmente se pesó la masa seca de la raíz y la zona aérea este se midió en g.planta⁻¹.

Número de hojas por planta

La cantidad de hojas se contabilizó manualmente, de 9 plantas por cada tratamiento, tomada a los 83 días después de la siembra se tomó en cuenta las hojas verdaderas.

Altura de planta

Se determinó manualmente de todas las plantas, de cada tratamiento, tomando a los 83 días de edad de la planta, desde cuello de la raíz hasta el ápice de la planta. La variable se midió en centímetros con la ayuda de una regla.

Longitud de raíz

Esta se midió manualmente en todas las plantas de cada tratamiento a partir de dos semanas después de la adición de solución nutritiva con los diferentes tratamientos establecidos, esta se midió desde el cuello de la raíz hasta el extremo más largo, se midió en centímetros con la ayuda de una regla.

Variables Productivas

Número de flores por planta

Se determinó manualmente el número de flores por planta, de todas las plantas de cada tratamiento, a los 68 días a partir del apareamiento del 80% de la flor.

Variables Nutrimientales y Fisiológicas

Clorofila

El porcentaje de clorofila se tomó en hojas trifoliadas de en campo con la ayuda de un medidor de clorofila HANSATECH modelo CL-01. Se tomó una hoja al azar de cada unidad experimental.

Concentración de Fósforo

La concentración de P en la planta se obtuvo mediante un análisis foliar a los 83 días, tomando 3 plantas por cada tratamiento, basándonos en las hojas maduras más jóvenes. Se realizó en el laboratorio de suelos de la Universidad de las Fuerzas Armadas, IASA I.

Capítulo IV

Resultados y Discusión

Influencia de concentración de fósforo en las diferentes variables agronómicas establecidas, para cada tratamiento.

Se encontró un efecto significativo entre tratamientos sobre el número de hojas ($F_{2,24}=18.98$; $p < 0.0001$), longitud de raíz ($F_{2,24}=10.99$; $p=0.0004$) y altura ($F_{2,24}= 76.85$; $p < 0.0001$). Al evaluar la concentración de fósforo (T3: $0.2 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$) en la solución fertilizante, las hojas jóvenes eran más pequeñas y con tonalidades rojizas, además esto provocó que las plantas se marchiten prematuramente. De acuerdo a (Leod & Aguila, 2019), indican que también pueden presentar coloraciones color verde oscuro, que se torna metálico muy brillante, el envés de las hojas se torna rojizo y se reduce la producción de biomasa en el cultivo. Con respecto a la longitud de raíz esta presentó una coloración café oscuro, sin presencia de raíces o pelos absorbentes blancos además de ausencia raíces aéreas, estas se caracterizaban por ser de menor tamaño (Figura 4). De igual forma la altura se vio afectada ya que las plantas con $0,2 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$ de P (T3) se presentaron más pequeñas y atrofiadas.

Tabla 3

Promedio \pm desviación estándar de las variables agronómicas de plantas de frutilla de la variedad Monterrey tratadas con diferentes dosis de fósforo

Tratamiento	Número de hojas	Longitud de raíz (cm)	Altura (cm)
T1	8 ± 2.50 a	23.88 ± 4.42 a	19.38 ± 2.06 c
T2	9.33 ± 2.12 a	25.76 ± 4.01 a	24.66 ± 1.72 a
T3	4.56 ± 1.32 b	17.78 ± 3.59 b	11.52 ± 2.71 b

Nota. T1 ($1.6 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$ P), T2 ($0.9 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$ P), T3 ($0.2 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$ P)

Prueba LSD Fisher ($p=0.005$)

Medidas con una letra en común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

NS, *, **, ***; no significativo o significativo $p < 0.05$.

Tabla de autoría.

En la tabla 3 se presenta la influencia del fósforo en las diferentes variables agronómicas para cada uno de los tratamientos propuestos T1(1.6 meq· L⁻¹ P), T2 (0.9 meq· L⁻¹ P), T3 (0.2 meq· L⁻¹ P), donde al evaluar las diferentes dosis aplicadas de fósforo, se observó que el T3 (0.2 meq· L⁻¹ P) y T1(1.6 meq· L⁻¹ P) tuvieron los valores más bajos en lo que respecta al número de hojas 4.56 hojas por cada planta y 8 hojas por cada planta, a diferencia de T2 (0.9 meq· L⁻¹ P) con un promedio de 9.33 hojas por cada planta, resultando ser el valor más alto mientras que, longitud de raíz y altura, en el T3 (0.2 meq· L⁻¹ P), presentó de igual forma los valores más pequeños de 17,78 cm y una altura de 11.52 cm. Esto se debe a la dosis baja de fósforo que se implementó en el proyecto, ya que según (Gómez & Vallejo, 2015) indican que para un desarrollo óptimo de la planta de frutilla se recomienda utilizar niveles entre 0,5 y 1,0 meq· L⁻¹. Por otra parte, (Díaz et al., 2017) indica que los síntomas generales de la falta de fósforo están ligados a un desarrollo anormalmente débil del vegetal, tanto en su parte aérea como en el sistema radical. La longitud de raíz fue menor en el tratamiento T3 (0.2 meq· L⁻¹ P), (Jose, 2021) indica que el primer signo revelador de deficiencia de fósforo es un retraso en el desarrollo de raíces jóvenes que causa dificultad para la ingesta de agua y nutrientes.

Influencia de concentraciones de fósforo sobre peso húmedo

Se encontraron diferencias significativas sobre la variable peso húmedo raíz ($F_{2,6} = 5.25$; $p = 0,0480$), peso húmedo foliar ($F_{2,6} = 13.48$; $p = 0.006$), y peso húmedo total ($F_{2,6} = 10.90$; $p = 0.0101$) para cada tratamiento, T1(1.6 meq· L⁻¹ P), T2 (0.9 meq· L⁻¹ P), T3 (0.2 meq· L⁻¹ P) donde se encontró que el peso húmedo difiere entre tratamientos ya que la biomasa vegetal disminuye conforme la dosis de fosforo disminuya, por ende, las plantas del T3 (0.2 meq· L⁻¹ P) se mostraron más pequeñas, más débiles, al igual que el sistema radicular (Tabla 4). (Fernández, 2007) indica que la falta de fósforo repercute en el alargamiento del tallo de las plantas, produciendo plantas enanas, lo que provoca un bajo rendimiento, mala calidad y baja biomasa.

Tabla 4

Promedio \pm desviación estándar de peso húmedo de raíz, peso húmedo área foliar y total, de frutilla de la variedad Monterrey con diferentes dosis de fósforo

Tratamiento	Peso húmedo raíz (g. planta ⁻¹)	Peso húmedo foliar (g. planta ⁻¹)	Peso húmedo total (g. planta ⁻¹)
T1	16.00 \pm 4.98 ab	31.73 \pm 13.46 b	47.73 \pm 17.58 b
T2	26.00 \pm 10.21 b	49.00 \pm 8.03 b	75.00 \pm 17.80 b
T3	7.17 \pm 4.80 a	9.20 \pm 4.50 a	16.37 \pm 9.23 a

Nota. T1(1.6 meq· L⁻¹ P), T2 (0.9 meq· L⁻¹ P), T3 (0.2 meq· L⁻¹ P)

Prueba LSD Fisher (p=0.005)

Medidas con una letra en común no son significativamente diferentes (p < 0.05)

NS, *, **, ***; no significativo o significativo p <0.05.

Tabla de autoría.

En la tabla 4 se identificó que las diferentes dosis de fósforo sobre el peso húmedo de raíz y peso húmedo de área foliar, fue menor para el tratamiento T3 (0.2 meq· L⁻¹ P) con un promedio de 7.17 g. planta⁻¹ y 9.20 g. planta⁻¹ dando un peso total de 16.37 g. planta⁻¹ a diferencia de los otros tratamientos. Según (Rodriguez & Florez, 2004) esto se debe a que la deficiencia de fósforo afecta el desarrollo debido a la producción de proteínas, al presentar una deficiencia es muy baja y la síntesis de almidón, celulosa y sacarosa se reducen además de una reducción celular en las hojas.

Influencia de concentraciones de fósforo sobre materia seca

Se encontraron diferencias significativas de las diferentes concentraciones de fósforo sobre la variable de materia seca de follaje ($F_{2,6}=13.30$; $p= 0.0062$), materia seca de raíz ($F_{2,6}= 3.03$; $p= 0.123$) y materia seca total ($F_{2,6}=13.28$; $p= 0.0063$), en donde T3 (0.2 meq· L⁻¹ P), presento los promedios más bajos, tanto en materia seca de raíz como en peso seco de área foliar. Esto se corrobora con la (Tabla 3) al analizar las diferentes variables morfológicas agronómicas evaluadas, además de la (Figura 4) con respecto a la biomasa y longitud de raíz en cada tratamiento evaluado.

Tabla 5

Promedio \pm desviación estándar de masa seca de raíz, masa seca área foliar y total, de frutilla de la variedad Monterrey con diferentes dosis de fósforo

Tratamiento	Masa seca raíz (g. planta ⁻¹)	Masa seca foliar (g. planta ⁻¹)	Masa seca total (g. planta ⁻¹)
T1	1.88 \pm 0.20 ab	8.14 \pm 3.62 b	10.02 \pm 3.81 b
T2	2.44 \pm 0.79 b	12.24 \pm 0.40 b	14.67 \pm 0.92 b
T3	1.26 \pm 0.60 a	2.88 \pm 1.28 a	4.15 \pm 1.86 a

Nota. T1(1.6 meq L⁻¹ P), T2 (0.9 meq L⁻¹ P), T3 (0.2 meq L⁻¹ P)

Prueba LSD Fisher (p=0.005)

Medidas con una letra en común no son significativamente diferentes (p < 0.05)

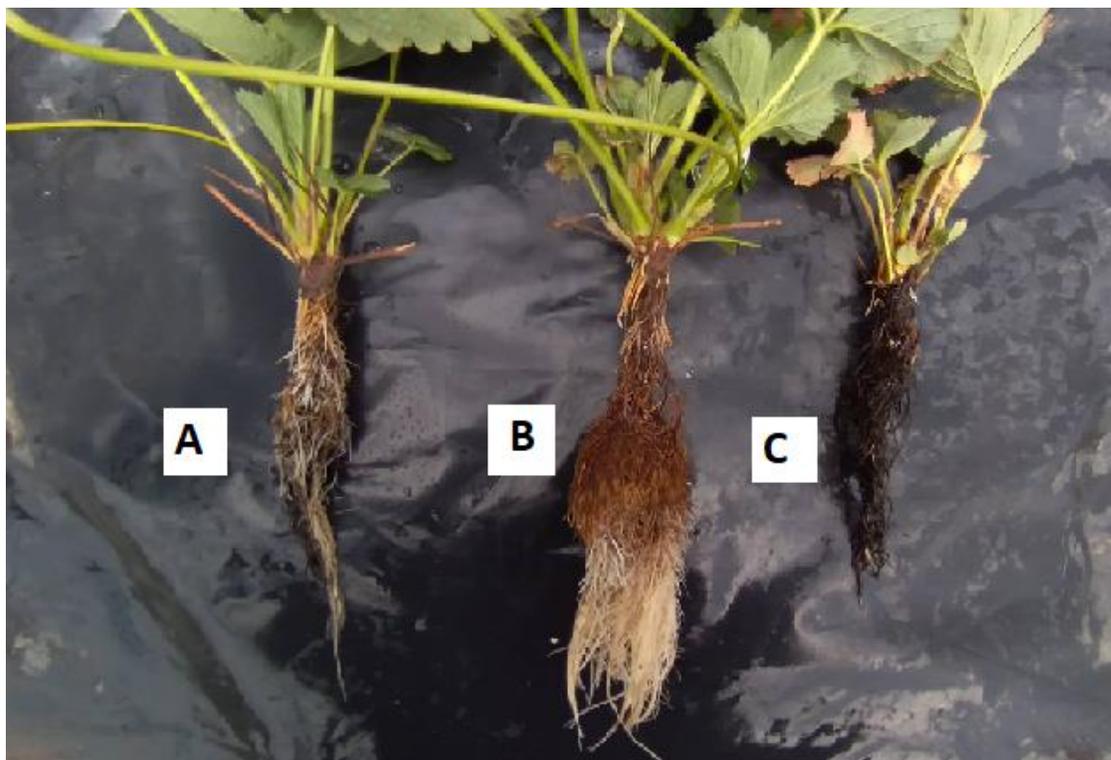
NS, *, **, ***; no significativo o significativo p <0.05.

Tabla de autoría.

En la tabla 5 se observa que las diferentes dosis de fósforo sobre la materia seca de raíz y área foliar, de igual forma fue menor para el tratamiento T3 (0.2 meq. L⁻¹ P) con un promedio de 1.26 g. planta⁻¹ y 2.88 g. planta⁻¹ dando un peso total de 4.17 g. planta⁻¹ a diferencia de los otros tratamientos. Esto se debe a la baja concentración de P utilizado que produce una baja tasa de crecimiento en la planta, (Li et al., 2014) afirma que una adecuada nutrición de fósforo ayudará significativamente a la expansión de las hojas y al crecimiento de la parte superior de la planta. Mientras que (Pellerin et al., 2000) afirma que las plantas pueden presentar deficiencias visibles cuando el contenido de fósforo se encuentra $\geq 0.2\%$ con base en materia seca, lo que puede provocar detenimiento en su crecimiento y desarrollo. Cuando sucede esto, las hojas maduras acumulan pigmentos, son delgadas, erectas y de menor tamaño; por tanto, la maduración se atrasa.

Figura 4

Diferencias en longitud de raíz de la frutilla Monterrey influenciadas por concentraciones diferentes de fósforo



Nota. A: T1(1.6 meq. L⁻¹ P), B: T2 (0.9 meq. L⁻¹ P), C: T3 (0.2 meq. L⁻¹ P). Figura de autoría.

Influencia de concentraciones de fósforo sobre las variables productivas, número de flores

Se realizó un análisis descriptivo con tablas de frecuencia para el número de flores de cada planta por cada tratamiento se vio afectada ya que en el T3 (0.2 meq. L⁻¹) las plantas no presentaron flores, a diferencia del T1(1.6 meq. L⁻¹ P) y T2 (0.9 meq. L⁻¹ P) que si presentaron flores en cada planta. Esto se debe al efecto que produce las diferentes dosis de fósforo (Ahmad et al., 2017) indica que una nutrición óptima de fósforo afecta a muchos aspectos del desarrollo de las plantas entre estos la floración, fructificación y el crecimiento.

Tabla 6

Tabla de frecuencias de número de flores, con diferentes concentraciones de fósforo

Tratamiento	Nº de Flores	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa	Porcentaje %
T1	1	1	0.11	11.11
T1	2	3	0.33	33.33
T1	3	4	0.44	44.44
T1	4	1	0.11	3.70
T2	1	2	0.22	22.22
T2	2	4	0.44	44.44
T2	3	3	0.33	33.33
T3	0	9	1	100

*Nota.*T1(1.6 meq. L⁻¹ P), B: T2 (0.9 meq. L⁻¹ P), C: T3 (0.2 meq. L⁻¹ P).

Tabla de autoría.

Como se observa en la tabla 6, de frecuencias el tratamiento T3 (0.2 meq. L⁻¹) no presentó flores, se cree que las plantas tuvieron un aborto precoz de flores por la deficiencia provocada, generando un estrés y marchitamiento de estas, tomando en cuenta que T3 (0.2 meq. L⁻¹) tuvo un 0% en número de flores, T1(1.6 meq. L⁻¹ P) fue de un 100 % y T2 (0.9 meq. L⁻¹ P) de un 92.59 % (Figura 5).

Influencia de concentraciones de fósforo sobre las variables productivas, número de estolones

Con respecto al número de estolones de cada planta por cada tratamiento se vio afectado ya que en el T3 (0.2 meq. L⁻¹) las plantas no presentaron estolones, a diferencia del T1(1.6 meq. L⁻¹ P) y T2 (0.9 meq. L⁻¹ P). Teniendo en cuenta que (Li et al., 2014) realizaron una investigación en donde obtuvieron un aumento significativo en los estolones de fresa y en las plantas hijas que estaban relacionados con la concentración adecuada de P total en la planta (Tabla 5) demostrando también que el P ayudó significativamente a la expansión de las hojas y al crecimiento de la parte superior.

Tabla 7

Tabla de frecuencias de número de estolones, con diferentes concentraciones de fósforo

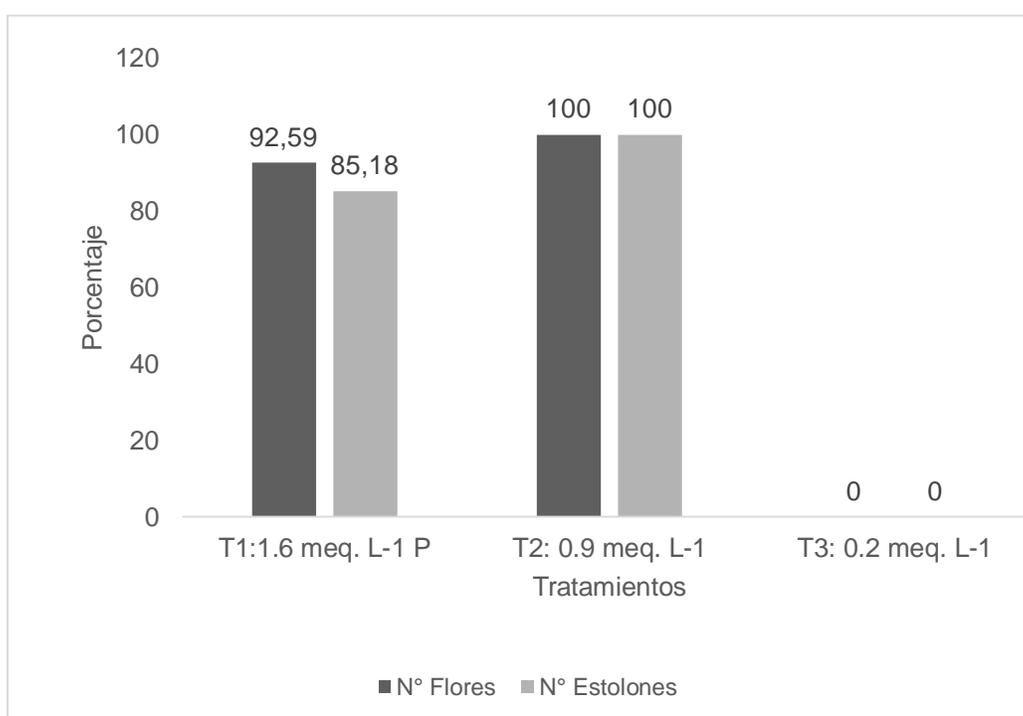
Tratamiento	N° de estolones	Frecuencia Absoluta	Frecuencia relativa	Porcentaje %
T1	1	1	0.11	11.11
T1	2	3	0.33	33.33
T1	3	3	0.33	33.33
T1	4	2	0.22	22.22
T2	1	6	0.66	66.66
T2	2	1	0.11	11.11
T2	3	2	0.22	22.22
T3	0	9	1	100

Nota. T1(1.6 meq. L⁻¹ P), B: T2 (0.9 meq. L⁻¹ P), C: T3 (0.2 meq. L⁻¹ P).
Tabla de autoría.

En la tabla 7, de frecuencias el tratamiento T3 (0.2 meq. L⁻¹) no presento estolones, por la deficiencia provocada de P, generando un estrés y menor proceso de división celular, tomando en cuenta que T3 (0.2 meq. L⁻¹) tuvo un 0% en número de flores, T1(1.6 meq. L⁻¹ P) fue de un 100 % y T2 (0.9 meq. L⁻¹ P) de un 85.19 % (Figura 5).

Figura 5

Gráfica de porcentajes en relación al número de flores y número de estolones por planta para cada tratamiento evaluado a diferentes concentraciones de fósforo



Nota. Grafica de autoría

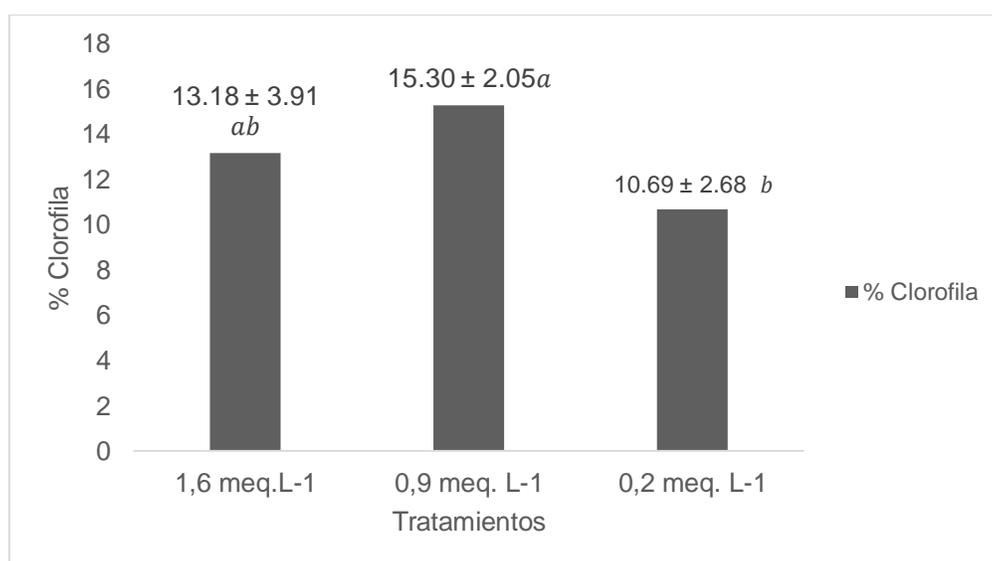
Evaluación del índice de contenido de clorofila (ICC) en las hojas de la planta de frutilla variedad Monterrey mediante un clorómetro, con diferentes niveles de fósforo

Se encontró un efecto significativo entre tratamientos sobre el porcentaje de clorofila ($F_{2,24}=8.44$; $p= 0.0017$), encontrando que el (T1:1.6 meq. L⁻¹ P) y (T3: 0.2 meq. L⁻¹) presentaron coloraciones y tonalidades en las hojas más viejas, ya que se consideró que en el T1 se tuvo en leve exceso de fósforo que lo que provoca según (Pérez, 2017) el fósforo también está

involucrado en el proceso fotosintético al participar en la fosforilación de varios intermediarios de la asimilación del CO_2 . En las reacciones de los dos fotosistemas, el fósforo está involucrado en la conversión de la luz hacia energía química al reducir al NADPH y al ATP. Síntomas de deficiencia de fósforo.

Figura 6

Promedio \pm desviación estándar de la variable fisiológica de porcentaje de clorofila por cada tratamiento evaluado diferente



Nota. Gráfica de autoría

Como se observa en la Figura 6, (T1:1.6 meq. L^{-1} P) y (T3: 0.2 meq: L^{-1}) presentan los niveles más bajos de clorofila 13.18 % y 10.69 % por consecuencia de las dosis de fósforo utilizadas, mientras que T2 (0.9 meq: L^{-1} P) tiene un valor de 15.30 % siendo el más alto y menos afectado. Por ende, las diferentes dosis de fósforo si afectan a la planta, ya que (Leod & Aguila, 2019) indica que cuando el cultivo no logra satisfacer su demanda nutricional, esta merma su crecimiento, hay cambios en coloración y afecta su rendimiento. Estos síntomas varían de acuerdo con la severidad de la deficiencia y en algunas oportunidades pueden

confundirse con enfermedades por la sintomatología que la planta presenta. Además, según (Estrada, Trejo, et al., 2011) sin fósforo no hay fotosíntesis ya que este es fundamental en el metabolismo vegetal, tales como biosíntesis de glúcidos, biosíntesis de lípidos, síntesis de clorofilas y carotenoides, glucólisis y metabolismo de los ácidos orgánicos.

Evaluación del contenido de fósforo en las hojas de la planta de frutilla variedad

Monterrey para cada tratamiento

Se encontró diferencias significativas del contenido de fósforo ($F_{2,6} = 64.64$; $p = 0.0001$) sobre cada tratamiento, evidenciando así el bajo contenido de fósforo en el (T3: $0.2 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$) a diferencia de los demás tratamientos. Este síntoma se lo evidencio por sintomatología que presento la planta, como lo es la coloración en las hojas (Figura 7), y el crecimiento anormal, incluido el análisis que se realizó en materia seca de las hojas (Pérez, 2017) indica que una deficiencia de P es frecuente la acumulación de antocianina en la base de las hojas y en las hojas próximas a morir, que le dan una coloración púrpura o tonalidades rojizas.

Tabla 8

Evaluación del contenido de fósforo de cada tratamiento en hojas de frutilla de la variedad

Monterrey

Tratamiento	Fósforo %
T1	0.82 ± 0.04 b
T2	0.59 ± 0.07 b
T3	0.22 ± 0.02 a

Nota. T1 ($1.6 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$ P), T2 ($0.9 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$ P), T3 ($0.2 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$ P)

Prueba LSD Fisher ($p = 0.005$)

Medidas con una letra en común no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

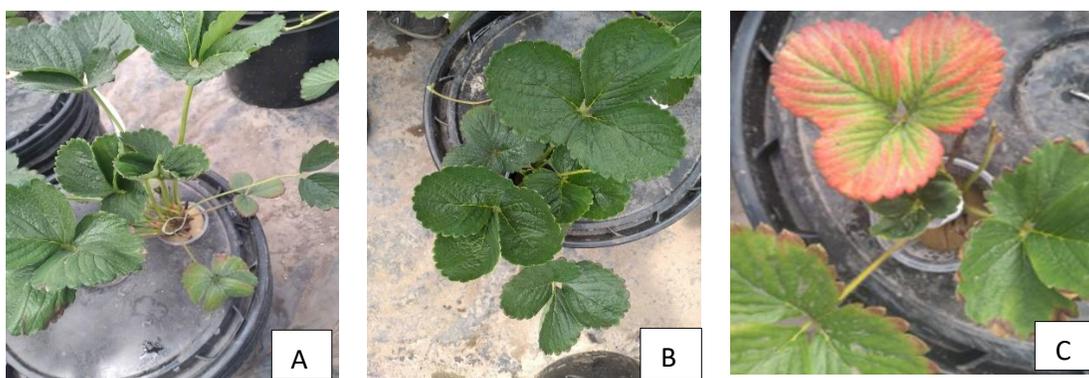
NS, *, **, ***; no significativo o significativo $p < 0.05$

Tabla de autoría

En la tabla 5, se puede observar que el (T3: 0.2 meq·L⁻¹), presentó el contenido de fósforo más bajo con un 0.22 %, esto se debe a la dosis utilizada en el tratamiento que corroboró con el análisis en las hojas de la planta por cada uno de los tratamientos. Teniendo en cuenta que (Gómez & Vallejo, 2015) indican que las dosis de requerimiento de fósforo óptimo para frutilla son niveles entre 0,5 y 1,0 meq. L⁻¹.

Figura 7

Evaluación del contenido de fósforo en las hojas de la planta de frutilla variedad Monterrey para cada tratamiento



Nota. A: T1(1.6 meq. L⁻¹ P), B: T2 (0.9 meq. L⁻¹ P), C: T3 (0.2 meq. L⁻¹ P).

Capítulo V

Conclusiones

- Al aplicar 0.2 meq. L⁻¹ de P (T3), se obtuvieron los valores más bajos para la mayoría de las variables evaluadas en el ensayo para el número de hojas, número de flores, número de estolones, longitud de estolón, longitud de raíz, altura, contenido de clorofila, contenido de materia seca total, peso húmedo total. Esto quiere decir que las diferentes concentraciones de P influyeron directamente sobre las variables.
- El mejor tratamiento que se muestra en la investigación en cuanto a la aplicación de P en el sistema hidropónico de frutilla Kratky fue el T2 (0.9 meq. L⁻¹) ya que presenta los mejores valores para número de hojas, número de flores, número de estolones, longitud de estolón, longitud de raíz, altura y contenido de clorofila.
- En las diferentes aplicaciones de fósforo se observó que ha menor concentración de P (0.2 meq. L⁻¹) se presentó menor peso fresco y materia seca de las plantas, mientras que a una concentración de 0.9 meq. L⁻¹ de P se obtuvieron peso fresco y materia seca de 16.37 y 4.15 g. planta⁻¹ respectivamente.
- El nivel de fósforo T3 (0.2 meq. L⁻¹) mostraron un porcentaje de clorofila de 10.69 %, a diferencia del T2 (0.9 meq. L⁻¹), fue la más adecuada para el contenido de clorofila (15.30%), materia seca y peso fresco.
- Según los datos obtenidos en evaluación de cada variable por tratamiento se determinó la gran importancia del P. Identificando así la relación directa de este con respecto al crecimiento tanto de la parte aérea foliar como del sistema radicular, ya que al presentarse una dosis deficiente de fósforo las plantas se atrofiaron en área foliar como en sistema radicular, lo que provoca que las plantas no se desarrollen normalmente.

Recomendaciones

- Para un desarrollo óptimo y adecuado del cultivo de frutilla se recomienda utilizar concentraciones entre 0.5 y 1.0 meq. L⁻¹ de fósforo.
- Es importante adquirir el material vegetal de lugares o empresas certificadas que garanticen su excelente procedencia, libres de plagas y enfermedades, todo para evitar problemas relacionados con enfermedades preexistentes anteriormente en los cultivos de procedencia.
- Se recomienda, realizar un adecuado manejo de plagas y enfermedades ya que al estar la planta en un estrés sea de exceso o carencia de nutrientes esta tiende a ser más susceptible a este tipo de vectores, lo que podría confundirse con la sintomatología de la deficiencia.
- Se recomienda realizar más estudios relacionados al sistema Kratky, ya que podría ser un buen tipo de sistema hidropónico, siendo más automatizado, con respecto al control de pH y CE ya que estos fueron los factores que más problemática dieron en el ensayo, además de la utilización de recipientes más grandes, y que eviten la evaporación y volatización de solución nutritiva.

Bibliografía

- Ahmad, H., Sajjid, M., Hayat, S., Ullah, R., Ali, M., Jamal, A., Rahman, A., Aman, Z., & Ali, J. (2017). Growth, Yield and Fruit Quality of Strawberry (*Fragaria ananasa* Dutch) under Different Phosphorus Levels. *Research in Agriculture*, 2(2), 19.
<https://doi.org/10.22158/ra.v2n2p19>
- Caminiti, A. (2015). *Cultivo de Frutillas en la provincia del Neuquén*. INTA.
- Choi, J. M., Latigui, A., & Lee, C. W. (2013). Visual symptom and tissue nutrient contents in dry matter and petiole sap for diagnostic criteria of phosphorus nutrition for 'Seolhyang' strawberry cultivation. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54(1), 52–57.
<https://doi.org/10.1007/s13580-013-0130-y>
- Di Rienzo, J., Gonzales, L., Casanoves, F., & Tablada, M. (2017). *InfoStat Software Estadístico* (No. 2020I).
- Díaz, L., Dávalos, A., Jofre, A., & Martínez, T. (2017). *“UNA GUÍA VISUAL PARA FERTILIZAR”* (inifap, Ed.; Primera edición).
- Enríquez, E. (2015). *La hidroponía en el cultivo de la fresa como alternativa para obtener cosechas con mejor calidad disminuyendo el uso de los pesticidas* [Tesis de Grado, Universidad y Tecnología Oteima].
https://www.academia.edu/19566900/LA_HIDROPONIA_EN_EL_CULTIVO_DE_LA_FRESA_COMO_ALTERNATIVA_PARA_OBTENER_COSECHAS_CON_MEJOR_CALIDAD_DISMINUYENDO_EL_USO_DE_LOS_PESTICIDAS
- Estrada, E., Trejo, L., Gomez, F., Nuñez, R., & Sandoval, M. (2011, September). REVISTA CHAPINGO SERIE HORTICULTURA. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 2–7.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60921383004>

FAO. (2000). *Mejorando la nutrición a través de huertos y granjas familiares*.

Fernández, T. (2007). Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA*, 50(0138–6204).

Funchess, M. J., Y Bailey, by R., Bertram, F. E., Cauthen, E. F., Duggar, J. F., Fudge, F., Pierre, W. H., Parker, F. W., Scarseth, G. D., Sturkie, D. G., Tidmore, J. W., Tisdale, H. B., Volk, G. W., Benford, H. R., Breedlove, C. L., Richardson, J. W., Segrest, J. F., Taylor, J. R., Taylor, R. W., ... Williamson -Editor, J. T. (1950). Response of Crops to Various Phosphate Fertilizers. In *BULLETIN* (Bulletin N° 270, Issue 270). Associate Soil Chemist.

Galárraga, A. (2015). *Evaluación de niveles de fertilización en el cultivo de frutilla (Fragaria x ananassa) en Puembo –Pichincha*. [Tesis de Grado, Universidad San Francisco de Quito-USFQ]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5639/1/122859.pdf>

Gómez, V. D., & Vallejo, C. M. (2015). *Niveles óptimos de calcio, fósforo, y su interacción en la producción y calidad del cultivo de frutilla (Fragaria vesca L.) variedad festival*. [Tesis de Grado, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10774/1/T-ESPE-IASA%20I-001641.pdf>

Hirzel, J., Pérez, F., & Balbontín, C. (2020). *Referencias de concentraciones nutricionales en cultivos de frutillas variedades Albion, Monterey y San Andreas*. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/4023/Informativo%20INIA%20N%20c2%b0%20152?sequence=1&isAllowed=y>

INTAGRI. (2014). Sistemas Hidropónicos y Soluciones Nutritivas para Fresas. In *Artículos Técnicos de INTAGRI: Vol. Serie Núm. 3*.

Jose, M. (2021). Cómo identificar la deficiencia de fósforo en las plantas. *El Arte de Crecer Blog*, 3–5. <https://blog.bluelab.com/identify-phosphorus-nutrient-deficiency-in-plants>

- Kratky, B. A. (2009). Three non-circulating hydroponic methods for growing lettuce. In *Acta. Hort* (Vol. 843).
- Leod, C., & Aguila, K. (2019). Principales síntomas de deficiencias nutricionales en el cultivo de frutillas. In *ResearchGate* (Informativo N° 92, p. 4). INIA.
- Li, H., Li, T., Fu, G., & Hu, K. (2014). How strawberry plants cope with limited phosphorus supply: Nursery-crop formation and phosphorus and nitrogen uptake dynamics. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(2), 260–270. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200654>
- Mixquititla, G., Villegas, O. G., Andrade, M., Sotelo, H., & Toshirrico, A. (2020). Crecimiento, rendimiento y calidad de fresa por efecto del régimen nutrimental. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*.
- Morales, G., Riquelme, J., Hirzel, J., France, A., Pedreros, A., Uribe, H., & Abarca, P. (2017). *Manual de manejo agronómico de la frutilla* (C. Morales, Ed.; Boletín N° 382). INIA. <file:///C:/Users/user/Downloads/Bolet%C3%ADn%20INIA%20N%C2%B0%20382.pdf>
- Parra, E. (2018). *producción y comercialización de frutilla (Fragaria sp) en la parroquia Yaruquí, Cantón Quito, Provincia De Pichincha* [Tesis de Grado, Universidad Tecnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8658/1/03%20AGN%20041%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Pellerin, S., Mollier, A., & Plénet, D. (2000). Phosphorus Deficiency Affects the Rate of Emergence and Number of Maize Adventitious Nodal Roots. *Agronomy Journal*, 92(4), 690–697. <https://doi.org/10.2134/agronj2000.924690x>
- Pérez, F. (2017). *Fisiología vegetal parte III nutrición mineral* (Primera Edición). Universidad Nacional de Ucayali.

<https://www.google.com/search?q=UNU+PERU&oq=UNU+PERU&aqs=chrome..69i57j0i512j46i512j0i10i433l2j0i10l2j69i60.2542j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>

Rodriguez, M., & Florez, V. (2004). *Elementos esenciales y beneficiosos*. Programa CYTED.

Sepúlveda, P., Délano, G., & Correa, A. (2015). *Cultivo de Frutilla* (A. Correa & L. Alarcón, Eds.). INIA.

Sudzuki, H. (2002). *Frutales menores: nuevas alternativas de cultivo: Vol. Volumen 1* (6ª Edición). Editorial Universal.

Tustón, R. G. (2012). *Sistematización de experiencias del cultivo de frutilla (Fragaria dioica), para la sierra norte de Pichincha* [Tesis de Grado, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3759>

Valentinuzzi, F., Pii, Y., Vigani, G., Lehmann, M., Cesco, S., & Mimmo, T. (2015). Phosphorus and iron deficiencies induce a metabolic reprogramming and affect the exudation traits of the woody plant (*Fragaria xananassa*). *Journal of Experimental Botany*, 66(20), 6483–6495. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv364>

Viana, E. (2020). *El fósforo, la energía de la planta*.

<https://www.engormix.com/agricultura/articulos/fosforo-energia-planta-t45989.htm>

Villarreal, V. (2018). *Evaluación de las condiciones climáticas y fuentes de boro, para la germinación in vitro de polen en frutilla (Fragaria xananassa) variedad festival* [Tesis de Grado, Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE].

<https://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/14539/1/T-IASA%20I-005444.pdf>

Vizcaino, L. (2011). *Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de frutilla (Fragaria chilensis) en Checa –Pichincha* [Tesis de Grado]. Universidad San Francisco de Quito.

Weil, R., & Brady, N. (2016). Soil Phosphorus and Potassium. In *The Nature and Properties of Soils* (15^a Edición). Pearson, Columbus, OH.

Enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/1BfGiPSP12RnUvuMd8h-3WvliRZnwOtPn?usp=sharing>