

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Interacción Entre Roca Fosfórica y Fósforo Soluble En La Fenología De Las Plantas De Fresa CV. Camino Real (*Fragaria x ananassa*) En Cultivos Sin Suelo

Por:

SELINA ANDRÉS HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Interacción entre Roca Fosfórica y Fósforo Soluble en la Fenología de las Plantas de Fresa CV. Camino Real (*Fragaria x ananassa*) en Cultivos sin Suelo

Por:

SELINA ANDRÉS HERNÁNDEZ

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Armando Hernández Pérez
Asesor Principal

M.C. Fidel Maximiano Peña Ramos
Coasesor

Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez
Coasesor

Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Junio de 2021

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos: Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes. Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante


Selina Andrés Hernández

Firma y Nombre

AGRADECIMIENTOS

A MI DULCE NOMBRE DE JESUS:

Por darme la fuerza y guiar mis pasos por el camino del bien a lo largo de mi vida, por estar a mi lado en los días buenos y en los no tan buenos, confortando mi alma para seguir siempre hacia delante.

A MI ALMA TERRA MATER:

Por permitirme ingresar a esta grandiosa casa de estudios, por permitirme adquirir nuevos conocimientos, ponerlos en práctica y conocer amigos que con el paso del tiempo se han vuelto familia.

AL DOCTOR ARMANDO:

Por su entrega en mi aprendizaje, por compartirme sus conocimientos y darme la oportunidad de trabajar con usted.

AL MAESTRO MATA:

Por sus enseñanzas, sus consejos y su disposición al momento de compartir sus conocimientos.

AL MC. FIDEL MAXIMIANO PEÑA RAMOS:

Por brindarme su tiempo y sus conocimientos para la realización de éste trabajo.

A LA DRA. FABIOLA AUREOLES RODRÍGUEZ:

Por brindarme sus conocimientos y apoyo a lo largo de la universidad.

A todos los docentes de esta grandiosa universidad por sus valiosas enseñanzas, conocimientos impartidos y experiencias compartidas en el aula, puesto que han formado parte importante para lograr este triunfo en mi vida.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

Fernando y Clemencia por brindarme su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por darme su amor incondicional y por creer en mí, gracias a ustedes soy una profesional, los amo.

A MIS HERMANAS:

Dalila y Fatima por sus consejos, regaños y felicitaciones, agradezco su amor incondicional y poder ser parte de nuestra hermosa familia.

A MIS ABUELITOS:

Hilario, Luz, Erasmo y Rosalina, sus palabras de aliento, sus consejos fueron de gran ayuda, para salir adelante para luchar por mi sueño y no darme por vencida.

A MI PRIMITA ILSE:

Gracias por ser un gran ejemplo y saber que se puede seguir adelante, por guiar mis pasos y poner tu fé y esperanza en mí.

A MI TIA GUILLE:

Por sus consejos y su ayuda que siempre nos brinda, es usted una gran persona.

A MIS AMIGAS:

La ing.Areli , ing. Micaela e ing. Patricia por brindarme su amistad sincera e incondicional, las quiero y aprecio, son parte importante en mi vida.

Gracias por creer en mí, les estaré eternamente agradecida, los amo.

INDICE CONTENIDO

| | |
|--|-------------|
| AGRADECIMIENTOS..... | ii |
| DEDICATORIAS | iii |
| INDICE CONTENIDO..... | iv,v |
| INDICE DE CUADROS | vi |
| INDICE DE FIGURAS..... | vii |
| RESUMEN..... | viii |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II.REVISIÓN DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1 GENERALIDADES DE LA FRESA (FRAGARIA X ANANASSA)..... | 4 |
| 2.1.1 Historia de la fresa | 4 |
| 2.1.2 Origen de la fresa en México..... | 4 |
| 2.1.3 Fresa variedad Camino Real..... | 5 |
| 2.1.4 Importancia económica..... | 6 |
| 2.1.5 Características botánicas..... | 7 |
| 2.2 REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO | 8 |
| 2.2.1 Condiciones climáticas..... | 8 |
| 2.2.2 Fotoperiodo..... | 8 |
| 2.2.3 Suelo..... | 9 |
| 2.2.4 Nutrición..... | 9 |
| 2.2.5 Deficiencia en fósforo..... | 10 |
| 2.3 FERTILIZANTES FOSFATADOS..... | 10 |
| 2.3.1 Los fertilizantes fosfatados se clasifican..... | 10 |
| 2.3.2 Depósitos mundiales de fosfatos | 12 |
| 2.3.3. Pérdidas globales de P de los suelos y balances de P del suelo... | 13 |
| 2.4 Importancia del Fósforo en la Agricultura..... | 16 |
| 2.5 ROCAS FOSFÓRICAS..... | 17 |
| 2.5.1 Fosforitas duras y blandas..... | 17 |
| 2.5.2 Abonado de fondo..... | 19 |
| 2.5.3 Aplicación de la roca fosfórica en la agricultura..... | 19 |
| 2.5.4 Factores a considerar para optimizar la efectividad de la roca fosfórica en la agricultura | 20 |
| 2.6 FERTILIZANTE FOSFATADO ÁCIDO FOSFÓRICO..... | 22 |
| 2.6.1 Fósforo total..... | 23 |
| 2.6.2 Características químicas y físicas | 23 |
| 2.6.3 Interacción entre la disolución del fertilizante y el agua de riego..... | 24 |
| 2.6. 4 Sistema suelo-planta-fósforo..... | 24 |
| 2.6.5 Esquema de la relación suelo–planta en la nutrición fosforada..... | 25 |

| | |
|---|-----------|
| 2.6.6 Fertilizantes fosfatados en la agricultura (ácido fosfórico)..... | 26 |
| 2.6.7 Factores que afectan la disponibilidad del fósforo soluble..... | 27 |
| 2.6.8 Eficiencia agronómica del ácido fosfórico..... | 27 |
| III.MATERIALES Y METODOS..... | 28 |
| 3.1 Localización del sitio experimental..... | 29 |
| 3.2 Clima..... | 29 |
| 3.3 Descripción del invernadero..... | 29 |
| 3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL Y DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS..... | 29 |
| 3.5 Material experimental y procedimientos empleados en la ejecución de la investigación..... | 30 |
| 3.5.1 Sustrato y fertilización de fondo con roca fosfórica..... | 31 |
| 3.5.2 Fertilización con fósforo soluble..... | 32 |
| 3.6 LABORES CULTURALES..... | 33 |
| 3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 34 |
| 3.7.1 Variables evaluadas | 34 |
| 3.7.2 Altura de la Planta..... | 34 |
| 3.7.3 Numero de Hojas..... | 34 |
| 3.7.4 Peso Fresco de Hojas..... | 34 |
| 3.7.5 Peso Seco de Hojas | 35 |
| 3.7.6 Índice de Contenido Relativo de Clorofila en Hojas..... | 35 |
| IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 35 |
| V.CONCLUSIÓN..... | 41 |
| VI.LITERATURA CITADA..... | 42 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1. Efecto de la conductividad eléctrica en el rendimiento de las berries..... | 9 |
| Cuadro 2. Solubilidad en diferentes reactivos del fósforo asimilable de los principales fertilizantes comerciales..... | 11 |
| Cuadro 3. Producción y reservas minera mundiales..... | 12 |
| Cuadro 4. Depósitos de fosfatos reportados en el programa de investigación de rocas fosfóricas del (IFDC). | 14 |
| Cuadro 5. Composición química de la roca fosfórica..... | 17 |
| Cuadro 6. Tratamientos del experimento..... | 29 |
| Cuadro 7. Cantidad de fertilizante a diluir en 80 litros de agua para tener una solución Steiner al 60%..... | 31 |
| Cuadro 8. Análisis de Varianza de las variables de crecimiento y contenido relativo de clorofila de las plantas de fresa desarrolladas con roca fosfórica y fósforo soluble..... | 35 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Interacción entre roca fosfórica y fósforo soluble en la altura de las plantas de fresa cv. Camino Real | 36 |
| Figura 2. Interacción entre roca fosfórica y fósforo soluble en el número de hojas de las plantas de fresa cv. Camino Real..... | 37 |
| Figura 3. Interacción entre roca fosfórica y fósforo soluble en el peso fresco de hojas de las plantas de fresa cv. Camino Real. | 38 |
| Figura 4. Interacción entre roca fosfórica y fósforo soluble en el peso seco de las plantas de fresa cv. Camino Real. | 39 |
| Figura 5. Interacción entre roca fosfórica y fósforo soluble en el índice de contenido relativo de clorofila de las plantas de fresa cv. Camino Real..... | 40 |

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en el invernadero de mediana tecnología, situado dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Saltillo, Coahuila, México, en este sitio se estableció el experimento a principios de Febrero del 2018, con la finalidad de evaluar la interacción entre roca fosfórica y fósforo soluble en la fenología de las plantas de fresa cv. camino real (*Fragaria x ananassa*) en cultivos sin suelo. Se evaluaron tres dosis de roca fosfórica (0, 2.5 y 5.0 g) y cinco concentraciones de fósforo soluble (0.0, 0.15, 0.30, 0.45 y 0.60 meq L⁻¹), dando un total de 15 tratamientos. El experimento se estableció bajo un diseño de Bloques Completamente al Azar con un arreglo factorial 3 x 5, con cuatro repeticiones y dos plantas por repetición. Se midieron las variables: Altura de la planta, Numero de hojas, Peso fresco de hojas, Peso seco de hojas y el Índice de contenido relativo de clorofila en hojas (unidades SPAD). Se efectuó un Análisis de Varianza (ANVA) bajo el diseño indicado y comparación de medias con la prueba Tukey ($P \leq 0.5$).

Los resultados muestran un incremento de 12.5 % de la altura de planta con relación a las plantas testigo, para el número de hojas un 25.80 %, el peso fresco de hoja 32.20 %, para el peso seco de hojas fue de 43.30 % y el índice de contenido relativo de clorofila en hojas con 9.3 % en comparación al testigo. La interacción entre la roca fosfórica y el fósforo soluble aumentan el peso fresco de hojas, el índice de contenido relativo de clorofila y número de hojas.

Palabras claves: Solubilidad, Roca fosfórica, fósforo soluble, crecimiento.

I. INTRODUCCIÓN

En México se cultivan diferentes variedades, cada una con características específicas; como son los rendimientos, épocas de producción, resistencias a plagas y enfermedades, sabor, color, tamaño, por mencionar algunas. La variedad se puede expresar de manera diferente dependiendo de la región donde se establezcan estas. Cabe mencionar que las variedades utilizadas en México han sido desarrolladas por Universidad de California USA y Universidad de Florida USA. Entre las más utilizadas se encuentran: Festival, Camino Real, Albion y San Andreas. Camino Real es una variedad de día corto con producción tardía, plantas compactas, el fruto es grande con buen sabor, altamente tolerante al daño por la lluvia (CONAFRE, 2012).

Una planta con la cantidad correcta de fósforo crecerá vigorosamente y madurará más temprano que otras plantas que carecen del mismo; al igual que el nitrógeno, el fósforo es un factor de crecimiento muy importante y, además, el desarrollo radicular se ve favorecido por una correcta aportación de este nutriente al principio del ciclo vegetativo, por lo que necesita de vital importancia su conocimiento en una nueva plantación independientemente del tipo que sea y el fósforo es un factor de precocidad, ya que activa el desarrollo inicial y tiende a acortar el ciclo vegetativo, favoreciendo la maduración (Herrera, 2020).

Normalmente un suelo puede poseer fósforo para sostener la vida vegetal, pero muchas veces éste es insuficiente para suplir la demanda de los cultivos, cada vez con mayor potencial de rendimiento, producto de la investigación y desarrollo en genética vegetal. Por esa razón, el fósforo debe agregarse como fertilizante ya que no hay otra fuente disponible en la naturaleza que, además, reponga el fósforo que se extrae por las cosechas. Asegurar la producción de alimentos para la humanidad actual y la población futura dependerá de los fertilizantes (Martínez, 2013). “Para la nutrición se emplean soluciones nutritivas que pueden diferir mucho por variedad, etapa fenológica, experiencias o recomendaciones” (INTAGRI, 2018). “En muchos

casos antes de la fertirrigación propiamente dicha, es conveniente la utilización de un abono de fondo como los denominados fertilizantes de liberación lenta e incluso los organominerales que tienen un comportamiento similar a los anteriores” (Cadaña, 2005).

“Las rocas fosfóricas deben ser materiales finamente molidos debido a su baja solubilidad en agua, lo que permite darle una mayor reactividad a la roca fosfórica por mayor contacto con el suelo y con las raíces de las plantas” (Sierra, 1990). Constituyen un recurso natural finito, no renovable y los depósitos geológicos de diferente origen se encuentran en todo el mundo. En la actualidad son explotados pocos yacimientos de roca fosfórica y cerca del 90 por ciento de la producción mundial es utilizada por la industria para la fabricación de fertilizantes fosfatados, mientras que el resto se emplea para la producción de alimentos para animales, detergentes y otros productos químicos (FAO, 2007). Existen dos grandes alternativas para la utilización de rocas fosfóricas:

1.- Tratarlas térmica o químicamente para obtener fertilizantes con una alta concentración de fósforo y que además el elemento se convierte en formas más aprovechables por las plantas. 2.- Aplicarlas molidas directamente al suelo (León, 1977).

1.1 Justificación

Eficientar el fósforo, utilizando como fertilizante adicional la roca fosfórica en los cultivos sin suelo, para así disminuir el consumo del fósforo soluble debido a la escases estimada en los próximos años.

1.2 Objetivo general

Evaluar el efecto de la roca fosfórica en combinación con fósforo soluble en el cultivo de fresa cv. Camino Real en el cultivo sin suelo.

1.2 Objetivos específicos

Determinar la respuesta del cultivo sometiendo a las diferentes dosis de fertilización de roca fosfórica y fósforo soluble.

Identificar la mejor interacción entre roca fosfórica y fosforo soluble en el desarrollo fenológico de fresa cv. Camino Real.

1.3 Hipótesis

La aplicación de roca fosfórica en combinación con fósforo soluble mostrará diferencia en el cultivo de fresa cv. Camino Real.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades de la fresa (*Fragaria x ananassa*)

2.1.1 Historia de la fresa

Todas las fresas cultivadas se obtuvieron a partir de cuatro especies principales. La primera de ellas, la fresa silvestre o de bosque, es una especie memoral frágil nativa de las montañas de América y las Antillas. La fresa escarlata o fresa de Virginia, es nativa del este de América del Norte y se introdujo en Europa durante el siglo XVII. La fresa de playa o fresa de Chile, procede de las regiones montañosas del hemisferio occidental. La última especie se parece a la fresa silvestre común, en Europa central se dio origen por hibridación a las variedades europeas de frutos más gruesos llamados fresones (SAGARPA, 2005). Aunque hay numerosas especies en toda Europa en estado silvestre (entre ellas la *Fragaria vesca*, la fresa común silvestre y la *Fragaria viridis*), las más extendidas que se cultivan actualmente derivan de un cruce espontáneo de dos especies, la *Fragaria virginiana* y la *Fragaria chiloensis*, importadas entre los siglos XVII y XVIII del Nuevo Continente (Bianchi, 2018).

2.1.2 Origen de la fresa en México

En 1849, la planta de fresa fue introducida a México, llegando a Irapuato en 1852 a través Don Nicolás Tejada, líder político del Distrito de Irapuato, estableciéndose 24 plantas de fresa en un almácigo en el bordo del río Guanajuato, terreno que aún se conoce como "Moussier", cuya ubicación actual es la zona noreste de la ciudad. El cultivo de fresa cobró importancia hasta 1880, cuando Óscar Droege, alemán radicado en Irapuato, enseñó a los agricultores locales el cultivo técnico de la fresa, en las huertas ubicadas en la hacienda de san Juan de Retana. Su cultivo se extendió a la hacienda de Buena Vista propiedad del Lic. Joaquín Chico González

quien impulsó el comercio de la fresa hacia la ciudad de México (Sánchez, 2008, p.17).

2.1.3 Fresa variedad Camino Real

Camino Real: Esta es la variedad que más demanda tiene de los materiales que produce la Universidad de California. Los productores de fresa en México la consideran como muy buena, como variedad tardía (comienza a producir a mediados de noviembre). Variedad de día corto con producción tardía, plantas compactas, el fruto es grande con buen sabor, altamente tolerante al daño por la lluvia. Presenta sensibilidad a las aspersiones con azufre y es relativamente tolerante a las enfermedades causadas por los hongos *phythophthora* y *Verticillium*. Se describe como planta de porte pequeño y erecta los que permite grandes densidades de plantación por hectárea y bajo buen manejo produce buen volumen de fruta (CONAFRE, 2012).

Mejor variedad a Camino Real, con un rendimiento de 6.7 toneladas por hectárea. Esta variedad se adaptó perfectamente a las condiciones predominantes del sur de Sinaloa durante los meses más fríos (enero, febrero y marzo), debido a que es una variedad de día corto (Santoyo y Martínez, 2009).

Clasificación taxonómica.

Reino: Vegetal

Sub-Reino: Fanerógamas

Tipo: Angiosperma

Clase: Dicotiledóneas

Serie: Simpétalo o Metaclamideas

Familia: *Rosaceae*

Sub-Familia: *Rosioideas*

Género y Especie: *Fragaria x ananassa*

2.1.4 Importancia económica

Los principales países productores de fresa son China, Estados Unidos de América, México, Turquía y Egipto, los cuales en conjunto aportan más del setenta por ciento del volumen total de la producción de fresa en el mundo y por otro lado, los principales países exportadores son España, Estados Unidos de América, México, Países Bajos y Bélgica, destacando México como tercer productor y exportador de fresa en el mundo (Ramírez P. L et al., 2020). “Los cinco principales países compradores de fresa mexicana son Estados Unidos, Canadá, Brasil, Arabia Saudita y Reino Unido, que en conjunto adquirieron 649.1 millones de dólares en esta frutilla” (SADER, 2017).

“México es el tercer proveedor de fresa fresca al mercado internacional, con 14.83% del valor de las exportaciones mundiales. En particular, las exportaciones mexicanas representaron 87.79 % de las importaciones de Estados Unidos” (SAGARPA, 2017). Los cinco principales estados productores de fresa en México son Michoacán, Baja California, Guanajuato, Baja California Sur y Estado de México, en su conjunto, estas entidades aportan el 99 por ciento de la producción total. Michoacán contribuye con el 68.7 por ciento del volumen total; Baja California, 17.9 por ciento; Guanajuato, 9.4 por ciento; Baja California Sur, 1.9 por ciento y el Estado de México, 1.2 por ciento. Además, producen fresa los estados de Aguascalientes, Jalisco, Sinaloa, Oaxaca, Veracruz, Tlaxcala y Puebla, entre otros (SADER, 2017).

10,120 hectáreas cultivadas de fresa, y un valor de producción de 9 ,597 millones de pesos, Michoacán se mantiene en primer lugar a nivel nacional en producción. El cultivo de fresa se siembra en 32 municipios michoacanos de los cuales destacan Zamora, Tangancícuaro, Jaconá y Panindícuaro como líderes de producción. Así mismo 1,437,538 toneladas se exportan principalmente a los mercados de Canadá, Estados Unidos, Holanda, Chile, Arabia Saudita, Japón, China Republica Dominicana, Italia y Kuwait (SADER Michoacán, 2018).

2.1.5 Características botánicas

La fresa es una planta herbácea que produce estolones, de bajo porte y alcanza hasta 0,40 m de altura, la raíz es fibrosa, de desarrollo superficial, alcanzando lateralmente unos 30 cm, el tallo llamado corona, es corto con yemas de tres tipos que producen nuevas coronas que desarrollan guías y/o que forman inflorescencias, está constituido por un eje corto de forma cónica, en el que se observan numerosas escamas foliares. Las hojas aparecen en roseta y se insertan en la corona, son largamente pecioladas y provistas de dos estipulas rojizas. Su limbo está dividido en tres foliolos pediculados, de bordes aserrados, tienen un gran número de estomas 2 (300-400/mm) por lo que pueden perder gran cantidad de agua por transpiración.

Las yemas axilares de las hojas nuevas dan origen a estolones de longitud y tamaño variable según sean las condiciones de manejo del cultivo, clima y variedad. Las flores son generalmente perfectas o hermafroditas, pero también presentan flores unisexuales y díclinas, se presentan en inflorescencias cimosas de tipo bíparo o solitarios que sobresalen sobre las hojas que quedan protegidas por ella.

Las inflorescencias se pueden desarrollar a partir de una yema terminal de la corona, o de yemas axilares de las hojas y su ramificación puede ser basal o distal, en el primer caso aparecen varias flores de porte similar, mientras que en el segundo hay una flor terminal o primaria y otras secundarias de menor tamaño. La flor tiene 5 - 6 pétalos, de 20 a 35 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 de la fresa (Olivera, 2012).

2.2 Requerimientos del cultivo

2.2.1 Condiciones climáticas.

Las exigencias térmicas oscilan según las variedades, la fresa puede considerarse una especie micro térmica, es decir que tolera temperaturas muy bajas durante su descanso vegetativo. En el transcurso de este periodo, que se inicia con temperaturas inferiores a 6°C, la planta satisface sus propios requerimientos de frío que necesita para interrumpir la dormición o letargo de las ramas. Durante la fase vegetativa, la temperatura óptima es de 20°C aproximadamente de día y 12°C de noche, si bien el retorno de frío se tolera sin sufrir daños. Las exigencias térmicas durante la fase de floración y maduración que se desarrollan de forma siempre óptima a 25°C -26°C son notables, las bajas temperaturas (menos de 2 °C) y las excesivas (más de 34 °C) provocan la desvitalización del polen, el aborto floral y la malformación de frutos (Bianchi, 2018). “La zona apta para producción de fruta se ubica entre 1,300 y 2,000 msnm” (SAGARPA, 2017).

2.2.2 Fotoperiodo

El fotoperiodo es el factor determinante en la inducción floral, la formación de yemas florales, el desarrollo de la corona, la longitud del peciolo, el desarrollo de la hoja y la emisión de estolones y determina el comportamiento fisiológico de los materiales de día corto y los remontantes (Flórez y Mora, 2010).

Día corto: “Para el cultivo de la fresa se considera día corto aquel cuya duración no supera las 12 horas luz. Las variedades de día corto necesitan entre 8 y 12 horas luz para la inducción floral” (Flórez y Mora, 2010). Olivera (2012) afirma que “la temperatura fluctúa entre 14 °C y 18 °C, para ello se trasplanta generalmente en los meses de abril y mayo”.

2.2.3 Suelo

La fresa es muy sensible al agotamiento del suelo; por este motivo es preferible no replantar en la misma parcela antes de un periodo de 4 o 5 años; este cultivo no debe sucederse a sí mismo, o en ese caso es necesario tomar las precauciones oportunas (Bianchi, 2018).

La fresa prefiere los suelos ligeramente ácidos, sueltos, aireados y bien drenados. Los suelos pesados limitan el desarrollo radicular. La raíz es altamente sensible a la salinidad y una alta acumulación de sales inhibe el crecimiento de las raíces, provoca necrosis de los bordes de las hojas y disminuciones del rendimiento, un pH moderadamente ácido, valores entre 5.7 y 6.5 (Flórez y Mora, 2010, p.26). Con una conductividad eléctrica no mayor de 2 mmhos/cm, no se desarrolla bien en suelos salinos. Es conveniente sembrar en suelos con bajo porcentaje de carbonatos de calcio (< 5 %) y con buen drenaje (Olivera, 2012). “El sustrato puede ser cualquier materia (fibra de coco, lana de roca, etc.) o simplemente agua en sistemas NFT” (INTAGRI, 2018).

2.2.4 Nutrición

Las soluciones nutritivas para fresa son la base principal para el desarrollo de las plantas, debido a que es la fuente para proporcionar todos los elementos necesarios para lograr los altos rendimientos. La calidad de agua, la compatibilidad entre los fertilizantes y la demanda nutricional de la fresa son los puntos a considerar para la formulación de soluciones nutritivas. Para este cultivo es muy importante conocer el nivel de conductividad eléctrica (C.E.) de la solución, debido a que la fresa es altamente sensible a la salinidad y repercute de manera directa en el rendimiento (INTAGRI, 2018).

Cuadro 1. Efecto de la conductividad eléctrica en el rendimiento de las berries.

| Cultivo | C.E en dS/m que causa una pérdida de rendimiento en: | | |
|-----------|--|-----|-----|
| | 10% | 25% | 50% |
| Fresa | 1.5 | 2.0 | 2.5 |
| Zarzamora | 1.5 | 2.0 | 2.5 |
| Arándano | 1.0 | 1.5 | 2.0 |
| Frambuesa | 1.5 | 2.0 | 2.5 |

Fuente: Sánchez, 2015.

2.2.5 Deficiencia en fósforo

Los síntomas generales de la falta de fósforo están ligados a un desarrollo anormalmente débil de vegetal, tanto en su parte aérea como en el sistema radicular. Ello es consecuencia, tal como se ha visto, de que el elemento es un participante básico en todos los procesos de crecimiento y síntesis de sus compuestos constituyentes. Las características más específicas cuando existe deficiencia aparecen en las hojas jóvenes a obtener de las más viejas los elementos móviles en condiciones de deficiencia, las hojas antiguas son las primeras que muestran los síntomas (Navarro, 2013).

2.3 Fertilizantes fosfatados

El primer fertilizante industrial de la historia, el superfosfato simple se hizo en Inglaterra en 1842. Hacia la mitad del siglo diecinueve el fósforo era el principal nutriente que limitaba la producción agrícola.

El origen de la industria de fertilizantes fosfatados proviene de los residuos de la industria frigorífica, cuando Sir John Bennet Lawes de Rothamstead procesó con ácido sulfúrico los restos de las carcasas para transformar el fosfato tricálcico de los huesos.

Patentó así la manufactura del superfosfato simple en 1842 instalando la primera fábrica de producción comercial en Londres al año siguiente. En E.E.U.U., el fosfato de amonio fue producido por primera vez en 1916; pero fue el proceso económico y eficiente para fabricar ácido fosfórico introducido por Dorr Oliver y el equipo técnico del Tennessee Valley Authority (TVA) (Martínez, 2013). A partir de 1950 se han ido comercializando nuevos fertilizantes que, a causa de su mayor contenido en fósforo, fácil manejo y almacenamiento, y también a la economía asociada con su fabricación, han reemplazado en gran medida al superfosfato ordinario. Actualmente, la industria de los fertilizantes fosforados implica miles de millones en 1981. Para el año 2020 se prevé un consumo superior a los 40 millones de Tm (García y García, 2014).

Sierra (1990) menciona que las rocas fosfóricas se usan como materia prima para fabricar fertilizantes fosfatados como el superfosfato triple y el superfosfato normal.

Como una manera de comprender en mejor forma qué son las rocas fosfóricas, a continuación, se clasifican los fosfatos según su contenido de calcio.

2.3.1 Los fertilizantes fosfatados se pueden clasificar

A) Fosfatos tricíclicos.

Ej. Rocas fosfóricas que pueden ser de origen marino o ígneo. Bifes, Sechura, Carolina del Norte, Tribono.

B) Fosfatos bicálcicos.

Ej. Bifos, Fosfato de Magnesio fundido, Rhenania, Escorias Thomas, etc.

C) Fosfatos Monocálcicos. Ej. Superfosfato Triple, Superfosfato Normal.

Cuadro 2. Solubilidad en diferentes reactivos del fósforo asimilable de los principales fertilizantes comerciales.

| Fuente | %P205 total | % P205 soluble en H2O | % P205 soluble en citrato de amonio | % P205 soluble en Ac. cítrico 2% |
|----------------------|-------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| Fosforita "blanda" | 28 | - | - | 10 |
| Superfosfato | 23 | 21 | 21 | - |
| Supertriple | 46 | 46 | 46 | - |
| Fosfato Mono Amónico | 52 | 52 | 52 | - |
| Fosfato "Diamónico" | 46 | 46 | 46 | - |
| Ácido fosfórico | 76-85 | 76-85 | 76-85 | |

De acuerdo con la información presentada vemos, una coincidencia absoluta entre el fósforo asimilable y el total para fuentes obtenidas mediante tratamiento con ácidos. En el caso de la fosforita aproximadamente 1/3 del fósforo total estaría como asimilable, determinándose esta fracción mediante ácido cítrico al 2% diferencia del resto de las fuentes (INIA, 2004).

2.3.2 Depósitos mundiales de fosfatos

Cuadro 3. Producción y reservas minera mundiales.

| | Producción minera | | Reservas |
|-----------------------------------|-------------------|---------|------------------------|
| | 2018 | 2019 | |
| United States | 25,800 | 23,000 | 1,000,000 |
| Algeria | 1,200 | 1,200 | 2,200,000 |
| Australia | 2,800 | 2,700 | ⁵ 1,200,000 |
| Brazil | 5,740 | 5,300 | 1,700,000 |
| China⁶ | 120,000 | 110,000 | 3,200,000 |
| Egypt | 5,000 | 5,000 | 1,300,000 |
| Finland | 989 | 1,000 | 1,000,000 |
| India | 1,600 | 1,600 | 46,000 |
| Israel | 3,550 | 3,500 | 62,000 |
| Jordan | 8,020 | 8,000 | 1,000,000 |
| Kazakhstan | 1,300 | 1,300 | 260,000 |
| Mexico | 1,540 | 1,500 | 30,000 |
| Morocco and Western Sahara | 34,800 | 36,000 | 50,000,000 |
| Peru | 3,900 | 3,700 | 210,000 |
| Russia | 14,000 | 14,000 | 600,000 |
| Saudi Arabia | 6,090 | 6,200 | 1,400,000 |
| Senegal | 1,650 | 1,600 | 50,000 |
| South Africa | 2,100 | 1,900 | 1,400,000 |
| Syria | 100 | 2,000 | 1,800,000 |
| Togo | 800 | 800 | 30,000 |
| Tunisia | 3,340 | 3,000 | 100,000 |
| Uzbekistan | 900 | 900 | 100,000 |
| Vietnam | 3,300 | 5,500 | 30,000 |
| Other countries | 970 | 1,000 | 770,000 |

Recursos mundiales: Algunas reservas mundiales se comunicaron únicamente en términos de tonelaje y ley del mineral. Roca de fosfato

Los recursos se producen principalmente como fosforitos marinos sedimentarios. Los mayores depósitos sedimentarios se encuentran en África septentrional, China, el Oriente Medio y los Estados Unidos. En Brasil se encuentran importantes ocurrencias ígneas, Canadá, Finlandia, Rusia y Sudáfrica. Se han identificado grandes recursos de fosfatos en el continente y en los montes submarinos del Océano Atlántico y el Océano Pacífico. Los recursos mundiales de roca fosfórica son más que 300 mil millones de toneladas (USGS, 2020).

2.3.3. Pérdidas globales de P de los suelos y balances de P del suelo

En un mundo futuro, con una supuesta escasez absoluta de fertilizantes minerales P, los suelos agrícolas de todo el mundo se agotarán entre 4 y 19 kg ha⁻¹ año⁻¹, con pérdidas promedio de P debido a la erosión por el agua que contribuyen con más del 50% de las pérdidas totales de P.

Todos los continentes dan como resultado saldos P negativos. Pérdidas netas de P de los sistemas agrícolas, excepto Asia, Oceanía y Australia, donde Asia tiene un saldo P ligeramente positivo pero cercano a cero. Esto es a pesar de los altos a muy altos insumos de fertilizantes químicos (con un rango de 1,7 a 13 kg ha⁻¹ año⁻¹ entre los diferentes continentes, con valores nacionales que alcanzan hasta 14 y 19 kg ha⁻¹ año⁻¹ para el Unión Europea 15 antiguos Estados miembros (EU15, estados miembros que se unieron antes de 2004 principalmente en Europa occidental y septentrional) y China, respectivamente). La mayoría de los balances de P negativos están indicados para África debido a un aporte muy bajo de fertilizantes químicos de 1,7 kg ha⁻¹ año⁻¹ junto con altas pérdidas debido a la erosión del suelo de 9,6 kg ha⁻¹ año⁻¹. América del Sur, así como Europa Central y Oriental (NEU11; que son los nuevos estados miembros que se unieron a la UE después de 2004 con la excepción de Chipre y Malta) también exhiben altas pérdidas de P, pero por diferentes razones. América del Sur tiene un aporte muy alto de fertilizantes químicos, pero también grandes pérdidas debido a la erosión del suelo junto con altas exportaciones de P debido al manejo de P orgánico (calculado como la suma del abono y los residuos menos la absorción de la planta). Por el contrario, los

Nuevos Estados Miembros de la Unión Europea del Este (NEU11) tienen pérdidas por erosión bastante bajas, pero también un aporte de fertilizantes químicos muy bajo. Con el supuesto hipotético de que no hay reposición debido a fertilizantes químicos (por ejemplo, debido a limitaciones económicas o técnicas), el cálculo de los saldos de P del suelo da como resultado saldos negativos a nivel mundial. Esto último demuestra la vulnerabilidad del sistema global de gestión de la tierra actual y su fuerte dependencia de los fertilizantes químicos P de depósitos de P extraíbles no renovables (Alewell,2020).

Cuadro 4. Depósitos de fosfatos reportados en el programa de investigación de rocas fosfóricas del (IFDC).

| País | Localidad | Contenido P ₂ O ₅ Promedio (%) | Reservas millones de tn |
|--------|----------------------|---|----------------------------|
| | Zacatecas | 18.4 | 77.4 |
| | Coahuila | 13.3 | 76.4 |
| | Sierra-Santa Rosa | 11.0-21.0 | 13.5 |
| México | Sierra Carbonera | 19.9 | 7.8 |
| | Baja California | - | - |
| | Santa Rosa-Bahía | - | 4000 |
| | Magdalena | | |
| | Arroyo San Hilario | 14.0 | 841 |
| | San Juan de la Costa | 18.0 | 24 |
| | Santo Domingo | 4.3 | 432 |
| | Santo Domingo | 4.6 | 643 |

Depósitos de fosfatos reportados en el programa de investigación de rocas fosfóricas del Centro Internacional para el Desarrollo de Fertilizantes (IFDC) en América Latina, específicamente en México. Fuente: León, S/F.

El contenido de fósforo de la mayoría de las rocas sedimentarias es más alto que en el promedio de la corteza. Contenidos de Fosfato de organismos, suelos y sedimentos en % de P_2O_5 ($\%P * 2,2914 = \% P_2O_5$). En organismos; en el Cuerpo humano (alrededor de 1 kg en total) de 1%, huesos de pescado de hasta 35%, conchillas de braquiópodos inarticulados 34 a 42%, virus y bacterias de 6.8 a 11.5%, cianofitas (peso seco) de 0.5 a 1.2%, leche de 2.0%, en cultivos; trigo de 1.03%, maíz de 0.91%, arroz de 0.80%, porotos de soja 1.60%, hongos de 2.63%, tomates de 1.48%, suelo 0.02 a 0.09 %, guano 4.0%, arenisca 0.08 a 0.27, pelita 0.11 a 0.33 ,caliza 0.03 a 0.18%, roca fosfática sedimentaria 20 a 30% y roca fosfática ígnea 18% (Martínez, 2013).

La demanda de fertilizantes H_3PO_4 (ácido fosfórico), incluye P_2O_5 en superfosfato único, roca fosfórica de aplicación directa (DAPR), fertilizantes fosfatados a base de ácido nítrico, etc. La demanda mundial de fertilizantes fosfatados aumentó de 41 700 000 toneladas en 2013 a 42 700 000 toneladas en 2014, con un crecimiento de un 2,4 por ciento (FAO, 2015).

2.4 Importancia del Fósforo en la Agricultura

La interacción del fósforo con diferentes nutrientes del suelo es de gran importancia en la absorción, traslocación y utilización de este elemento por el vegetal. Una nutrición inadecuada de fósforo puede provocar severos trastornos fisiológicos en las plantas, las cuales se consideran más eficientes cuando en el aprovechamiento de este nutriente aún bajo determinadas condiciones nutricionales, normales o adversas, consiguen utilizarlo para su crecimiento y desarrollo (Fernández, 2007). El fósforo interviene en muchas de las reacciones que utilizan energía dentro de la célula ya que forma parte integral de las moléculas que acumulan energía como el adenosin trifosfato (ATP). Estas moléculas se forman como resultado de la fotosíntesis y son utilizadas en la respiración de la planta. Por consiguiente, es de vital importancia para la generación de células nuevas; por ejemplo, la producción de raíces al inicio de los ciclos vegetativos (Richardson, 2001).

La baja concentración de P en el suelo junto con su baja solubilidad lo convierte en un factor limitante clave para el crecimiento de las plantas en casi todo el mundo. Por lo tanto, la entrega natural de P por el suelo a las plantas determina en gran medida la capacidad de producción del agro-ecosistema no fertilizado. Los suelos de continentes enteros como África y Australia y de países como el Brasil y la India tienen un bajo contenido de fósforo o tienen suelos que liberan fósforo a tasas insuficientes para hacer posible altos rendimientos sin insumos externos de P (Smit et al., 2009).

2.5 Rocas fosfóricas

Son minerales ricos en fósforo que generalmente presentan un alto contenido de calcio. Químicamente corresponden a fosfatos tricálcicos o apatitas, cuya principal característica es su escasa solubilidad en agua (Sierra, 1990). El apatito, tiene al menos tres formas dependiendo del anión presente: fluorapatita, cloroapatita e hidroxiapatita $[Ca_5 (F, Cl, OH) (PO_4)_3]$. Normalmente el apatito se encuentra concentrado en depósitos denominados fosforita o roca fosfatada (Martínez, 2013). La roca fosfórica comercial puede ser expresada según su contenido de P_2O_5 ; el rango usual porcentual de éste va entre el 28 % y el 38 %. En los últimos años el promedio mundial del porcentaje de P_2O_5 de las rocas fosfóricas comerciales usados para producción va entre el 32,5% y el 32,7% (Soto, 2000).

Se obtiene de depósitos geológicos situados en todo el mundo. La apatita, un mineral de fosfato de calcio, es el componente principal de la RF. Principalmente se extrae de depósitos sedimentarios marinos, siendo una pequeña cantidad extraída de fuentes ígneas. La mayor parte de la RF se recupera a través de minería a cielo abierto, aunque en algunos casos se extrae de minas subterráneas (IPNI, 2020).

2.5.1 Fosforitas duras y blandas

Debido a que la composición química de las rocas de los distintos yacimientos del mundo es muy variable, las posibilidades de utilización directa son diferentes. Se puede diferenciar entre fosforitas duras y blandas dependiendo de su estructura

química y del origen geológico. Las fosforitas duras pueden ser de origen ígneo o metamórfico, poseen una estructura química muy estable con alto grado de cristalización y de baja reactividad, su uso directo no es conveniente, tiene un alto contenido de fósforo total pero poco soluble, por lo que se utilizan como intermedio para la fabricación de fertilizantes solubles (superfosfatos) (García y García, 2014). “Los minerales de fosfato ígneo suelen ser de baja ley (lías de más del 5% de P_2O_5), pero pueden convertirse en productos de alta calidad (de alrededor del 35% a más del 40% de P_2O_5)”(UNIDO y IFDC ,1979).

En cambio, las fosforitas blandas tienen una mayor reactividad, bajo grado de cristalización, poseen un menor contenido de fósforo total (mayor sustitución de P con F que las duras) pero con una proporción mayor de fósforo soluble, son siempre de origen sedimentario y pueden utilizarse directamente sobre el suelo. El producto suele contener 27 y 41% de P_2O_5 . La molécula a base de las fosforitas es el apatito, que tiene la composición $Ca_5(PO_4)_3X$, en la que X puede ser F, Cl, OH. El mineral más frecuente es el flúor-apatito: $Ca_5(PO_4)_3F$ (García y García, 2014, p.111). Los depósitos sedimentarios de fosfato se explotan para producir más del 80% de la producción mundial total de la roca fosfórica. Las rocas sedimentarias de fosfato se producen a lo largo de toda la escala de tiempo geológico. La mayoría de los depósitos sedimentarios se formaron aparentemente en condiciones marinas de alta mar en las plataformas continentales. Exhiben una amplia gama de composiciones químicas y grandes variaciones en su forma física (UNIDO and IFDC, 1979). Fuentes clasificadas como “altamente reactivas” son los más adecuados para la aplicación directa al suelo. El uso directo de RF evita el procesamiento adicional asociado con la conversión de apatita a una forma soluble. El procesamiento mínimo puede resultar en una fuente de nutrientes de menor costo y que sea aceptable para los sistemas de producción de cultivos orgánicos (IPNI, 2020).

Cuadro 5.Composición química de la roca fosfórica.

| Componente | Hidalgo, México | Monte Fresco, Venezuela | Florida, USA | Oron, Israel | Safi, Marruecos |
|--------------------------------|-----------------|-------------------------|--------------|--------------|-----------------|
| P ₂ O ₅ | 43.3 | 34.18 | 31.2 | 29.8 | 32.4 |
| CaO | 46.3 | 42.3 | 45 | 52 | 40.9 |
| Cl | 0.02 | - | 0.05 | 0.03 | 0.02 |
| F | - | 2.94 | 3.6 | 3.8 | 4.1 |
| SiO ₂ | 2.8 | 10.29 | 9.48 | 0.68 | 2.85 |
| Fe ₂ O ₃ | - | 0.66 | 1.33 | 0.2 | 0.7 |
| Al ₂ O ₃ | 0.11 | 1.15 | 1.76 | 0.3 | 0..40 |
| MgO | 2.17 | 0.21 | - | - | 0.7 |
| Na ₂ O | 0.05 | 1.3 | 0.89 | - | 0.9 |
| K ₂ O | - | 0.18 | 0.11 | - | 0.1 |
| CO ₂ | 0.02 | - | 3.48 | 7.8 | 4.1 |
| Organic C | - | - | 2.18 | 0.6 | - |
| Total S | - | - | 1.05 | - | 0.2 |

*Porcentaje en peso, % (Schorr, Valdez y Ocampo, 2011).

2.5.2 Abonado de fondo

El abonado de fondo previo a la fertirrigación se justifica por dos razones fundamentales: como reserva de nutrientes en épocas lluviosas para cultivos que no se desarrollen en invernadero, y para cubrir dificultades en el abastecimiento de fertilizantes o deficiencias en la fertirrigación. Es decir, como reserva de seguridad que en cualquier caso se aplicará al comienzo del cultivo (Cadahía, 2005).

2.5.3 Aplicación de la roca fosfórica en la agricultura

En realidad, muchos factores determinan que una roca fosfórica dada sea un fertilizante fosfatado efectivo en el campo de un agricultor. La forma en que estos factores interaccionan para influenciar el comportamiento de la roca fosfórica es compleja en cualquier condición específica. En esos casos, es difícil hacer recomendaciones técnicas generales (FAO, 2007).

Tanto los pH ácidos como los básicos favorecen la baja disponibilidad de P a pH < 5 se forman fosfatos de hierro y aluminio, a pH > 6.5 el P se precipita como fosfato de calcio (Echeverri, 2018). Añadir piedra caliza a los suelos ácidos es una práctica común para aumentar el pH del suelo y disminuir la toxicidad de Al. Sin embargo, el aumento del pH y el Ca adicional de la cal son ambos perjudiciales para el PR disolución. Por lo tanto, las prácticas de encalado deben equilibrar la necesidad de aliviar la toxicidad de Al con la reducción de la disolución de PR (Chien y Friesen, 1992). Se recomienda que el encalado a aumentar el pH del suelo se limitará a un rango de pH de 5,2 a 5,5 para optimizar la eficacia agronómica de la PR (Chien, Prochnow y Mikkelsen, 2010).

2.5.4 Factores a considerar para optimizar la efectividad de la roca fosfórica en la agricultura

El fósforo es muy necesario para mejorar la fertilidad del suelo y la producción de cultivos en muchas áreas del mundo. Se ha demostrado que la aplicación directa de roca fosfórica (PR) es una valiosa fuente de nutrientes en algunas condiciones (Chien et al., 2010). “Las regulaciones para la aplicación directa de las rocas fosfóricas deben considerar tres factores principales: la reactividad de la roca fosfórica (solubilidad), las propiedades del suelo (principalmente el pH del suelo) y la especie cultivada” (FAO, 2007).

El IPNI (2020), hace referencia a lo siguiente:

- El pH del suelo: la RF requiere condiciones ácidas del suelo para ser una fuente de nutrientes efectiva. Generalmente, no se recomienda el uso de RF cuando el pH del suelo es superior a 5.5. El encalado para elevar el pH del suelo y reducir la toxicidad por Al puede reducir la tasa de disolución de la RF.
- Capacidad de fijación de P del suelo: la disolución de la RF se incrementa con una mayor capacidad de fijación de P del suelo (por ejemplo, con alto contenido de arcillas).

- Propiedades del suelo: bajos contenidos de calcio y alta materia orgánica del suelo tienden a acelerar la disolución de la RF.
- Ubicación del fertilizante: la aplicación al voleo e incorporación de la RF con labranza acelera la reacción con el suelo.
- Especies de cultivo: algunas especies de plantas pueden utilizar mejor la RF debido a la secreción de ácidos orgánicos desde las raíces al suelo adyacente.
- Tiempo: debido al tiempo necesario para la disolución de la RF, esta requiere ser aplicada anticipadamente a la demanda de la planta.

Un factor a tener en cuenta en la disponibilidad del fósforo para las plantas es que las raíces son capaces de modificar la concentración de iones en su entorno más próximo Richardson (2001), debido a:

- a) Incidencia en el flujo de masas y difusión de iones como resultado de la absorción de agua e iones.
- b) Segregación de exudados radicales, sustancias orgánicas, que contienen una proporción elevada de ácidos quelantes, que pueden intercambiarse con el fósforo superficial, pasando éste a la disolución, de donde puede ser adsorbido por el vegetal.
- c) Exudados de iones H^+ , OH^- , HCO_3^- , para mantener el balance de aniones y cationes adsorbidos y que da lugar a cambios de pH.
- d) Actividad microbiana en la rizosfera de las plantas.

Factores que afectan la disponibilidad de la roca fosfórica.

No todas las fuentes de RF sin procesar son adecuadas para su aplicación directa al suelo. Además, muchos suelos no son aptos para el uso de RF. El contenido de P total de un material, no es un buen predictor de la reactividad potencial en el suelo. Por ejemplo, muchas fuentes ígneas de RF con alto contenido de P total, son de baja reactividad y proporcionan un mínimo de nutrición para las plantas porque se disuelven muy lentamente (IPNI, 2020).

Si bien la RF puede ser una valiosa fuente de P para las plantas, no siempre es adecuada para su aplicación directa. Su idoneidad depende en parte de las impurezas minerales de origen natural, tales como arcilla, carbonato, hierro y aluminio (Al) (INIA, 2020).

2.6 Fertilizante fosfatado ácido fosfórico

De acuerdo a Chaabouni et al. (2014), el ácido fosfórico es un importante producto químico intermedio que se utiliza principalmente para la fabricación de fertilizantes. Las características principales del ácido fosfórico es que en su forma cristalina es un sólido puro, inodoro, de color blanco y en su forma líquida el ácido fosfórico es transparente, incoloro y viscoso dependiendo de la temperatura y de la concentración del P_2O_5 .

AF es un ácido importante, usado en muchas industrias: su composición, grado de pureza y aplicación depende del tipo de roca y los agentes químicos (ácidos y solventes) utilizados en su producción. El AF se fabrica en numerosos países, con alrededor de 200 plantas, incluyendo España, Venezuela y México. Los productos agroquímicos principales derivados del AF son los fertilizantes agrícolas fosfáticos que aseguran la producción de alimentos esenciales para la humanidad. (Schorr, Valdez y Ocampo, 2011)

2.6.1 Fósforo total

El fósforo total (Pt) contempla una parte inorgánica y otra orgánica. La participación del fósforo orgánico puede variar generalmente entre un 5 al 75% del Pt, mientras que en muchos suelos la partición es del 50 %. El porcentaje dependerá de la actividad biológica, temperatura, humedad, acidez del suelo y el grado de desarrollo del suelo. El P total también depende de la textura del suelo. En líneas generales, tanto en áreas cálidas como templadas, cuanto más fina es la textura, mayor es el contenido de Pt. El P en el suelo se presenta casi exclusivamente como ortofosfato y todos los compuestos son derivados del ácido fosfórico (H_3PO_4) (Pellegrini, 2017).

“La principal fuente de compuestos orgánicos de fósforo (Po) la constituyen residuos de plantas, animales y microorganismos, que liberan compuestos como ácidos nucleicos, fosfolípidos y ésteres, lo que representa entre un 30 y un 60% del P total” (Cerón, 2012).

El fósforo inorgánico (Pi) se presenta generalmente fuertemente fijado en forma de fosfatos de Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} y Al^{3+} , especialmente en arcillas del grupo de las caolinitas y ocluido en los óxidos de hierro y aluminio. Incluso el P, aplicado como fertilizante en forma de superfosfato, puede fácilmente constituir compuestos inorgánicos inutilizables, debido a su inmovilización sobre la materia orgánica y arcillas (Cerón, 2012).

2.6.2 Características químicas y físicas

El P es un elemento muy reactivo que no existe en la naturaleza en su forma natural. En las minas suele estar unido al calcio, como fosfato cálcico $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

La mayoría del calcio procede de las rocas carbónicas, en forma de carbonato cálcico (CaCO_3), mientras que en las minas de fósforo está en forma de fosfato cálcico. El fósforo unido al calcio y oxígeno es demasiado estable para ser asimilado por las plantas, por lo que permanece mucho P en el suelo que la planta no puede usar.

León (1977), al tratar la roca finamente molida y previamente tratada, para removerle las sustancias extrañas o para elevar la concentración del fósforo, con ácido sulfúrico, se puede obtener ácido fosfórico del 28-30% de P_2O_5 . El ácido fosfórico se utiliza para la obtención de fosfatos de amonio y superfosfato triple. Este último se produce en forma similar al superfosfato simple, pero utilizando ácido fosfórico para tratar la roca en lugar de ácido sulfúrico. En este caso se presentan los mismos problemas que en la preparación del superfosfato simple pues depende del suministro del azufre. La roca fosfórica se puede tratar también con ácido clorhídrico para obtener Ácido fosfórico.

2.6.3 Interacción entre la disolución del fertilizante y el agua de riego

La composición del agua de riego incide en la disolución fertilizante tanto por los nutrientes que contiene como por su salinidad y por el nivel de bicarbonatos que en su mayor parte conviene destruir para ajustar el pH. A los aportes previstos hay que añadir los compuestos que contiene el agua en niveles excesivos como Cl, Na, Mg, etc, y considerar los equilibrios K/Ca, $\text{NO}_3^-/\text{Cl}^-$, Ca/Mg y Ca/Salinidad, para adecuar los niveles de NH_4^+ , NO_3^- , H_2PO_4^- , K^+ , Mg^{+2} y Ca^{+2} a partir de los de referencia para el cultivo considerado (Cadahía, 2005).

2.6. 4 Sistema suelo-planta-fósforo

“En el sistema suelo-planta, el 90 % del fósforo está en el suelo y menos del 10 % se encuentra repartido fuera del suelo. Sin embargo, sólo una pequeña parte de ese 90 % es utilizable por los vegetales” (Richardson, 2001).

Las plantas absorben al fósforo mayoritariamente como fosfato diácido (H_2PO_4^-) y diez veces más lento y en menor medida como fosfato monoácido (HPO_4^{2-}), la absorción de esta última forma se incrementa a medida que el pH sube a partir de 6,5 (Pellegrini, 2017).

2.6.5 Esquema de la relación suelo-planta en la nutrición fosforada

P en solución (intensidad): El factor intensidad de este nutriente está constituido por los fosfatos diácidos (H_2PO_4^-) y en menor medida como fosfato monoácidos (HPO_4^{2-}). Sólo un porcentaje muy bajo (entre 0,1 ppm y 0,3 ppm) se encuentra realmente en solución, plenamente disponible para plantas y microorganismos (Pellegrini, 2017). La concentración de los iones fosfatos en solución está relacionada con el pH de la misma. El ión H_2PO_4^- es favorecido por los pH bajos, mientras que el ion HPO_4^{2-} por los pH más altos. Su concentración es muy débil y fluctúa entre 0,2 y 0,5 mg/l, o de 200 a 400 g/ha en 30 centímetros de espesor, en los suelos muy ricos la concentración puede llegar hasta 1 mg/l (1ppm) y en suelos pobres 0,1 mg/l. Generalmente la concentración es constante y permanece así, aunque varíe la relación suelo-agua (Sanzano, 2003).

Fosfatos en la sección lábil (capacidad): Esta segunda sección comprende a los iones adsorbidos. En minerales arcillosos, el P adsorbido es la fracción dominante de la sección lábil. Las formas precipitadas se encuentran en rápido equilibrio con las fracciones en la solución del suelo. En suelos arenosos, calcáreos y especialmente orgánicos, la precipitación juega un rol fundamental. El P orgánico de bajo peso molecular también conforma esta fracción (Pellegrini, 2017). La adsorción de fosfatos, como en general toda adsorción aniónica en el suelo, es un fenómeno que depende del pH. A pH ácidos aumentan las cargas positivas de los coloides y, por ende, aumenta la adsorción. Estos iones forman parte del enjambre de iones que rodean a las partículas coloidales y están en constante movimiento. Representan del 15 al 30% del fósforo inorgánico, lo que significa 800 a 2500 kg de **P₂O₅/ha**. Este fósforo lábil puede estar adsorbido directamente por los bordes de las arcillas (cuando están tienen cargas positivas como la caolinita a bajos valores de pH), o por uniones que usan al calcio como puente (en las arcillas de tipo 2:1). También puede estar adsorbido por los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, que tienen un poder de fijación mucho mayor que el de las arcillas (Sanzano, 2003).

Fosfatos en la sección no lábil, de muy escasa disponibilidad para el ciclo vegetativo anual. Comprende a los minerales 1^o. Fósforo orgánico de alto peso molecular. Fósforo ocluido (Pellegrini, 2017). “Es el que está formando parte de los minerales primarios y secundarios, y constituye la gran reserva de fósforo inorgánico en el suelo. La insolubilización se puede deber a la precipitación fosfatos cálcicos en medio alcalino, o como fosfatos de hierro y aluminio en medio ácido” (Sanzano, 2003). Entre los fosfatos de calcio, el flúor-apatito es el más insoluble del grupo y, por consiguiente, el que contiene el fósforo en forma menos aprovechable. Sólo los fosfatos mono y bicalcicos son fácilmente asimilables por las plantas; pero excepto en suelos recientemente fertilizados, éstos compuestos están presentes en cantidades extremadamente pequeñas, ya que con facilidad se transforman en compuestos más insolubles. Los fosfatos de hierro y aluminio son fosfatos hidroxilados, extremadamente insolubles y muy estables en suelos ácidos, retenidas en la superficie de los cristales de arcilla (Navarro, 2013).

2.6.6 Fertilizantes fosfatados en la agricultura (ácido fosfórico)

“Cuando un fertilizante fosfatado soluble en agua se añade al suelo, se disuelve rápidamente y reacciona para formar compuestos de baja solubilidad” (IPNI ,2020). Sanzano (2003) menciona que, tanto en suelos ácidos como alcalinos, el fósforo tiende a sufrir una cadena de reacciones que producen compuestos fosforados de baja solubilidad. Por lo tanto, durante el largo tiempo que el fósforo permanece en el suelo, las formas menos solubles, y por ende las menos disponibles para la planta, tienden a aumentar. Cuando se agrega fósforo soluble al suelo, usualmente ocurre una rápida reacción (de unas pocas horas) que remueve el fósforo de la solución (fija el fósforo). Lentas reacciones posteriores continúan gradualmente reduciendo la solubilidad durante meses o años, según la edad de los compuestos fosfatados. El fósforo recientemente fijado puede ser débilmente soluble y de algún valor para las plantas. Con el tiempo, la solubilidad del fósforo fijado tiende a decrecer a niveles extremadamente bajos. Este fenómeno se conoce como envejecimiento del fósforo.

Respecto al tipo de suelo en que se van a aplicar los fertilizantes fosfatados podemos considerar el pH y la granulometría del fertilizante.

Se deduce que el aprovechamiento, en su conjunto, de los fertilizantes fosfatados es bajo muy bajo, situándose en torno al 15% el primer año.

Este bajo aprovechamiento inicial se ve, sin embargo, compensado con el aprovechamiento a largo plazo motivado por la poca movilidad de los compuestos insolubles (García y García, 2014).

2.6.7 Factores que afectan la disponibilidad del fósforo soluble

La disponibilidad está determinada por los siguientes factores:

- pH del suelo
- Fe, Al, y Mn solubles
- Presencia de minerales que contienen Fe, Al y Mn.

- Minerales de calcio y magnesio disponibles
- Cantidad y descomposición de materia orgánica
- Actividad de microorganismos

La máxima disponibilidad del P ocurre para pH entre 6 y 7. A pH bajos, suelos ácidos, existe en solución Fe, Al y Mn que reaccionan con el ácido fosfórico dando fosfatos hidróxidos insolubles. También existe la fijación por los óxidos hidróxidos formando fosfatos hidróxidos insolubles. La fijación por silicatos-arcillas, se realiza en condiciones de moderada acidez.

En suelos alcalinos, los fosfatos precipitan con el Ca de cambio y con el de CaCO_3 .

La dependencia del comportamiento del fósforo con el pH se resume a continuación:

- a pH = 3-4. Mínima solubilidad.
- a pH > 4 el fósforo disminuye la capacidad fijadora.
- a pH = 5,5 mucho del fósforo está químicamente combinado con Fe y Al.
- a pH = 6 comienza la precipitación como fosfato cálcico
- a pH = 6,5 se forman sales de Ca insolubles por lo que el fósforo no es disponible.
- a pH > 7 puede formarse incluso apatito como ejemplo de compuestos muy insolubles (Martínez, 2013).

2.6.8 Eficiencia agronómica del ácido fosfórico

Efectos secundarios de los abonos fosfatados (Finck, 1988).

1. Aportaciones de nutrimentos (aparte de fosfato)
 - a) Elementos nutritivos: azufre, calcio, magnesio, manganeso y otros.
 - b) Sustancias útiles: sodio, sílice.
2. Aportación de sustancias que mejoran las estructura:
Cal, calcio como fosfato calcio, y yeso.
3. Variación del pH del suelo:
 - a) Acidificación, con efecto positivo y negativo (puede ser positiva la movilización de sustancias nutritivas del suelo, especialmente de oligoelementos).

b) Aumento del pH, con efecto positivo y negativo (son positivos, por ejemplo. La disminución de los daños por acidez y la movilización del molibdeno).

III.MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del sitio experimental.

El presente trabajo fue realizado durante los meses de Febrero a Julio del 2018, dentro del invernadero número 5, cuyas coordenadas geográficas son 25°21'19" Latitud Norte y 101°01'49" Longitud Oeste, a una altitud de 1,781 msnm el cual se ubica dentro de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

3.2 Clima.

Muy seco, BW hw (x") (e); semicálido, con invierno fresco, extremoso, con lluvias en verano. La precipitación total anual media **350-400 mm**; régimen de lluvias: la temporada lluviosa es de junio a octubre. El mes con lluvias más abundante es julio y marzo es el mes más seco y una precipitación invernal superior al 10% del total anual.

Temperatura media anual de 19.8 °C. Las heladas comienzan en noviembre, no son muy severas en noviembre y diciembre, son más intensas en enero (hasta - 10°C). Terminan en marzo, mes que ni son muy intensas, ni se presentan frecuentemente. (UAAAN, 2011).

3.3 Descripción del invernadero

El invernadero número 5 es de tecnología media, tipo túnel, con alta captación de luz solar, estructura metálica, cuenta con dos extractores, enfriamiento activo con el uso de pared húmeda.

3.4 Diseño experimental y descripción de los tratamientos

El experimento se estableció bajo un diseño de Bloques Completamente al Azar con un arreglo factorial 3 x 5, con cuatro repeticiones con dos plantas cada tratamiento. La unidad experimental consistió en 120 macetas de plantas de fresa variedad Camino Real. Los factores de estudio fueron tres niveles de roca fosfórica 0.0, 2.5 y 5.0 expresados en gramos aplicados como abonado de fondo y cinco niveles de

ácido fosfórico 0.60, 0.45, 0.30, 0.15, 0.0 en mili equivalentes, aplicados en cinco soluciones nutritivas, ésta actividad se realizó el seis de marzo del 2018.

Los tratamientos bajo estudio fueron 15, donde se colocó dos macetas por repetición, en los cuales se aplicaron los tres niveles de roca fosfórica como abonado de fondo en combinación con las cinco soluciones nutritivas de ácido fosfórico:

Cuadro 6. Tratamientos del experimento.

| Tratamientos | Roca fosfórica (g) | Fósforo (meq L ⁻¹) |
|--------------|--------------------|--------------------------------|
| 1 | 0 | 0.6 |
| 2 | 0 | 0.45 |
| 3 | 0 | 0.3 |
| 4 | 0 | 0.15 |
| 5 | 0 | 0 |
| 6 | 2.5 | 0.6 |
| 7 | 2.5 | 0.45 |
| 8 | 2.5 | 0.3 |
| 9 | 2.5 | 0.15 |
| 10 | 2.5 | 0 |
| 11 | 5 | 0.6 |
| 12 | 5 | 0.45 |
| 13 | 5 | 0.3 |
| 14 | 5 | 0.15 |
| 15 | 5 | 0 |

3.5 Material experimental y procedimientos empleados en la ejecución de la investigación.

Las Plantas de fresa variedad Camino Real, fueron obtenidas de Jacona de Plancarte, Michoacán a finales de Febrero a raíz desnuda, las cuales se mantuvieron hidratadas hasta que se trasplantaron, el día Lunes 26 de febrero del 2018 se pesó la roca fosfórica en una báscula digital gramera 2000 g x 0.1 g, en dos tiempos, la cual se utilizó como abonado de fondo;

- La primera consistió en pesar 2.5 gramos, llenando 40 bolsas pequeñas.

-La segunda consistió en pesar 5.0 gramos, llenando 40 bolsas pequeñas.

Se utilizaron bolsas negras con capacidad de 5 litros en cada esquina inferior se realizó una perforación, de aproximadamente 1.5 cm el 28 de Febrero del 2018, para que las macetas tuvieran un correcto dren.

El trasplante se realizó el día 27 de Febrero del 2018, colocando en cada maceta la corona de la planta de fresa, teniendo 120 macetas al final y así se dio inicio con el establecimiento del experimento.

El sistema de riego utilizado fue manual. Para preparar las cinco soluciones nutritivas se llenaron cinco botes con 50% de agua destilada y 50 % de agua del pozo, llenando así los contenedores de 80 Litros de agua. El riego fue efectuado de acuerdo a las necesidades hídricas de la planta aplicando el volumen suficiente para obtener un 25 % de fracción de lixiviado, que se obtenía al realizar el muestreo aleatorio en las macetas en función del volumen de riego aplicado.

3.5.1 Sustrato y fertilización de fondo con roca fosfórica.

Para realizar la mezcla del sustrato se utilizaron 420 litros de peat moss y 180 litros de perlita, colocando en cada bolsa de polietileno cinco litros de sustrato el cual contenía 70 % de peat moss y 30% de perlita , rellenando 120 bolsas de sustratos el 27 de Febrero del 2018, de las cuales;

- 40 bolsas se llenaron de sustrato con 0.0 gramos de roca fosfórica.
- 40 bolsas se aplicó de fondo con 2.5 gramos de roca fosfórica y se mezcló con el sustrato.
- 40 bolsas se aplicó de fondo con 5.0 gramos de roca fosfórica y se mezcló con el sustrato.

Cada una con diferentes dosis de ácido fosfórico, en base a las 5 soluciones nutritivas.

3.5.2 Fertilización con fósforo soluble.

La nutrición contó con cinco soluciones nutritivas para la aplicación de fósforo soluble por medio de riego manual, la cual se aplicó una vez por semana cuando se alcanzaba un drenaje del 25%, al realizar el monitoreo del dren en las macetas.

Se utilizaron cinco soluciones nutritivas en base a la solución de Steiner al 60%, en botes de ochenta litros cada uno, con una concentración de fósforo soluble (H_2PO_4^-) la cual se muestra a continuación:

Solución I de 0.60 mili equivalentes

Solución II de 0.45 mili equivalentes.

Solución III 0.30 mili equivalentes

Solución IV 0.15 mili equivalentes

Solución V 0.0 mili equivalentes.

La fertilización utilizada para los tratamientos fue la que se presenta a continuación (Cuadro 7).

Cuadro 7. Cantidad de fertilizante a diluir en 80 litros de agua para tener una solución Steiner al 60%.

| | | Solución nutritiva I | Solución nutritiva II | Solución nutritiva III | Solución nutritiva IV | Solución nutritiva V |
|---------------------------|---|----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| Fertilizante | Nomenclatura | Cantidad | Cantidad | Cantidad | Cantidad | Cantidad |
| Nitrato de Calcio | $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5 \text{H}_2\text{O}$ | 37.61g | 37.61 g | 37.61 g | 37.61 g | 37.61 g |
| Nitrato de Potasio | KNO_3 | 14.56 g | 13.35 g | 12.13 g | 10.92 g | 9.71 g |
| Ácido nítrico | HNO_3 | 11.45 ml | 12.47 ml | 13.48 ml | 14.49 ml | 15.50 ml |
| Ácido fosfórico | H_3PO_4 | 3.31ml | 2.49 ml | 1.66 ml | 0.83ml | 0.00 ml |
| Sulfato de Potasio | K_2SO_4 | 9.058 g | 10.10 g | 11.15 g | 12.19 g | 13.24 g |
| Sulfato de Magnesio | $\text{Mg SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ | 11.33 g | 11.33 g | 11.33 g | 11.33 g | 11.33 g |
| Cloruro de Potasio | K Cl | 6.24 g | 6.24 g | 6.24 g | 6.24 g | 6.24 g |
| Micros | | | | | | |
| Fierro (Fe EDTA): 7.5% | 75% | | | | | |
| Manganeso (Mg EDTA): 3.7% | | | 5.4 g | 5.4 g | 5.4 g | 5.4 g |

Zinc (Zn
EDTA):0.60% 5.4 g
Cobre (Cu
EDTA):0.30%
Boro (B): 0.70%
Molibdeno
(Mo): 0.20%

Se manejó en las soluciones un pH de 5.5 a 6.0 y C.E de 2.0.

3.6 Labores culturales

Raleo de botones florales.

Esta actividad se llevó a cabo el día 15 de marzo del 2018, la cual consistió en cortar con cuidado los frutos amarrados por las plantas, esto se realizó para que la planta no tuviera una condición generativa tan temprano, puesto que solo contaban con dos oh tres hojas bien desarrolladas.

Corte de estolones.

Se realizó durante el mes de junio puesto que en este mes se mostró la aparición de estolones, ésta actividad se realizó para que la planta no perdiera vigor y tener frutos de buena calidad.

Fitosanidad.

El control fitosanitario se llevó a cabo con los siguientes productos:

Fungicida/Polvo humectable. Ingrediente activo: metalaxi+clorotalonil.

Insecticida y/o acaricida. Concentrado emulsionable Ingrediente activo: Abamectina. Control para la araña roja (*Tetranychus urticae*).

Insecticida liquido C.E./Organofosforado. Ingrediente activo: Dimetoato. Control para Thrips (*Frankliella occidentalis*)

Deshierbes:

Para evitar hospederos de plagas y enfermedades, se realizó deshierbes durante el desarrollo del experimento de manera manual.

3.6.5 Poda de saneamiento (hojas).

Esta actividad consistió en cortar las hojas dañadas por araña roja (*Tetranychus urticae*).

Cosecha.

Se inició a partir del día 03 de Mayo del 2018, se realizaron ocho cortes, una vez por semana, terminando con el corte de los frutos el día 15 de junio del 2018.

3.7.1 Variables evaluadas

Para cuantificar las variables consideradas, se seleccionó una planta por tratamiento en la evaluación de las variables siguientes:

3.7.2 Altura de la Planta

Con el uso de una cinta métrica se midió la altura de la planta, a partir de la corona de la planta hasta la parte más alta de las hojas en cada tratamiento.

3.7.3 Numero de Hojas

Se realizó el conteo de las hojas que se tenía por planta, en cada tratamiento.

3.7.4 Peso Fresco de Hojas

Esta variable se determinó el jueves 27 de julio del 2018, cortando y separando la parte aérea (hojas) de la raíz, realizando el pesado de las hojas en la báscula Torrey Lpcr-40 Báscula Acero Inoxidable 40 Kg, para posteriormente tomar los datos de cada tratamiento.

Se prosiguió con la colocación de las hojas de cada tratamiento y las cuatro repeticiones en bolsas cafés de papel, ubicando en orden cada bolsa sobre las dos camas, donde se secaron dentro del invernadero 24 días a partir de día 26 de julio al 18 de agosto del 2018.

3.7.5 Peso Seco de Hojas

Así el 18 de agosto del 2018 cuando se secaron las muestras tomadas, se pesó la parte aérea (hojas) en la báscula de acero inoxidable y se tomó los datos de cada tratamiento.

3.7.6 Índice de Contenido Relativo de Clorofila en Hojas

Se determinó por lecturas tomadas el día 26 de Julio del 2018, para ello se tomaron tres datos en una hoja madura de una planta de cada tratamiento, mediante el uso del aparato medidor de clorofila SPAD 502 plus, que evalúa cuantitativamente el índice o promedio de la clorofila (SPAD) contenida en el limbo de la hoja.

3.7 Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza correspondiente para cada una de las variables, para la comparación de medias de cada variable se aplicó la Prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el programa SAS/STAT versión 9.0 (SAS, Institute)

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Análisis de Varianza (ANVA) y comparación de medias por Tukey ($P \leq 0.05$), para la variable de estudio Altura de la planta, Número de Hoja y Peso Fresco de Hoja se encontró diferencia significativa con las diferentes dosis de Roca Fosfórica, mientras que el Peso Seco de Hoja y el Índice de Contenido Relativo de Clorofila no mostraron diferencias significativas. La aplicación de Fósforo Soluble en este caso influyó significativamente en todas las variables evaluadas, la interacción de Roca Fosfórica y Fósforo Soluble también influyó significativamente en las variables (Cuadro 8).

Cuadro 8. Análisis de Varianza de las variables de crecimiento y contenido relativo de clorofila de las plantas de fresa desarrolladas con roca fosfórica y fósforo soluble.

| Roca Fosfórica(g) | Altura | NH | PFH | PSH | ICRCL |
|---|---------------|-----------|------------|------------|--------------|
| 0 | 24.43 a | 15.67 a | 66.40 a | 15.67 a | 24.43 a |
| 2.5 | 23.87 a | 11.08 b | 58.80 b | 14.98 a | 23.87 a |
| 5 | 21.19 b | 15.60 a | 52.23 c | 14.54 a | 21.19 b |
| ANVA $P \leq$ | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.1619 | 0.605 |
| Fósforo Soluble (meq⁻¹) | | | | | |
| 0 | 22.11 b | 14.05 ab | 52.44 b | 13.66 b | 43.97 bc |
| 0.15 | 23.79 a | 14.10 a | 57.44 b | 15.00 b | 46.72 a |
| 0.3 | 21.97 b | 12.22 b | 55.16 b | 11.36 c | 42.90 c |
| 0.45 | 23.27 ab | 15.02 a | 64.72 a | 17.50 a | 43.77 c |
| 0.6 | 24.65 a | 15.17 a | 65.94 a | 17.79 a | 45.36 ab |
| ANVA $P \leq$ | 0.001 | 0.0004 | 0.001 | 0.001 | <.0001 |
| Interacción $P \leq$ | 0.001 | <0.0001 | 0.001 | 0.001 | <.0001 |
| CV (%) | 5.65% | 11.38% | 7.79% | 12.30% | 2.69% |

Altura (cm), PSH: NH: Número de hojas (por planta), PFH: Peso fresco de hoja (g/planta), Peso seco de hoja (g/planta), ICRCH: Índice de contenido relativo de clorofila en hojas (unidades SPAD), ANVA= Análisis de varianza, Interacción = Roca Fosfórica x fósforo soluble y CV= Coeficiente de variación.

En la figura podemos observar que la mayor altura se dio con 0.6 meq L⁻¹ fósforo soluble + 5.0 gramos de roca fosfórica, al igual que 0.15 meq L⁻¹+ 2.5 gramos de roca fosfórica (Figura 1). De acuerdo con IPNI (2020) menciona que cuando la roca

fosfórica se añade al suelo, se disuelve lentamente para liberar gradualmente los nutrientes, pero en algunos suelos, la velocidad de disolución puede ser demasiado lenta para sostener el crecimiento saludable de la planta.

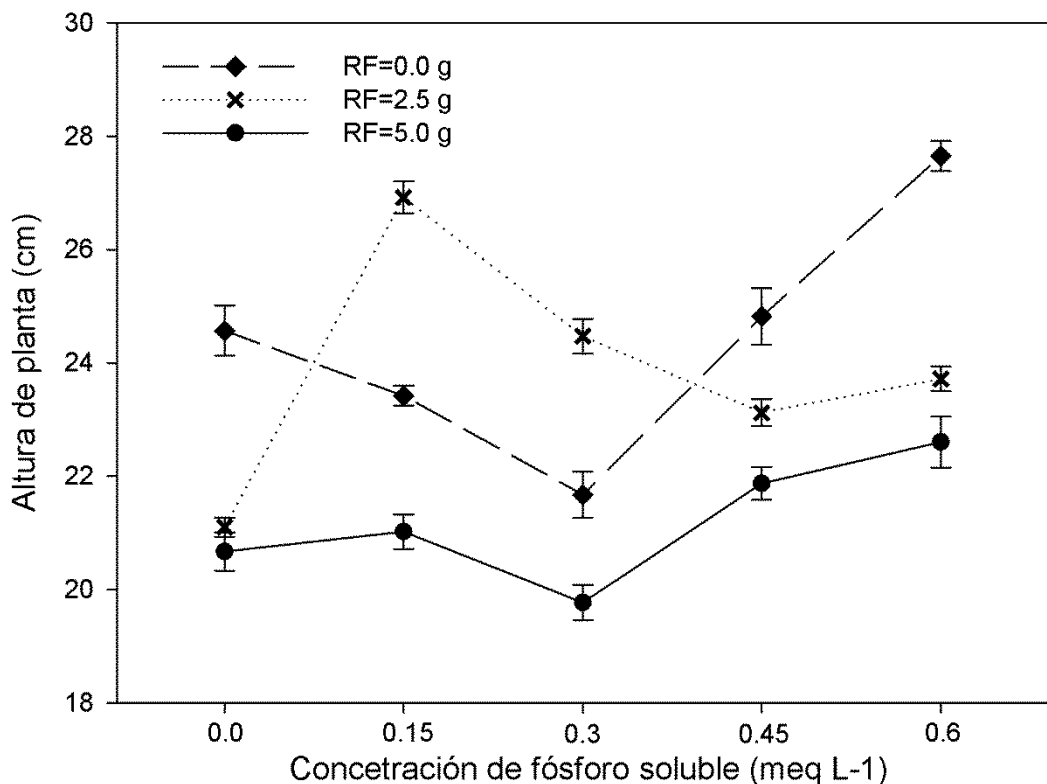


Figura 1. Interacción entre roca fosfórica y fósforo soluble en la altura de las plantas de fresa cv. Camino Real.

El mayor número de hojas se obtuvo en aquellas plantas que fueron irrigadas con 0.6 meq L⁻¹ fósforo soluble + 5.0 gramos de roca fosfórica con un porcentaje de 25.80 % de incremento con relación al testigo (Figura 2). Algunos autores mencionan que la acidulación parcial de la roca fosfórica (RF) con ácido sulfúrico, ha sido usada con éxito para mejorar su solubilización e incrementar la eficiencia agronómica de esta fuente de P (Morrillo, Sequera y Ramírez, 2007).

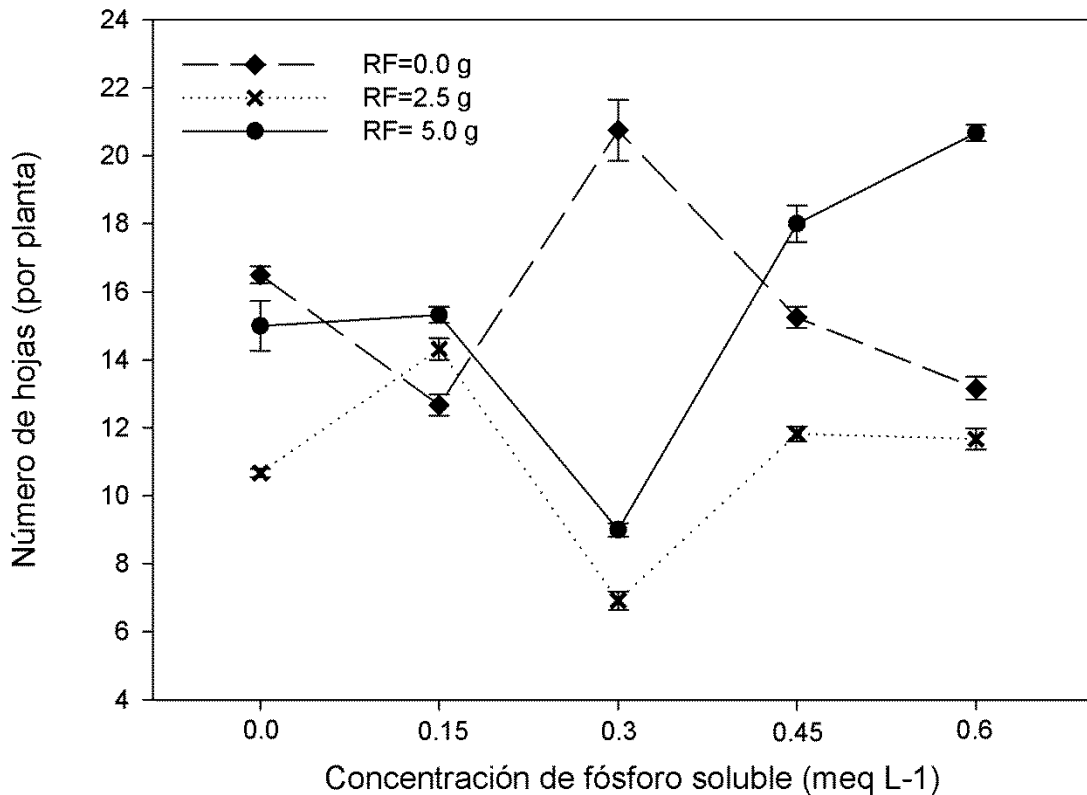


Figura 2. Interacción entre roca fosfórica y fósforo soluble en el número de hojas de las plantas de fresa cv. Camino Real.

Las plantas que fueron tratadas con 0.45 meq L⁻¹ fósforo soluble + 0.0 gramos de roca fosfórica aumento el peso fresco de hojas en un 32.20% comparado con las plantas testigo, similar efecto ocurrió cuando las plantas fueron nutridas con 0.6 meq L⁻¹ de fosforo soluble y 5.0 g de roca fosfórica (Figura 3). Este incremento puede ser debido a la disponibilidad de P pues, algunos Autores mencionan que el fosfato cálcico con ácido sulfúrico se obtiene ácido fosfórico, que es la forma más asimilable por la planta (Martínez, 2013). Las rocas fosfóricas son fertilizantes de solubilización lenta. Se necesitan tiempo y agua alrededor de las partículas para permitir que los productos de la disolución se muevan por difusión lejos de las partículas de la roca fosfórica en el volumen del suelo. El mejoramiento de la eficiencia agronómica relativa de las rocas fosfóricas con el tiempo se atribuye a la continuación de la

solubilización de la roca fosfórica mientras se mantenga una baja concentración de P en la solución suelo (Truong, Pichot y Beunard, 1978).

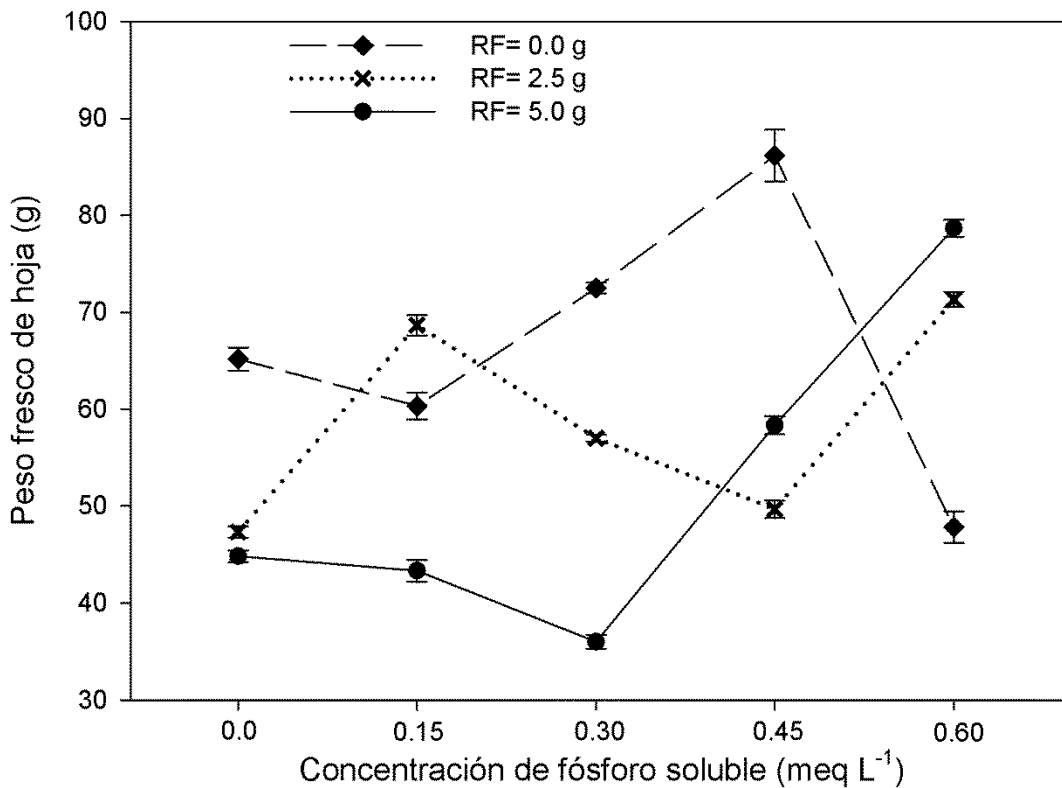


Figura 3. Interacción entre roca fosfórica y fósforo soluble en el peso fresco de hojas de las plantas de fresa cv. Camino Real.

Las plantas que recibieron 0.6 meq L⁻¹ fósforo soluble + 5.0 gramos de roca fosfórica fue mayor el peso seco de hojas, con un 43.30% en relación con el testigo. Similar efecto se observa en aquellas plantas que se les suministro 0.45 meq L⁻¹ de fósforo soluble y 0.0 g de roca fosfórica (Figura 4). Un estudio realizado se monitoreó la producción de materia seca y la absorción de nutrientes del trigo (*Triticum aestivum* L.) en un sistema zeopónico que contiene roca fosfórica y zeolita saturada con NH y K, son capaces de suministrar niveles suficientes de N, P, K y Ca para el crecimiento intensivo del trigo (Allen et al., 1995).

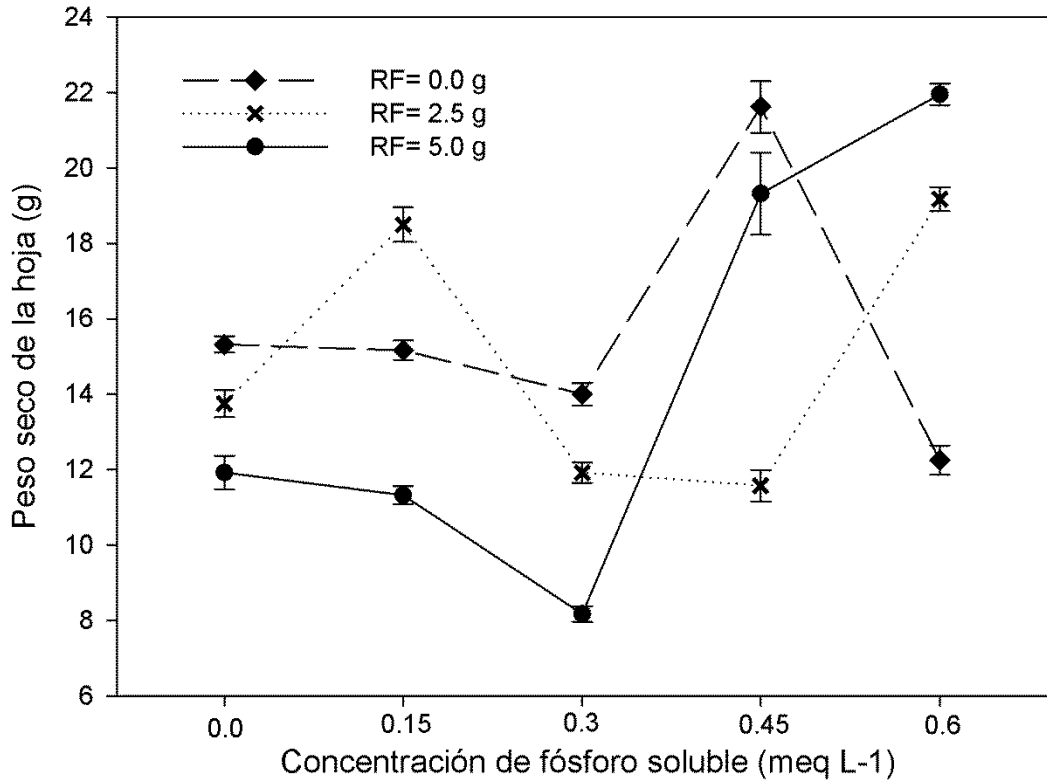


Figura 4. Interacción entre roca fosfórica y fósforo soluble en el peso seco de las plantas de fresa cv. Camino Real.

El índice de contenido relativo de clorofila de las hojas fue mayor con 0.6 meq L⁻¹ fósforo soluble y 5.0 g de roca fosfórica, y en aquellas hojas de plantas que recibieron 0.45 meq L⁻¹ de fósforo soluble y 0.0 g de roca fosfórica (Figura 5). Si se aplica al suelo directamente roca fosfórica finamente molida hay una lenta conversión del fósforo a una forma soluble, dependiendo de la acidez y naturaleza del suelo. Sin embargo, por lo general, antes de que la roca fosfórica pueda utilizarse como fertilizante es indispensable tratarla en alguna forma para convertir el fósforo a una forma soluble (Soto, 2000). Estudios realizados mencionan que la adición de fosfato de roca a la composta aumentó el contenido de P soluble en 17.7% y casi el doble de Ca soluble. Todos los tratamientos, excepto BSR al 10%, mejoraron el índice de clorofila y la materia seca (Maass et al., 2020).

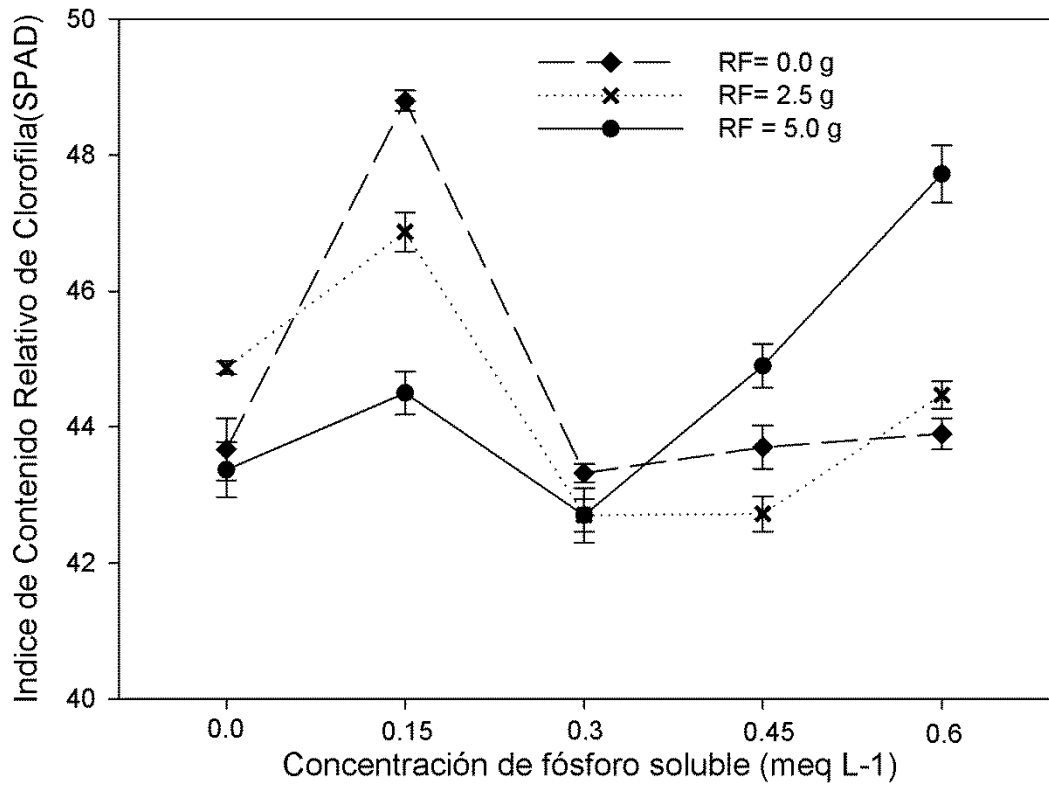


Figura 5. Interacción entre roca fosfórica y fósforo soluble en el índice de contenido relativo de clorofila de las plantas de fresa cv. Camino Real.

V.CONCLUSIÓN.

Considerando la escases de fosforo en un futuro, con la realización de éste experimento podemos decir que la aplicación de roca fosfórica en combinación con de fósforo soluble contribuyen en la disminución del uso de fosforo soluble pues la roca fosfórica mejora el crecimiento de las plantas de fresa.

VI. LITERATURA CITADA

Allen E.R, Ming D.W, Hossner L.R., Henninger D.L., Galindo C. (1995). Growth and Nutrient Uptake of Wheat in Clinoptilolite-Phosphate Rock Substrates. *Agronomy journal*, 87(6): 1052-1059.

Bianchi, P.G. 2018. Guía completa del cultivo de las FRESAS. https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=AA9dDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT3&dq=origen+de+la+fresa+&ots=iwEoZXyjQz&sig=OStNPXzDmNaJJIMSUcQPgqtc_9M&redir_esc=y#v=onepage&q=origen%20de%20la%20fresa&f=false.

Consultado 15 de mayo 2020.

Cadahía L.C.2005.Fertirrigación cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. (3ª Ed). https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=wRpfAAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA115&dq=acido+fosforico+en+fertirriego&ots=bPAKNZinGV&sig=hOTDie4_qRvfLLQ3h epRINO2-ol#v=onepage&q&f=false. Consultado el 24 julio 2020.

Cerón R. E.L.,Aristizábal G.A. F. (2012).Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, vol. XIV, núm. 1, (2012 en julio el 1).

Chaabouni, A., Chtara, C., Nzihou, A., y El Feki, H. (2014). Study the Nature and the Effects of the Impurities of Phosphate Rock in the Plants of Production of Phosphoric Acid. *Journal: Journal of Advances in Chemistry*, 7(2).

Chien, S.H., and D.K. Friesen. (1992). Phosphate Rock for Direct Application. In *Workshop on Future Directions for Agricultural Phosphorus Research*, [traducido al español] pp. 47-52, TVA Bull. Y-224. Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama, U.S.A. (Referencia tomada de Chien ,2010)

Chien, S.H. (2003). Factors Affecting the Agronomic Effectiveness of Phosphate Rock for Direct Application. In *Direct Application of Phosphate Rock and Related*

Technology: Latest Development and Practical Experiences, [traducido al español] pp.50-62, (S.S.S. Rajan and S.H. Chien, ed.). Special Publications IFDCSP-37, IFDC, Muscle Shoals, Alabama. (Referencia tomada de Chien ,2010)

Chien S.H., Prochnow L. I., and Mikkelsen R. (2010) Agronomic Use of Phosphate Rock for Direct Application. [traducido al español] Better Crops/Vol. 94. No. 4 .p21-p23.

Comité de la agroindustria y productores de la fresa, CONAFRE .A.C. (2012) Plan rector nacional 2012. http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP_CNPS_FRESA/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_CNPS_FRESA_2012.pdf. Consultado 22 de mayo 2020.

Echeverri E.J. (2018).Dinámica del fósforo en suelo-planta en regiones tropicales. (Trabajo de grado monográfico presentado como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ciencias – Geomorfología y Suelos). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biociencias, Colombia. <http://bdigital.unal.edu.co/71606/2/39456768.2018.pdf>. Consultado 25 de julio 2020.

Fernández, M. T., (2007). Fósforo: amigo o enemigo ./CIDCA Sobre los derivados de la caña. (Núm. 2), pp. 51-57.

Finck, A. (1988). Fertilizantes y fertilización. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=IIL8KcUQAQ0C&oi=fnd&pg=PR13&dq=fertilizantes+&ots=VXKLCuE953&sig=3QZYgMR6kedqqjcmCOBIfDOQ9eM#v=onepage&q=fertilizantes&f=false>. Consultado 10 de junio 2020.

Flórez, F. R., y Mora, C. R. (2010). Fresa (Fragaria x ananassa Duch). Producción y manejo post cosecha. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13332>. Consultado 16 de mayo 2020.

Food and Agriculture Organization of the United Nations , FAO.(2007).Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible (Boletín FAO fertilizantes y nutrición vegetal 13).

Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. (2015)[traducción al español]. World fertilizer trends and outlook to 2018. <http://www.fao.org/3/a-i4324e.pdf>. Consultado 4 de junio 2020.

García, N.G. y García, N.S. (2014). Fertilizantes: química y acción <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3McUBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=fertilizantes+&ots=4HAM2buk5o&sig=kQPjfXQCIGVII6xXfAVI1NthfAc#v=snippet&q=materias%20primas%20para%20los%20fertilizantes%20fosforados&f=false> . Consultado 3 de junio 2020.

Herrera M. M. del P. (2020).Importancia del Fósforo en el incremento de la producción, en cultivos de ciclo corto. Universidad Técnica de Babahoyo. Ecuador. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8194>. Consultado 22 de Septiembre 2020.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Treinta y tres. (2004). Seminario de Actualización Técnica: FERTILIZACIÓN FOSFATADA DE PASTURAS EN LA REGIÓN ESTE (Edición preliminar). <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3628/1/Ad-356.pdf#page=6>. Consultado 23 de junio 2020.

INTAGRI. (Julio, 2018).Producción Hidropónica de Fresa. Serie Frutillas, Núm.26.Artículos Técnicos de INTAGRI. México.6p.

International Plant Nutrition Institute, IPNI(S/F). Fuentes de nutrientes específicos. (Boletín técnico N°19).

León, L.A. (1977). El, USO DE ROCAS FOSFORICAS EN SUELOS ACIDOS DEI, TROPICO AHERICANO. <http://ciat->

library.ciat.cgiar.org/ciat_digital/CIAT/books/historical/136.pdf. Consultado 8 de julio 2020.

León. L. A. (S/F).La experiencia del Centro Internacional para el Desarrollo de Fertilizantes en el uso de rocas fosfóricas en América Latina. División Agro-Economía, IFDC. Coordinador de Fertilidad de Suelos IFDC/CIAT, Apartado 6713, Cali, Colombia.

Maass V., Céspedes C. y Cárdenas C. (2020). Effect of bokashi improved with rock phosphate on parsley cultivation under organic greenhouse management. Chil. j. agric. res. vol.80 no.3

Martínez, G.I. (2013). Yacimientos de fosfatos: Origen, ubicaciones, aplicaciones de los derivados de fosfatos y diseño de una planta de tratamiento (proyecto fin de grado). Universidad de Cantabria. Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía, España.

Morillo A., Sequera O. y Ramírez R. (2007). ROCA FOSFÓRICA ACIDULADA COMO FUENTE DE FÓSFORO EN UN SUELO ÁCIDO CON O SIN ENCALADO. Bioagro, vol. 19, núm. 3, diciembre, 2007, Venezuela, pp. 161-168.

Navarro G.G y Navarro G.S.(3ª ed.) (2013). Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. España: Editorial Mundi-Prensa.

Olivera S.J (2012). Cultivo de fresa. Manual N° 1-12(1ª Ed.). Lima-Perú. <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/inia/752>. Consultado 25 de mayo de 2020.

Pellegrini E.A., 2017. FÓSFORO EN EL SUELO. https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35407/mod_resource/content/1/TEMA%2013%20-%20F%C3%93SFORO.pdf. Consultado 14 de junio 2020.

Ramírez Padrón L, Cauich I, Fernández V G, Luis D, Fernández A. (2020-06-23). Análisis de los indicadores de competitividad de las exportaciones de fresa mexicana. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.

Richardson, A. E. (2001). Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Aust. J. Plant Physiol.* (28): p. 897-906.

RojasC.M.K. (2019). Estiércol y roca fosfórica en el rendimiento de *Hordeum vulgare* L. var. Zapata en Santiago de Chuco, La Libertad. (Tesis para obtener el título de ingeniero agrónomo). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Sánchez. G.P. (2015). Producción de Berries en Hidroponía. Sesión del Diplomado Internacional de Horticultura Protegida. INTAGRI. México.

Sánchez, R. G. 2008. La red de valor fresa. Fundación Produce, Laser Impresores. 1aEd. Morelia, Michoacán, México.p.17.

Sanzano A. (2003). El fósforo en el suelo. Facultad de agronomía y zootecnia. UNT. Buenos Aires. Argentina. <https://www.edafologia.org/descargas/>. Consultado 16 de junio 2020.

Santoyo J.A. y Martínez C.O. (2009). Paquete tecnológico para la producción de fresa. <https://docplayer.es/11797733-Paquete-tecnologico-para-la-produccion-de-fresa.html>. Consultado 27 de mayo 2020.

SCHORR M., VALDEZ B. y OCAMPO J. (2011). Selección de materiales para la fabricación de equipamiento en plantas productoras de ácido fosfórico. N° 4.

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimenticia, SAGARPA. (2005). Plan rector sistema nacional de fresa. https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2007/06/prn_fresa.pdf.

Consultado 14 de mayo 2020.

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimenticia, SAGARPA. (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Fresa Mexicana. (1aEd.)

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, SADER. (2017). Aumentan exportaciones de fresa “Hecho en México” 21.2 por ciento. Núm.145.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Delegación SADER Michoacán. (2018). Michoacán se Mantiene en Primer Lugar a Nivel Nacional en Producción de Fresa. <https://www.gob.mx/agricultura/michoacan/articulos/michoacan-se-mantiene-en-primer-lugar-a-nivel-nacional-en-produccion-de-fresa?idiom=es> Consultado 20 de mayo 2020.

Sierra B.C. (1990). ROCAS FOSFÓRICAS: NUEVA FUENTE DE FÓSFORO PARA PRADERAS Y CULTIVOS (boletín técnico N° 159). <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boltec/NR17078.pdf> Consultado 20 de junio 2020.

Smit A.L., Bindraban P. S., Schröder J.J., Conjin J.G. y van der Meer. H.G (2009). Phosphorus in agriculture: global resources, trends and developments [traducido al español] Report 282.pp.36.

SOTO B.A. (2000). Obtención de fertilizantes fosfatados (s.f.t.) a partir de roca fosfórica importada y ácido sulfúrico nacional, anteproyecto de una factibilidad técnico económica (Memoria para optar al título de ingeniero). Universidad de Chile Facultad Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Química. Santiago Chile.

Soto M. G., Flores M.J., Orozco L.M. y Velásquez P. Z.B. (S/F). Propiedades Físicoquímicas de Seis Variedades de Fresa (*Fragaria ananassa*) que se Cultivan en Guanajuato. Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Guanajuato. Carr. Irapuato-León km 9.0 Ex-Hacienda El Copal. Irapuato, Guanajuato, México.

Truong, B., Pichot, J. y Beunard, P. (1978). Caracterisation et comparaison des phosphates naturels tricalciques d'Afrique de l'Ouest en vue de leur utilisation directe en agriculture. *Agron. Trop.*,33: 136 145.

Tucuch P. M. A., Hernández P. A., Valdez A. L. A., Pérez A. G. A., García S. J. C., Alvarado C. D. (2017). Aplicaciones de aluminio mantienen el crecimiento de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) suplementada con roca fosfórica en condiciones de cultivo sin suelo. *Terra Latinoamericana*, vol. 35, núm. 3, pp. 193-201

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Dirección de Investigación,
UAAAN.(2011).informe Campos Experimentales.

http://www.uaaan.mx/investigacion/comeaa/Campos_Experimentales_2011.pdf.

Consultado 17 de Marzo 2020.

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and International
Fertilizer Development Center (IFDC). (1979). Fertilizer manual.

https://books.google.com.mx/books?printsec=frontcover&vid=LCCN98002861&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false . Consultado 20 de Marzo 2020.

U.S. Geological Survey, USGS. (2020). Mineral commodity summaries 2020
[traducción al español] ,200 p.

