

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



Aplicación de roca fosfórica afecta el crecimiento y rendimiento del cultivo de fresa en un sistema de cultivo sin suelo

Por:

ROCIO ROMERO ATILANO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre 2019

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

Aplicación de roca fosfórica afecta el crecimiento y rendimiento del cultivo
de fresa en un sistema de cultivo sin suelo

Por:

ROCIO ROMERO ATILANO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría

En el presente trabajo de investigación el Dr. José de Jesús
Rodríguez Sahagún Presidente de jurado, reconoce a Dr. Armando
Hernández Pérez como Director de la tesis y como Coasesores a Dr.
Valentín Robledo Torres y a Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal de la
alumna Rocio Romero Atilano.



Dr. José de Jesús Rodríguez Sahagún

Presidente

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre 2019

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

Aplicación de roca fosfórica afecta el crecimiento y rendimiento del cultivo
de fresa en un sistema de cultivo sin suelo

Por:

ROCIO ROMERO ATILANO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría



Dr. José de Jesús Rodríguez Sahagún

Presidente



Dr. Armando Hernández Pérez

Director



Dr. Valentín Robledo Torres

Coasesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Coasesor suplente



MC. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la división de ingeniería

Saltillo, Coahuila, México
Septiembre 2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios le agradezco por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mi alma mater

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Por darme la oportunidad de realizar mis estudios en ella, por prepararme como un profesional en sus aulas, y darme las bases para enfrentarme al mundo laboral.

A mi familia

Le doy gracias a mis padres Flavio y Teresa por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos Bernarda, Humberto y Esmeralda les doy las gracias por el apoyo y la confianza, por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar. A mi cuñado Doroteo le doy gracias por ser parte de la familia, y su gran apoyo en todo momento. A mis sobrinos Alexis e Iker, por ser la alegría de la casa, les agradezco por las sonrisas y el gran amor que me han regalado.

A mi tío Serafín que aunque ya no se encuentre con nosotros físicamente me dejó grandes enseñanzas sobre la vida, principalmente a ser valientes sin importar las adversidades y luchar hasta el final. A mis primos Omar, Yeseña y José Julián por sus ánimos en todo momento.

A mi abuela Ignacia por sus bendiciones cada vez que tenía que viajar y por su cariño. A mi tía Julia por los ánimos y por ser un gran ejemplo.

A mis abuelos Celso y Matilda por darme sus sabios consejos de vida, y por darme la bendición en cada momento, por el gran apoyo y la confianza que me han tenido. A mis tíos Cesar, René y Beatriz por sus grandes enseñanzas y el gran apoyo.

A mis tías, que más que eso han sido mis amigas, Alejandra y Josefina que en todo momento han sido un gran apoyo, han estado conmigo en las buenas y en las malas, gracias a ustedes he conocido el significado de la verdadera amistad, me han enseñado muchas cosas sobre la vida, le agradezco a Dios por tenerlas en mi vida.

A mis segundos padres, Doña Tere y Don Paco, les doy gracias por cuidar de mí durante mi estancia en la universidad, por el recibimiento en su casa pero sobre todo por su gran apoyo y cariño en todo momento.

A mis asesores de tesis

Dr. Armando Hernández Pérez, por tantas enseñanzas y por guiarme en la realización de este trabajo, por el apoyo brindado, porque gracias a eso esto pudo ser posible, y sobre todo por ser una excelente persona y la humildad que lo caracteriza.

Dr. José de Jesús Rodríguez Sahagún, por la atención brindada y por las buenas enseñanzas adquiridas.

Dr. Valentín Robledo Torres y Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal por ser parte de este trabajo y por el apoyo brindado.

A mis amigos

Blanca, Lety, Lily, Zavala, José y Benjamín, por esas tardes de tareas y convivencia, con ustedes he compartido las experiencias más grandes de vida, nunca olviden que los quiero y que siempre contarán conmigo.

Ana María, Magdaleno, Rosita y Lorenzo porque son un gran ejemplo a seguir, gracias por la amistad que me han brindado y sobre todo el gran apoyo que me han dado.

A grandes personas y excelentes amigos que conocí en el trabajo, Sandra y Doña Rosy, gracias por los consejos y sobre todo la gran compañía y la alegría que me regalaban día a día. Le agradezco infinitamente a Dios por haberlas puesto en mi camino.

DEDICATORIA

A mis padres

Flavio Romero Pérez y Teresa Atilano Romero, a quienes amo profundamente, les dedico esta tesis por haberme brindado su comprensión y apoyo incondicional durante toda mi carrera, por sus consejos que me orientaron a tomar las mejores decisiones y por creer en mí.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II.OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo general.	3
2.2 Objetivos específicos.	3
III. HIPÓTESIS.....	3
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1 Roca fosfórica.	4
4.1.1 Historia de la RF en el mundo.	4
4.1.2 Historia de la RF en México.	5
4.1.3 Demanda de RF en el mundo.....	6
4.1.4 Demanda de RF en México.	7
4.1.5 Cadena de valor de la RF.	8
4.1.6 Características y composición química.....	9
4.1.7 Ventajas de la aplicación directa de RF.....	10
4.1.8 El fósforo en la planta.	11
4.1.9 Respuesta de la aplicación directa de RF en cultivos.	12
4.2 Fresa.	13
4.2.1 Origen.	13
4.2.2 Variedades.....	14
4.2.3 Sistema de producción.	15
4.2.4 Nutrición.....	16
4.2.5 Comercialización.....	16
V. MATERIALES Y MÉTODOS	18
5.1 Localización del área experimental.	18
5.2 Metodología.	18
5.2.1 Material vegetal.....	18
5.2.2 Instalación del experimento.	19
5.2.3 Trasplante.....	19

5.2.4 Tratamientos.....	19
5.2.5 Manejo del cultivo.	20
5.2.6 Variables evaluadas.	22
5.2.7 Diseño experimental y análisis estadístico.	23
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
VII. CONCLUSIÓN.....	31
7.1 Recomendaciones.	31
VIII. LITERATURA CITADA.....	32
IX. ANEXOS.....	39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de la RF que se ocupó para el experimento	19
Cuadro 2. Dosis de los fertilizantes en Meq L ⁻¹ para la preparación de la solución nutritiva con fosforo soluble a 10ppm.	20
Cuadro 3. Efecto de la RF en el crecimiento y desarrollo de las plantas de fresa cv. Albión.	25
Cuadro 4. Efecto de la RF en la biomasa, peso y numero de frutos de las plantas de fresa cv. Albión.	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de diferentes dosis de RF en la altura de la planta de fresa cv. Albión.....	27
Figura 2. Efecto de diferentes dosis de RF en el peso seco total de la planta de fresa cv. Albión.. ..	28
Figura 3. Efecto de diferentes dosis de RF en el rendimiento de la planta de fresa cv. Albión.. ..	29
Figura 4. Comportamiento del rendimiento, con respecto al peso seco total de las plantas de fresa cv. Albión, al aplicar RF.. ..	30

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la roca fosfórica (RF) en el crecimiento y rendimiento del cultivo de fresa cv. Albión. Las plantas fueron cultivadas bajo un sistema sin suelo, se utilizó peat moss, fibra de coco y perlita como medio de crecimiento. Los tratamientos utilizados fueron tres dosis de RF (0.0 g 1.0 g y 2.0 g por maceta), las plantas fueron regadas por la preparación de una solución nutritiva con fósforo (P) a 10ppm. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con 3 tratamientos y 4 repeticiones, a los datos recabados se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$), para ello se ocupó el programa SAS.

La altura de las plantas se incrementó con 2.0 g de RF, superando un 12% en comparación con las plantas testigo y con 1.0 g de RF solo superó con el 3% a las plantas testigo. Para el peso seco total (PST) de igual manera se encontró una respuesta positiva ya que con la adición de 2.0 g de RF superó en un 50% a las plantas testigo y con 1.0 g de RF solo aventajó con un 35%. Con respecto al rendimiento se logró un mejor resultado con la aplicación de 1.0 g de RF debido a que superó en un 14% a las plantas testigo y con 2.0 g de RF se redujo 2.18% el rendimiento respecto al testigo. Esto sugiere que la aplicación de RF favorece el crecimiento y rendimiento de las plantas de fresa.

Palabras clave: *Fragaria x ananassa Duch*, altura, biomasa, fosforo insoluble

I. INTRODUCCIÓN

El fósforo (P) es un nutriente esencial para las plantas, al ser altamente determinante del rendimiento, se aplica como fertilizante desde hace al menos un siglo, su ciclo sedimentario, sin fase atmosférica, hace necesario recurrir a la extracción de la RF a través de la actividad minera para luego ser transformado en fertilizante por la industria y finalmente ser aplicado a los cultivos. Por lo tanto, la agricultura moderna depende de los aportes regulares de fertilizantes fosforados derivados de depósitos minerales de P para reponer el P extraído del suelo por la cosecha de los cultivos (Mutti, 2018). La principal fuente de P como fertilizante es la RF, un recurso no renovable cuyas reservas pueden agotarse en 50 a 100 años (Cordell *et al.*, 2009).

El uso de fertilizantes en la agricultura es un factor importante que contribuye al incremento de la productividad de los cultivos, la cual es determinante para lograr abastecer de alimentos a una población global creciente (Gaucin, 2016). De acuerdo a la FAO (2017) el consumo mundial de fertilizantes creció un 1,8% anual hasta 2018.

Debido al crecimiento sostenido de la población, la demanda de alimentos es cada día mayor y con ello también se incrementa el P necesario para su producción, sin embargo, se sabe que el P se obtiene a partir de minerales que podrían agotarse dentro de los próximos años (Rodríguez, 2009), aunque el P puede encontrarse en el suelo, la mayor parte se encuentra en forma no asimilable por las plantas (Tucuch-Pérez *et al.*, 2017), esto debido a que las raíces de las plantas sólo pueden tomar P como aniones ortofosfato (HPO_4^{2-} y H_2PO_4^-) de la solución del suelo (Richardson *et al.*, 2009), la disponibilidad del ion ortofosfato (HPO_4^{2-}) en la solución del suelo suele ser un factor limitante por lo que se estima que entre el 40% y el 60% del rendimiento de los cultivos es afectado por la disponibilidad de este nutriente (Von Uexküll y Mutert, 1995).

La RF es un mineral rico en P que generalmente presenta un alto contenido de Ca (Sierra,1990), es por eso que una de las alternativas para disminuir el uso de fertilizantes fosforados es la aplicación directa de RF, ya que es económicamente más atractiva para ciertos suelos y cultivos que el uso de fertilizantes más costosos (León, 1991), de igual manera la aparición de nuevas fuentes de P podría resolver el problema de desequilibrio pero desde una visión ambiental a mediano plazo (Mutti, 2018).

Cerca del 80% de la producción mundial de RF proviene de los depósitos de origen sedimentario marino, un 17% es de origen ígneo y de sus productos derivados de la meteorización; el resto proviene de los depósitos sedimentarios residuales y de tipo guano, las rocas fosfóricas de origen sedimentario son aptas para aplicación directa porque consisten de agregados de microcristales ampliamente abiertos y débilmente consolidados, con un área específica relativamente grande (Zapata y Roy, 2007).

La aplicación directa de la RF en forma apropiada y racional puede contribuir significativamente a la intensificación agrícola sostenible utilizando los recursos naturales como nutrientes para las plantas (Zapata y Roy, 2007). El tema de la RF es de suma importancia, debido a que es la principal fuente para la fabricación de fertilizantes fosforados, es por eso que se debe de poner énfasis en la investigación de alternativas para no acabar con este elemento tan importante. Así mismo se deben de realizar investigaciones sobre la aplicación directa de RF principalmente en los cultivos con mayor demanda en la actualidad. Por estas razones se realizó el presente trabajo en el cultivo de fresa cv. Albión, ya que México es uno de los principales países productores y exportadores de este fruto (Arana-Coronado y Trejo-Pech, 2014).

El P es importante para que las plantas almacenen energía y desempeña un papel en el desarrollo de la fruta, a menudo está presente en cantidades adecuadas para un buen funcionamiento en el cultivo de la fresa (Haifa, 2019).

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general.

- ❖ Determinar el efecto de la RF en el crecimiento y rendimiento de fruta en el cultivo de fresa cv. Albión.

2.2 Objetivos específicos.

- ❖ Obtener la dosis optima que permite mayor crecimiento de las plantas de fresa cv. Albión.
- ❖ Obtener la dosis adecuada que permite mayor rendimiento de fruta de fresa cv. Albión.

III. HIPÓTESIS

Al menos una de las dosis de RF tendrá un efecto positivo en el crecimiento y rendimiento de las plantas de fresa cv. Albión.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Roca fosfórica.

Las rocas fosfóricas son la materia prima básica para la producción de los fertilizantes fosfatados. El compuesto fosfatado en las rocas fosfóricas es algún tipo de apatita. Según el origen del depósito de la RF y su historia geológica, las apatitas pueden presentar propiedades físicas, químicas y cristalográficas diferentes (Zapata y Roy, 2007).

4.1.1 Historia de la RF en el mundo.

Históricamente, la agricultura ha dependido de los niveles naturales de P en el suelo y la adición de materia orgánica fácilmente disponible, tal como el estiércol animal o el excremento humano. Los chinos han usado las excretas humanas como fertilizante desde los albores de su civilización, y los japoneses hicieron lo propio a partir del siglo XII. No obstante, la paulatina degradación del suelo y las hambrunas europeas de los siglos XVII y XVIII mostraron la necesidad de usar fuentes adicionales de nutrientes. Hacia el siglo XIX, Inglaterra importaba ya grandes cantidades de huesos de otros países europeos con este propósito. Por otra parte, hacia esa época se hicieron avances agrícolas importantes que contribuyeron a aumentar la productividad agrícola. Estos avances incluyeron la rotación de cultivos, un mejor manejo de las excretas animales y, en particular, la introducción de nuevos cultivos fijadores de nitrógeno, como los tréboles. En 1840 el químico alemán Justus von Liebig propuso la llamada “teoría mineral”, según la cual el P, K y el N son elementos que transitan continuamente entre la materia viva y la muerta. Esta teoría surgía al mismo tiempo que tanto la urbanización de Europa como la producción de fertilizantes agrícolas aumentaban. En esa época, las fábricas producían fertilizantes a partir de cenizas y materiales orgánicos tales como

excretas humanas y animales, huesos y otros subproductos de los mataderos locales (Rodríguez, 2009).

Hacia mediados del siglo XIX, la materia orgánica local fue sustituida por materiales fosforados traídos de lugares lejanos: la extracción de guano y de RF habían iniciado. Aunque el comercio de guano creció rápidamente a partir de su descubrimiento, su uso se mantuvo limitado y hacia finales del siglo XIX su disponibilidad ya disminuía. Por el contrario, la RF era vista como una fuente ilimitada de P y el mercado de los fertilizantes minerales empezó a crecer rápidamente (Rodríguez, 2009).

Durante el período 1993-1999 la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Agricultura y la Alimentación ejecutó un proyecto de investigación coordinada incluyendo 21 instituciones de países en desarrollo y de países desarrollados con el propósito de evaluar la eficiencia agronómica de los fertilizantes fosfatados, en particular de las rocas fosfóricas mediante el uso de las técnicas nucleares y conexas. Los resultados obtenidos demostraron su potencial para mejorar la fertilidad del suelo y aumentar la producción agrícola bajo ciertas condiciones (Zapata y Roy, 2007).

4.1.2 Historia de la RF en México.

Los primeros depósitos naturales de fosfatos del país fueron descubiertos en 1905 por el doctor Carlos Burckhardt, quien los identificó en Zacatecas. Posteriormente Teodoro Flores en 1953 notificó depósitos en los estados de Coahuila y Nuevo León; estos yacimientos quedan comprendidos dentro de los paralelos 24°30' y 27°00' de latitud norte y los meridianos 99°30' y 102°00' de longitud al oeste de Greenwich. Los depósitos de fosfatos de México han mostrado gran variabilidad en el contenido de fosfato de calcio, Flores en 1953 encontró en muestras procedentes de yacimientos de Mazapil y Concepción del Oro, Estado de Zacatecas, cantidades que fluctuaban entre 15% y 58% de fosfato tricálcico, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; alcanzando un máximo de 70% ; muestras de Topo

Chico entre 27% y 43%; las de Minas Viejas (Cañón de Encinas) entre 22.9% y 37.9% y las muestras de Rincón de Arizmendi entre 7.1% y 33.9% en el Estado de Nuevo León (De Hernández y Merino, 1970).

El primer trabajo realizado en México con RF lo realizó Gil en 1966, quien hizo la aplicación del mineral a suelos de origen volcánico, estudió en invernadero la respuesta de maíz a la aplicación de RF (34.5% P_2O_5) de procedencia norteamericana, acidulada al 0, 20, 40 y 80% con H_2SO_4 en tres suelos de la Sierra Tarasca, como fertilizante de comparación empleo superfosfato simple. Los resultados obtenidos por este autor indican que el rendimiento de materia seca al aplicar RF sin acidular, fue más alto que el testigo, sin embargo, el rendimiento que se alcanzó en el tratamiento con el superfosfato simple fue más del doble que el obtenido con la RF sola. A partir de 1978, se tuvieron disponibles muestras procedentes de Baja California, diversas instituciones las incluyeron en sus ensayos de campo, entre ellas fertilizantes Mexicanos, S.A., el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, El Colegio Superior de Agricultura Tropical y el Colegio de Postgraduados, cabe destacar que las rocas fosfóricas de Baja California tienen una mayor reactividad lo cual hizo suponer una eficiencia agronómica aceptable (Nuñez, 1989).

4.1.3 Demanda de RF en el mundo.

La generosa aplicación de fertilizantes de alta calidad en los suelos agrícolas de Europa y América del Norte durante más de medio siglo provocó que estos suelos superaran los niveles “críticos” de P; esto significa que sólo se requiere la reposición de la cantidad de P que se pierde durante la cosecha. Así, en estas zonas, la demanda de P se ha estabilizado o disminuido. No obstante, en las naciones emergentes o en desarrollo la situación es distinta, ya que se constató un incremento en la demanda de P de un 3-4% anual hasta el período 2010-2011. Dos tercios de esta demanda se originan en Asia. Para el año 2050, se estima que en estas zonas existirán entre 2 y 2.5 mil millones de personas

más que alimentar, por lo que la producción de alimentos tendrá que incrementarse hasta en un 70% para poder satisfacer esta demanda global. En los años 2007 y 2008, la demanda de RF y de fertilizantes excedió el abasto, y los precios se incrementaron mundialmente en un 700% en un período de 14 meses. Esto se debió en parte a un cambio en la dieta de los habitantes de la India y China, que han empezado a consumir mayores cantidades de carne y productos lácteos, y a la producción de biocombustibles. De esta manera, la producción de bioetanol no sólo compite con la agricultura por semillas y suelos fértiles, sino también por fertilizantes (Rodríguez 2009).

Los fertilizantes fosfatados representan casi el 90% de la demanda mundial de RF, siendo los principales fertilizantes: el fosfato diamónico (DAP), el fosfato monoamónico (MAP) y el superfosfato triple (TSP). Los fertilizantes fosfatados concentrados (DAP, MAP y TSP) representaron el 56% de toda la demanda en 2017. La demanda mundial de RF en 2017 ascendió a casi 210 millones de toneladas, lo que representa un crecimiento del 3% de la TCAC desde 2008. Este crecimiento se debe en gran medida al aumento de la demanda en China, donde se consumieron 37 millones de toneladas adicionales de roca (UPME, 2018). De los 210 millones de toneladas de RF que se explotan anualmente más del 75 % proviene de China, Marruecos, USA y Rusia (Grupo fosfatos, 2019).

4.1.4 Demanda de RF en México.

México consume más de mil 600 toneladas anuales de P y cuenta con unas reservas aproximadas de 30 mil toneladas, según la Encuesta Geológica de Estados Unidos.

La empresa RF Mexicana II, filial de Grupo Fertinal y privatizada en 1993, explota la mina subterránea de San Juan de la Costa en Baja California Sur y Minerales no Metálicos lo hace en Puebla con unas 150 kt/año. En 2013 la producción nacional de fertilizantes se situó en 1.7 millones de toneladas y se

importaron casi tres millones para atender la demanda. Desde 2004, el uso de fertilizantes se ha incrementado, según datos del Banco Mundial (BM). Entre 2004 y 2008 se inyectaron al suelo 54.8 kg ha^{-1} de tierra cultivable y entre 2009 y 2013, 61.7 kg ha^{-1} . Estadísticas de la Asociación Nacional de Comerciantes de Fertilizantes indican que de los 16 millones de hectáreas cultivadas en el país, sólo nueve millones se fertilizan y, de ellos, tres millones se consideran fertilizados idealmente a 40%. Desde 2007, la obtención del mineral ha venido al alza. En 2013 se extrajeron casi 150 mil toneladas, mientras que en lo que va de este año el volumen ronda las 100 mil toneladas. El estudio Tendencias actuales mundiales de fertilizantes y perspectiva para 2016, elaborado en 2012 por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), avizora que el crecimiento anual de la demanda de nitrógeno, fosfato y potasio sea de 2.7%, 3.0% y 2.9% respectivamente, entre 2012 y 2016 en América Latina. Bajo este contexto, Brasil, Argentina, México y Colombia serán los mayores usuarios de fertilizantes en la región (Inforural, 2014).

4.1.5 Cadena de valor de la RF.

Alrededor del 75% de toda la RF se utiliza en la producción de ácido fosfórico por vía húmeda (WPA), que es un producto intermedio utilizado para producir una variedad de fertilizantes relacionados y otros productos:

- ❖ Fertilizantes fosfatados concentrados: Este es el segmento más significativo, incluyendo el fosfato diamónico (DAP), el fosfato monoamónico (MAP) y el superfosfato triple (TSP). Estos fertilizantes se producen a gran escala y se comercializan a nivel mundial en grandes volúmenes.
- ❖ Fertilizante multinutriente: El WPA puede utilizarse para producir una amplia gama de formulaciones de micronutrientes 'NPK', cuya demanda ha ido en aumento en los últimos años.

- ❖ Alimento para animales: Los suplementos alimenticios para animales que contienen P, como el fosfato dicálcico (DCP), se producen por la vía del WPA.
- ❖ Aplicaciones industriales y alimentarias: El WPA puede purificarse para producir un ácido de alta pureza para su uso como intermediario en la producción de fosfatos industriales y alimentarios.

El 20-25% restante de la demanda de RF se utiliza para la producción de P elemental y otros fertilizantes que no se producen a través de la ruta WPA:

- ❖ P elemental: (o P blanco) es una materia prima para la producción de ácido fosfórico térmico (TPA). El TPA tiene las mismas aplicaciones que los grados purificados de WPA.
- ❖ Otros fertilizantes de "bajo análisis", incluyendo el superfosfato simple (SSP) y la RF para aplicación directa (DAPR), se producen a partir de RF (UPME, 2018).

4.1.6 Características y composición química.

Las rocas fosfóricas son rocas sedimentarias de origen químico que contienen al menos un 20% de P_2O_5 , en forma de fluorapatito criptocristalino, apatito o algún otro mineral que contenga P y suelen presentarse generalmente en capas, también se puede presentar en forma de costras, esferulitas y nódulos en horizontes sedimentarios. Las rocas con menos del 10% de fosfato reciben el adjetivo de fosfáticas. Los grandes depósitos se produjeron en zonas marinas con ambiente tranquilo y poco aporte de sedimentos terrígenos. Las aguas frías de los fondos marinos son más ricas en P que las calientes de la superficie, cuando las primeras ascienden arrastran cierta cantidad de nutrientes que atraen a numerosos organismos que aportan más P. En un depósito mineral, el contenido de fosfato se expresa como porcentaje de pentóxido de P (P_2O_5). Los depósitos de RF más importantes son de origen sedimentario, seguidos por

complejos ígneos alcalinos ricos en apatito (Dana-Hurlbut, 1959). La RF químicamente corresponde a fosfatos tricálcicos o apatitas solubles en ácidos débiles o fuertes (Sierra, 1990).

La fórmula general para la RF es $\text{Ca}_{10-a-b}\text{Na}_a\text{Mg}_b(\text{PO}_4)_{6-x}(\text{CO}_3)_x\text{F}_{2+y}$ que corresponde al mineral conocido como apatita y en este caso por el radical F se denomina fluorapatita que es la más común. El radical F puede ser reemplazado por OH o Cl denominándose hidroxiapatita o cloroapatita. Los elementos Na, Mg y CO_3 son impurezas en reemplazo de Ca o PO_4 (Chien, 1972). La asimilabilidad por parte de las plantas del P contenido en la roca varía enormemente según su origen y aumenta con el grado de sustitución isomórfica de la estructura de la apatita, siendo esta última una de las características más importantes en relación al patrón de liberación del P de la RF, prefiriéndose la sustitución isomórfica de un grupo carbonato por un fosfato, más que sustituciones por fluoruros o cloruros. La sustitución isomórfica del CO_3 por PO_4 reduce el tamaño de los cristales y aumenta la superficie específica de los agregados de apatita. El grado de sustitución del carbonato por el fosfato en la estructura de la apatita está estrechamente ligado a la reactividad de la roca (Hagin y Harrison, 1993).

4.1.7 Ventajas de la aplicación directa de RF.

- ❖ Al ser productos naturales, las rocas fosfóricas pueden ser utilizadas en la agricultura biológica.
- ❖ Bajo ciertas condiciones, las rocas fosfóricas reactivas pueden ser más eficientes que los fertilizantes fosfatados solubles en agua en base a la recuperación del P por las plantas.
- ❖ En base al costo por unidad de P, las rocas fosfóricas locales son normalmente los productos más económicos.
- ❖ Debido a su composición química extremadamente variable y compleja, las rocas fosfóricas son fuentes de varios elementos nutritivos además

del P. Son aplicadas comúnmente para mejorar el nivel fosfórico del suelo pero cuando se solubilizan también liberan otros nutrientes presentes en la roca, como el incremento del Ca intercambiable y la reducción de la saturación del Al.

- ❖ Los productos cosechados y sus residuos tienen una mejor calidad nutricional (contenido de P más alto que las plantas no fertilizadas). La incorporación de tales residuos orgánicos mejora la actividad biológica del suelo y la acumulación del carbono en el suelo, contribuyendo a mejorar sus propiedades físicas y químicas. De este modo, las rocas fosfóricas desempeñan una función importante contribuyendo al mejoramiento de la fertilidad del suelo y al control de su degradación, en particular para evitar la explotación mineral (empobrecimiento) de los nutrientes (Zapata y Roy, 2007).

4.1.8 El fósforo en la planta.

El P es absorbido principalmente durante el crecimiento vegetativo y luego la mayoría del P absorbido es movilizado a los frutos y semillas durante las etapas reproductivas. Las plantas con deficiencias de P tienen un crecimiento retardado (reducción del crecimiento celular y de la expansión foliar así como de la fotosíntesis y de la respiración) y a menudo presentan un color verde oscuro (más alta concentración de clorofila) y rojizo (aumento de la formación de antocianinas) (Zapata y Roy, 2007). El P penetra en la planta a través de las capas externas de las células de los pelos radiculares y de la punta de la raíz. La absorción también se produce a través de las micorrizas, que son hongos que crecen en asociación con las raíces de muchos cultivos (Sultenfuss y Doyle, 1999).

Este elemento nutritivo es absorbido por las plantas a partir de la solución suelo como aniones ortofosfato monovalente (H_2PO_4) y divalente (HPO_4), cada uno representando un 50 por ciento del P total en la solución a un pH cercano a la neutralidad (pH 6-7). A un pH entre 4 y 6, el anión ortofosfato monovalente (H_2PO_4) representa casi el 100 por ciento del P total en la solución. A un pH 8, el anión monovalente (H_2PO_4) constituye el 20% y el divalente (HPO_4) el 80% del P total en la solución (Black, 1968).

Una vez dentro de la raíz, el P puede quedarse almacenado en esta área o puede ser transportado a las partes superiores de la planta. A través de varias reacciones químicas el P se incorpora a compuestos orgánicos como ácidos nucleicos (ADN y ARN), fosfoproteínas, fosfolípidos, enzimas y compuestos fosfatados ricos en energía como la adenosina trifosfato (ATF). El P se mueve en la planta en forma de iones ortofosfato y como P incorporado en los compuestos orgánicos formados. De esta forma el P se mueve a otras partes de la planta donde estará disponible para más reacciones (Sultenfuss y Doyle, 1999).

4.1.9 Respuesta de la aplicación directa de RF en cultivos.

Existen trabajos que concluyen que la aplicación de RF influye positivamente en varios cultivos, tal como lo indican, Berardo y Marino (1993), quienes trabajaron en alfalfa con RF, SPT y fosfato diamónico (PDA). En este caso, la producción de materia seca se incrementó con el tiempo cuando se utilizó RF, superando a las fuentes más solubles. Así mismo Amacifuén-Flores (2012), señaló que el efecto que tuvo la aplicación de RF en sus diferentes dosis (0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 t/ha) fue positiva en cuanto al peso de frutos en el cultivo de tomate. De igual manera Blanco y Reyes (2018), concluyeron que la RF como fuente de P mostró variables de importancia agronómica en 2 variedades de lechuga, lo que permitiría plantear la sustitución de fuentes químicas de fosfatos solubles por fuentes de fosfatos minerales o rocas fosfóricas de baja solubilidad.

4.2 Fresa.

La fresa (*Fragaria x ananassa Duch*) pertenece a la familia de las Rosaceae en el género *Fragaria*. Es originaria de las regiones templadas del mundo y se caracteriza por tener tallos rastreros, nudosos y con estolones, hojas grandes trifoliadas, pecioladas y frutos rojos aromáticos (SAGARPA, 2005).

La fresa es una planta herbácea que produce estolones, debajo 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 (Olivera, 2003).

4.2.1 Origen.

Antes del descubrimiento de América, en Europa se cultivaban principalmente las especies *Fragaria vesca* y *fragaria alpina*, de tamaño pequeño pero de excelente calidad organoléptica. En Francia el Rey Carlos V, que reinó de 1364 a 1380, en su biografía se menciona que ordenó a su jardinero, Jean Dudoy, plantar 1,200 plantas de fresas en los jardines del palacio Louvre, en París. Con el descubrimiento de América se encontraron dos nuevas especies de mayor tamaño cultivadas por los nativos, una en Chile (*Fragaria Chilensis L. Duch.*) y otra en Virginia, Estados Unidos conocida como fresa escarlata (*Fragaria Virginiana Dutch*), que por su tamaño, se les llamó fresones. En 1849, la planta de fresa fue introducida a México, llegando a Irapuato en 1852 a través de 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 (Sánchez, 2008).

4.2.2 Variedades.

Fragaria x ananassa, es una planta octoploide, híbrido entre *Fragaria virginiana* (Estados Unidos) y *Fragaria chiloensis* (Chile). Varias especies de fresa silvestre han sido cultivadas por distintas civilizaciones, principalmente situadas en América, Asia y Europa. Sin embargo, actualmente las variedades de fresa de frutos grandes provienen de *F. x ananassa*, que se originó en Francia en el siglo XVIII (Hancock *et al.*, 2008).

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. Las variedades 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, San Andreas y Albión. Esta última es la segunda variedad en importancia de la Universidad de California, es precoz y los productores la catalogan como muy buena. Esta variedad es de reciente introducción a México, ya que se conoció apenas en el 2006 y tiene una demanda ascendente. Su fruta es de muy buen calidad tanto para exportación como para el mercado nacional. Presenta plantas de día neutro, moderadamente vigorosas con alta resistencia a condiciones climatológicas adversas, además de que posee altos rendimientos. El fruto es grande de excelente sabor, color rojo interno y externo. Es tolerante a la mayoría de patógenos en el suelo (*Verticillium*, *Phytophthora*), moderadamente tolerante a cenicilla (*Sphaerotheca macularis*) y araña roja (CONAFRE, 2012).

4.2.3 Sistema de producción.

Actualmente uno de los sistemas de producción para el cultivo de fresa es bajo condiciones de invernadero. La ventaja del sistema de invernadero sobre el método tradicional a cielo abierto, es que, bajo invernadero, se establece una barrera entre el medio ambiente externo y el cultivo, esta protección permite al agricultor controlar la temperatura, la cantidad de luz y aplicar efectivamente el control químico y biológico para proteger el cultivo (Zaragoza-Nieto, 2013).

En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas (Burés, 1997). Cabe mencionar que el sustrato es muy buena opción para la producción de cultivos sin suelo, siendo esta una alternativa para los cultivos de gran potencial en la actualidad, como lo es la fresa.

La producción de fresa que se obtiene en invernadero duplica la existente en campo. El rendimiento que se obtiene por hectárea a cielo abierto es de 15 toneladas al año, mientras que en invernadero es de aproximadamente 40 t/ha. Además de que permite producir frutilla en épocas de lluvia o heladas, cuando en campo es muy poco probable o complicado. Con las lluvias la tierra se adhiere a los frutos y reduce su aspecto succulento, por lo que es difícil introducirla a la venta. Además, las esporas de los hongos que se encuentran en el suelo provocan su pudrición, y esto disminuye la producción hasta en un 50 por ciento (Agroindustria, 2006).

4.2.4 Nutrición.

Su crecimiento y productividad están determinados por una adecuada fertilización en elementos, como N, K, Ca y P, siendo el P un elemento de gran importancia, en diversos procesos fisiológicos (Galindo-López *et al.*, 2018). El P es un macronutriente esencial para todos los seres vivos, forma parte de estructuras biológicas, participa en procesos celulares y su ausencia repercute negativamente en el crecimiento y en el desarrollo de las plantas (Kondracka y Rychter, 1997).

Dentro de las funciones del P en la fresa esta la función de transferencia de energía para la planta a través del ATP y forma parte de ácidos nucleicos así como también ayuda en el crecimiento radical, floración, formación de frutas y semillas. Cuando hay deficiencia de P se presentan síntomas como: crecimiento lento, raíz escasa, pigmentación púrpura en hojas viejas y reduce la floración. El pH y la CE son dos factores muy importantes para la disponibilidad de nutrientes en la planta, para ello es importante tener en cuenta que el rango óptimo de pH para este cultivo en sustrato es de 5.8 - 6.2 y la CE 1.5–2 dS·m⁻¹. Cabe mencionar que a un pH mayor a 6.6 disminuye la solubilidad de algunos nutrientes como el Fe, Mn y P (Eloy-Molina ,2018).

4.2.5 Comercialización.

La producción mundial de berries alcanzó un poco más de 11 millones de toneladas en 2013, lo que representa un aumento de 5.3% respecto a 2012. Dicho aumento ocurrió debido al incremento en la producción de China, Estados Unidos, Rusia, Polonia y México. La evolución reciente del mercado mundial de las berries muestra signos positivos pues la producción y el comercio internacional han crecido considerablemente. Con respecto a la fresa, las exportaciones mundiales en 2012 fueron de 852,354 toneladas con la participación principal de España, Estados Unidos y México; en contraparte, las

importaciones mundiales fueron de 918,438 toneladas; Estados Unidos, Canadá y Alemania importaron los volúmenes más grandes de fresa (FIRA,2016). Actualmente Michoacán, Baja California, Guanajuato, Baja California Sur y Estado de México, son los cinco principales estados productores de fresa en México, que en su conjunto, aportan el 99% de la producción total. Michoacán contribuye con el 68.7% del volumen total; Baja California, 17.9%; Guanajuato, 9.4%; Baja California Sur, 1.9% y el Estado de México, 1.2% (SIAP, 2017).

El 52.21% de la producción nacional se destina al mercado externo, por lo que la fresa es un producto exitoso en el comercio internacional. 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. Este cultivo ha adquirido reconocimiento en productos agroindustriales, principalmente en las mermeladas, ya que la que es elaborada en base de fresa representa el 85.5 % del consumo nacional de éstas (SIAP, 2017).

Actualmente se satisface 100% de los requerimientos nacionales con producción interna; asimismo, las importaciones mundiales han aumentado 35.55% en la última década, lo que ha generado un incremento en las exportaciones mexicanas principalmente con destino a Estados Unidos y Canadá. La estacionalidad de las exportaciones muestra que febrero, marzo y abril son los meses con mayor flujo comercial al extranjero. México se posiciona en el segundo lugar de los principales exportadores mundiales. En el 2030, se estima un aumento de la demanda mundial de 1,739.12 a 2,388.03 millones de toneladas (un crecimiento acumulado de 34.44%), mientras que la producción nacional de fresa tiene la capacidad de incrementarse de 468.25 a 592.03 millones de toneladas, lo cual representa un crecimiento acumulado de 26.44% (SAGARPA, 2017).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del área experimental.

La presente investigación se realizó en un invernadero del Área Experimental del Departamento de Producción de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México, ubicada geográficamente en Latitud Norte 25° 21´, Longitud Oeste 101° 01´ y a una altura de 1742 msnm

5.2 Metodología.

5.2.1 Material vegetal.

Se utilizaron plántulas de fresa de la variedad Albión, adquiridas en Jacona Michoacán. Es una planta herbácea y perenne, tiene un sistema radical de forma fasciculado (no tiene raíz principal), se compone principalmente de raíces y raicillas que llegan a una profundidad aproximada de 30 cm a 40 cm, su color es un café oscuro y son perennes, el tallo es corto y aéreo, está constituido por un eje central llamado corona (totipotencial) en donde se forman las flores y el pedúnculo de las hojas con numerosas escamas, las hojas son pinadas, trifoliales y de forma ovalar con un color verde oscuro, el fruto proviene de una sola flor y está formado por aquenios monocarpicos, indehiscente, secos y de una sola semilla, el fruto tiene varias formas, pero la que más predomina en la variedad Albión es la forma cónica o en diamante (Gómez-Martínez, 2006).

5.2.2 Instalación del experimento.

Se utilizaron bolsas de plástico, con un volumen de 5 L cada una, las cuales se llenaron con la combinación de 3 sustratos (peat moss, fibra de coco y perlita con un porcentaje de 35%, 35% y 30% respectivamente) y la incorporación de RF.

Cuadro 1. Composición química de la RF que se ocupó para el experimento

Elemento	Composición Max	Composición Min
Pentóxido de fósforo (P_2O_5)	32 %	19%
Carbonato de calcio ($CaCO_3$)	23.44%	21.33%
Sulfato (SO_4)	15.33%	10.22%

5.2.3 Trasplante.

El trasplante fue el 27 de junio del 2017, ese día se sacaron las plántulas del medio de crecimiento, para así dejar la raíz limpia, al momento del trasplante se hizo un espacio considerable en las bolsas ya con los 5 L de sustrato para extender la raíz verticalmente, después de eso se tapó la raíz, cuidando que la corona quedara ligeramente por encima del sustrato para así evitar la presencia de hongos (Angulo, 2009). La distancia entre plantas fue de 50cm con un total de 4 plantas por tratamiento que fueron etiquetadas con el tratamiento y la repetición correspondiente.

5.2.4 Tratamientos.

Los tratamientos evaluados fueron tres dosis de RF (0.0 g, 1.0 g y 2.0 g), estas dosis fueron incorporadas al sustrato (pet moss, fibra de coco y perlita) previamente mezcladas. Para cada tratamiento hubo 4 repeticiones. Para los riegos se preparó una solución nutritiva que fue diseñada a partir de modificaciones de la solución Steiner (1961), con fósforo soluble a 10ppm.

5.2.5 Manejo del cultivo.

Riego. Los riegos se efectuaron manualmente, de acuerdo a las necesidades hídricas de la planta aplicando un volumen suficiente para mantener un drenaje del 25-30%. Al cuarto día después del trasplante se iniciaron los riegos con solución nutritiva, por lo regular las mediciones de drenaje y riego se realizaron en las mañanas, al principio el requerimiento de agua era menor, esto tuvo que ver con los días nublados en el mes de julio por lo cual el riego solo fue una vez a la semana, después los riegos se realizaron cada tercer día.

La solución nutritiva fue preparada en tambos de 80 L que consistió en 70% agua de la llave y 30% de agua destilada, se disolvió cada fertilizante siguiendo este orden; ácidos, sulfatos, cloruros, nitratos y por último los micronutrientes, esto para evitar que se precipitaran los elementos. La solución nutritiva fue tapada para evitar el contacto directo con el sol. El pH de la solución nutritiva se mantuvo en un rango de 5.8 - 6.2 y CE de 1.2 – 1.5 dS·m⁻¹.

Cuadro 2. Dosis de los fertilizantes en Meq L⁻¹ para la preparación de la solución nutritiva con fosforo soluble a 10ppm.

	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl
Ca	2.12			
K	1		0.8	1.623
Mg			0.25	
H	2.88	0.32		

Control de plagas y enfermedades. Durante el cultivo se presentaron plagas como mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) y araña roja (*Tetranychus urticae*), para el primer caso se aplicó CONFIDEL (ingrediente activo Imidacloprid), fueron 0.6ml por cada litro de agua, en este caso se ocuparon 3 L de agua así se ocupó 1.8ml del producto, también se utilizó el producto Danapyr (ingrediente activo Dimetoato), en esta se ocuparon 4.5ml en 3 L de agua, la aplicación consistió en cada mes, ya que también se ocupó un repelente casero que consistió en una cabeza de ajo por cada litro de agua, para así evitar el exceso de químicos.

Para el control de la araña roja (*Tetranychus urticae*) se recurrió al producto OBERON (ingrediente activo spiromefisen) del cual se ocuparon 1.5ml por cada litro de agua, en este caso fueron 4.5ml en 3 L de agua, la aplicación fue cada dos meses debido a que la incidencia fue menor. De igual manera se utilizó un método casero la cual consistió en agregar 1ml de jabón líquido en cada litro de agua, ocupando solo la espuma (sirve para ahogar a las arañas) para aplicarlo en las hojas (principalmente en el envés) con incidencia de araña roja, dicha actividad se realizaba en las tardes que era cuando había mayor presencia de la araña roja.

En lo que respecta al control de hongos, se optó por hacer la aplicación de un fungicida, que lleva por nombre Botran (ingrediente activo: Dicloran + Azufre), debido a que se presentó daño en la fruta por *Botrytis cinerea* en las ultimas cosechas, solo se aplicó en una ocasión debido a que el daño fue menor, se ocupó la dosis más baja que fue de 1ml por cada litro de agua.

Labores culturales. La labor inicial que se realizó en el experimento fue la poda de formación que consiste en eliminar las primeras flores (desflora) que aparecen, esto para darle más vigor a la planta estimulando la formación de nuevas raíces las cuales van a incidir en la producción (Angulo, 2009).

De igual manera se realizó la poda de hojas viejas y estolones, así como también el raleo de flores y frutos. La finalidad de lo mencionado anteriormente fue para mantener uniformidad en la cosecha (Tucuch-Pérez *et al.*, 2017). La poda de hojas viejas fue muy importante ya que es en donde se presentó mayor susceptibilidad a la araña roja (poda fitosanitaria). También se realizó la poda de producción que consistió en eliminar los brotes productivos que ya dieron frutos para dar paso a los nuevos brotes vegetativos y reproductivos los cuales a su vez estimularon las nuevas inflorescencias y estolones secundarios (Angulo, 2009).

Control de malezas. Las malezas que se encontraban dentro del invernadero fueron eliminadas manualmente, para evitar que fueran hospederos de algunas plagas.

5.2.6 Variables evaluadas.

Cosecha. El experimento finalizó a los 171 días después del trasplante (ddt). Las cosechas fueron a partir de los 106 (ddt) estas se realizaron cuando se detectó el color rojo en los frutos, en cada cosecha se contabilizó el número de frutos y para determinar el peso de frutos se ocupó una balanza analítica.

Altura de planta. La altura de planta se determinó desde la base hasta la parte más apical de la misma, con la ayuda de una cinta métrica se midió y registró en cm.

Peso fresco. Para obtener el peso fresco, lo que se realizó fue separar los órganos de la planta; raíz, corona, y hojas para así obtener los pesos de cada una de ellas mediante una balanza analítica.

Longitud y volumen de raíz. La longitud se midió con una cinta métrica, mientras que el volumen se midió con una probeta con capacidad de 1 L, en cada una de las mediciones se agregaron previamente 500ml de agua, después se sumergió cada una de las raíces, y por medio del método de desplazamiento se obtuvo el dato del volumen en ml.

Diámetro de corona. Para medir esta variable se ocupó un vernier analógico.

Peso seco. Las plantas fueron sometidas a un lavado del sistema radicular con agua para eliminar el exceso de sustrato; después las plantas se separaron en raíz, corona y hojas. Las partes separadas se colocaron en bolsas de papel que posteriormente se introdujeron a un horno de secado a 65°C durante 72 horas para obtener el peso de la materia seca de cada órgano, utilizando una balanza analítica. Finalmente se realizó una suma de los pesos secos para así obtener el peso seco total (PST).

5.2.7 Diseño experimental y análisis estadístico.

El diseño experimental fue completamente al azar (DCA) con cuatro repeticiones por cada tratamiento. Los datos obtenidos se sometieron en un análisis de varianza (ANOVA) y se realizó una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) para ello se utilizó el programa SAS (Statistical Analysis Systems).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las diferentes variables evaluadas en el cultivo de la fresa fueron influenciadas significativamente por las diferentes dosis de RF, a excepción en las variables; diámetro de corona, volumen de raíz y peso promedio de fruto ya que no fueron afectadas por las dosis de esta roca mineral (Cuadro 3 y 4). Lo anterior coincide con Jiménez (2018), ya que reporta que no se encontraron diferencias significativas en el peso del fruto de frambuesa con la aplicación de RF en sus diferentes dosis. De igual manera, Chávez y Cerrato (2000), señalan que no hubo efecto positivo en volumen de raíz y diámetro de tallo del cultivo de naranjo con la aplicación de RF.

El peso fresco de raíz de la planta fue favorable con la adición de RF, ya que con la dosis de 1.0 g aumentó 28.46% y la dosis 2.0 g el aumento fue del 60% en comparación con las plantas testigo, similar efecto se observa en el peso fresco de corona debido a que la dosis de 1.0 g y 2.0 g del mineral aumentó a 29.38% y 35 % respectivamente (Cuadro 3).

De igual manera para la longitud de raíz se presenta un aumento en cada uno de los tratamientos ya que con las dosis de 1.0 g aumentó a 7% y para 2.0 g fue de 12%, aunque cabe mencionar que el aumento fue menor en comparación con las demás variables (Cuadro 3), mencionado lo anterior se concuerda con Torres y de Prager (2014), quienes indican que es notable el efecto de la adición de RF sobre el crecimiento de la raíz de ají (*Capsicum annum*). De igual manera Ramírez (2006), encontró un efecto significativo de la fertilización con RF sobre la longitud radical en cultivares de maíz. Contrario a lo encontrado en el experimento reportado por Prado-Flores (2017), pues señalan que al aplicar mayor cantidad de RF las raíces de maíz disminuyeron en cuanto a crecimiento.

Así mismo el peso fresco de las hojas fue mayor con la incorporación de RF en el medio de crecimiento de las plantas, debido que la dosis de 1.0 g aumento 68.09% y con 2.0 g el incremento fue igual a 89.57% en comparación a las plantas que recibieron 0 g de RF (Cuadro 3). En el cultivo de ají (*Capsicum annuum*) presentó un efecto notable en el crecimiento del área foliar con la aplicación de RF (Torres y de Prager, 2014).

Cuadro 3. Efecto de la RF en el crecimiento y desarrollo de las plantas de fresa cv. Albión

RF(g)	Peso fresco de raíz (g)	Peso fresco de corona (g)	Peso fresco de hoja (g)	Longitud de raíz (cm)	Volumen de raíz (ml)	Diámetro de corona (cm)
0	34.5c	29.27b	69.84b	33.50b	50.00a	3.70a
1	44.32b	37.87a	117.4a	35.75ab	49.00a	3.82a
2	55.2a	39.5a	132.4a	37.50a	53.75a	4.60a
ANVA $P \leq$	0.001	0.003	0.004	0.01	0.30	0.09
Tukey ^{0.05}	5.7	5.61	36.05	2.47	8.96	1.09
CV (%)	5.88	7.28	15.59	3.21	8.11	12.52

ANVA: Análisis de varianza. Las letras a, b y c representan las categorías obtenidas de la comparación de medias. CV: Coeficiente de Variación.

El peso seco de raíz se incrementó con la dosis de 1.0 g de RF en un 10% y con la dosis de 2.0 g fue de 25%, en comparación con las plantas testigo (cuadro 4). De igual manera en el peso seco de corona hay una diferencia significativa entre tratamientos, debido a que aumentó 13.45% con 1.0 g y 29.65% con 2.0 g RF a diferencia de las plantas que no recibieron RF (cuadro 4). El peso seco de hoja se aumentó considerable con la incorporación de RF pues, con 1.0 g y 2.0 g el incremento fue de 50.39% y 64.29% respectivamente (cuadro 4).

Lo anterior concuerda con lo reportado por Guachamín y Calvache (2001), pues mencionan que los niveles más altos de RF incrementaron la acumulación de materia seca de las plantas de *Lolium perenne*. En los cultivos de papa y sorgo se reporta que la aplicación de RF permitió obtener mayor acumulación de materia seca (Soca y villareal, 2015).

Contrario a lo anterior Tucuch-Pérez *et al.* (2017), indican que las plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) desarrolladas con RF en mayores cantidades disminuye el peso seco de tallo, hoja y peso seco total, esto puede deberse a una toxicidad debido a un exceso del P por la cantidad de RF utilizada. Dicho lo anterior se coincide con Choi y Lee (2012), ya que señalan que existe una reducción del PS de la parte aérea de plantas de fresa al aumentar los niveles de P.

El número de frutos también tuvo diferencia significativa, pero en esta ocasión lo que se mostró fue una disminución del 5% con 2.0 g RF pero, con 1.0 g de RF se incrementó 15% (Cuadro 4). Amacifuén-Flores (2012), reporta que a una concentración equilibrada de RF se logra un efecto positivo en cuanto al número de frutos en tomate. Por su parte, Medeiros *et al.* (2015), indican que la fresa es una especie en la que la nutrición fosfórica es muy importante, ya que influye sobre el número de frutos por el suministro de altos niveles de este nutrimento.

Cuadro 4. Efecto de la RF en la biomasa, peso y número de frutos de las plantas de fresa cv. Albión

RF(g)	Peso seco de raíz (g)	Peso seco de corona (g)	Peso seco de hoja (g)	Numero de frutos	Peso promedio de fruto (g)
0	6.20b	6.17b	18.85b	5.0ab	24.31a
1.0	6.82ab	7.0ab	28.35a	5.75a	24.11a
2.0	7.75a	8.0a	30.97a	4.75b	25.33a
ANVA $P \leq$	0.026	0.017	0.015	0.043	0.59
Tukey ^{0.05}	1.27	1.34	9.13	0.95	3.38
CV (%)	8.46	8.79	16.16	8.53	6.34

ANVA: Análisis de varianza. Las letras a, b y c representan las categorías obtenidas de la comparación de medias. CV: Coeficiente de Variación.

La altura de las plantas de fresa fue mayor con 2.0 g de RF en un 12% comparadas con las plantas testigo, y con 1.0 g tan solo fue superior con 3% (Figura 1 y anexo 1). Con lo que se menciona anteriormente se coincide con Akande *et al.* (2011), ya que mencionan que la aplicación de RF mejora el crecimiento de las plantas de *Hibiscus cannabinus L.* Contrario a lo que reportan Chávez y Cerrato (2000), ya que de acuerdo a los resultados de la investigación que realizaron, la RF no tuvo efecto significativo en la altura de las plantas de naranjo.

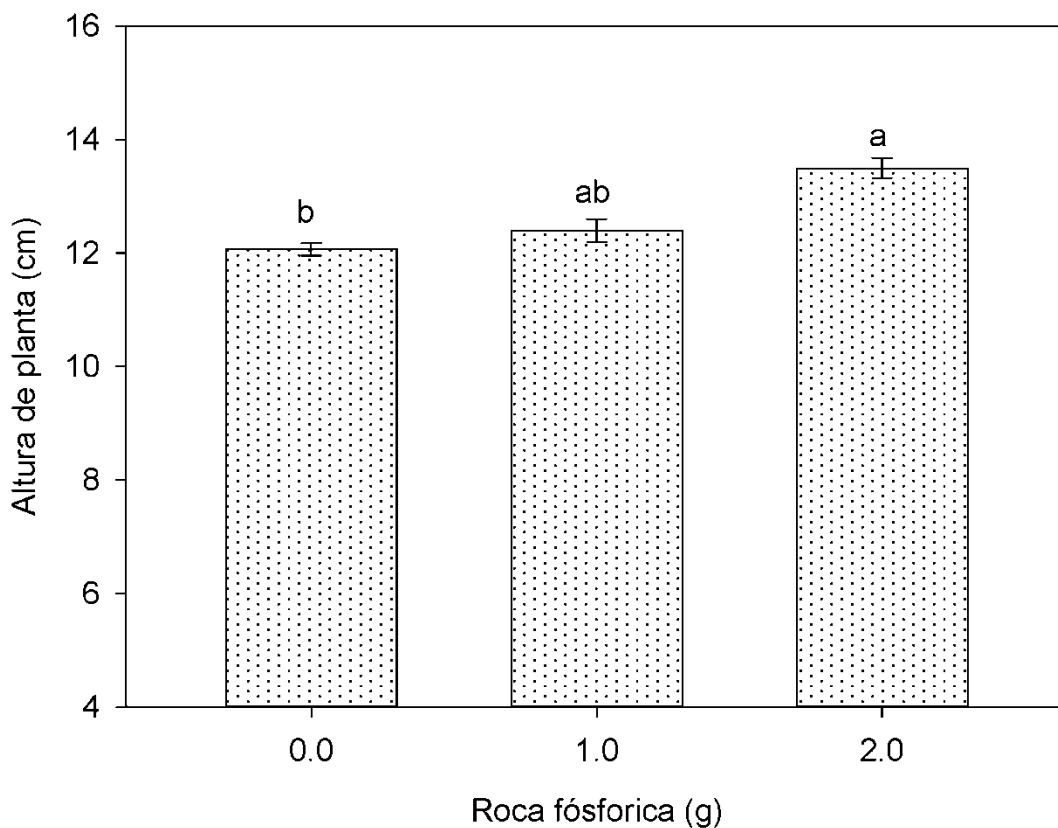


Figura 1. Efecto de diferentes dosis de RF en la altura de la planta de fresa cv. Albión. Las letras a y b representan las categorías obtenida de la comparación de media con Tukey ($\alpha \leq 0.05$). Las barras indican el error estándar del tratamiento. Análisis de varianza ($\alpha \leq 0.05$).

El peso seco total de planta fue mayor con la aplicación de 1.0 g y 2.0 g de RF en comparación con las plantas testigo (figura 2) pero fue aún mayor con la dosis de 2.0 g ya que supero un 50% y la de 1.0 g fue un 35%. Se coincide con Torres y de Prager (2014), quienes reportan que se presentó mayor producción de materia seca en los tratamientos que recibieron la aplicación de RF en el cultivo de ají (*Capsicum annum*) con la dosis más alta que fue de 24 g/unidad experimental.

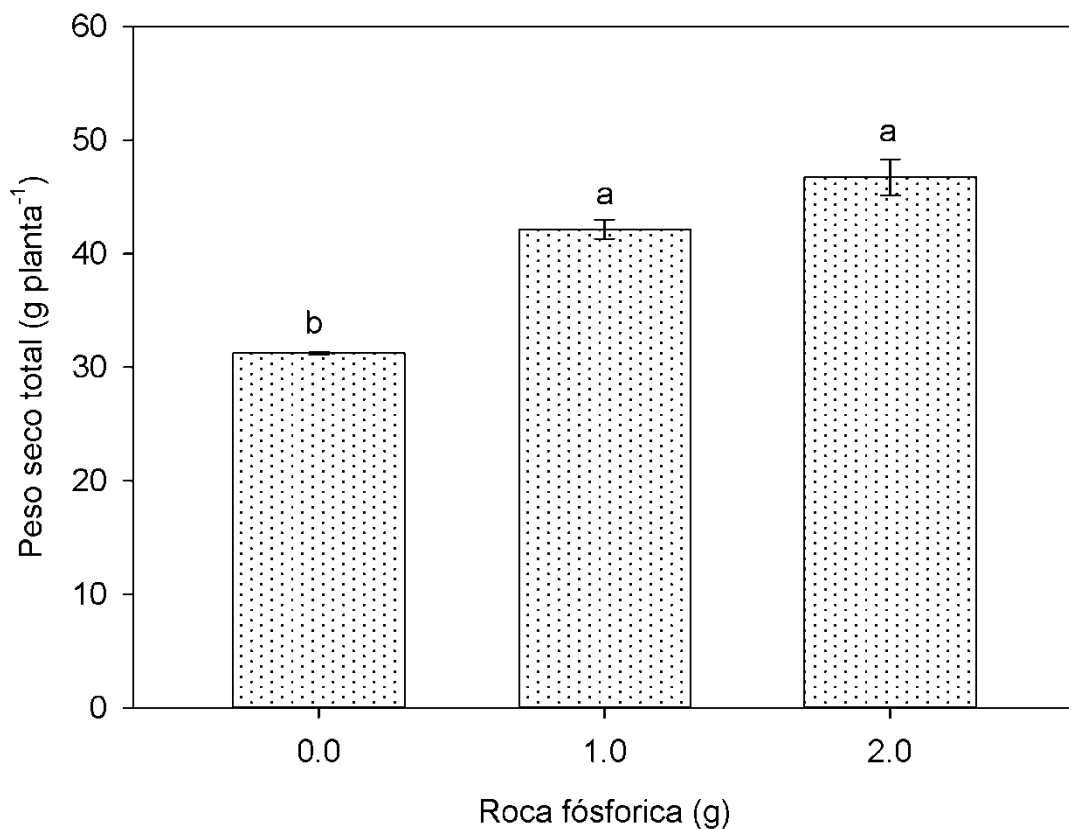


Figura 2. Efecto de diferentes dosis de RF en el peso seco total de la planta de fresa cv. Albión. Las letras a y b representan las categorías obtenida de la comparación de media con Tukey ($\alpha \leq 0.05$). Las barras indican el error estándar del tratamiento. Análisis de varianza ($\alpha \leq 0.01$).

El rendimiento de las plantas de fresa fue mayor con la aplicación de 1.0 g de RF en un 14% comparadas con las plantas testigo, con 2.0 g de RF se redujo 2.18% el rendimiento respecto al testigo, pero, estos mismos 2.0 g de RF disminuyeron un 14% en relación con las plantas que recibieron 1.0 g de RF (Figura 3). Con esto se puede decir que la RF es muy efectiva en concentraciones adecuadas, ya que a una mayor concentración el rendimiento disminuye. Dicho lo anterior se coincide con lo que reporta Chávez-Centeno (2015), ya que en su investigación concluyó que la dosis de 500 kg ha⁻¹ de RF aumentó el rendimiento del cultivo de lechuga, cabe mencionar que las dosis evaluadas fueron 0, 250, 500, 750 y 1000 kg ha⁻¹, esto quiere decir que se obtuvo un alto en rendimiento con una dosis adecuada. Contrario a esto fue señalada por Aguilar-Acuña *et al.* (2003), quienes reportan que la aplicación de 88 y 176 kg ha⁻¹ de RF no tuvo efecto significativo en el rendimiento del cultivo de la papa.

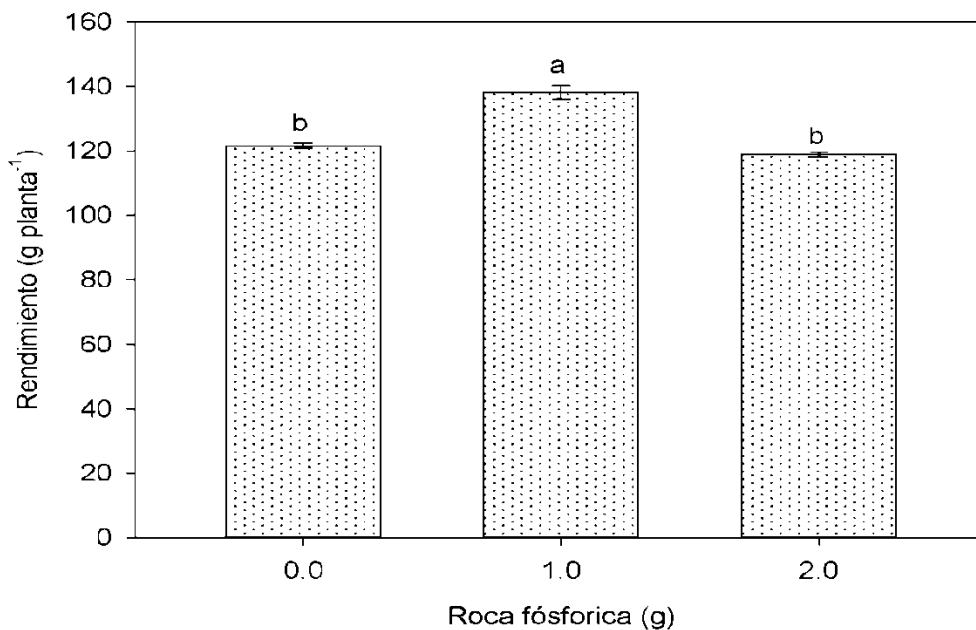


Figura 3. Efecto de diferentes dosis de RF en el rendimiento de la planta de fresa cv. Albión. Las letras a y b representan las categorías obtenidas de la comparación de media con Tukey ($\alpha \leq 0.05$). Las barras indican el error estándar del tratamiento. Análisis de varianza ($\alpha \leq 0.01$).

Entre el rendimiento y el peso seco total de planta existe una relación negativa entre estos, ya que con mayor peso seco hubo menor rendimiento, pues con 42.18 g de peso seco se incrementó el rendimiento pero, superior o inferior a esto fue menor el rendimiento por planta (Figura 4 y anexo 2). Este resultado es contrario a lo que reportan Tucuch-Pérez *et al.* (2017), quienes señalan que a mayor peso seco de las plantas de fresa registran mayor el rendimiento de fruto. En palma de aceite se señala que a mayor peso seco (biomasa seca) presenta mayor rendimiento del cultivo (Rahman, 2010).

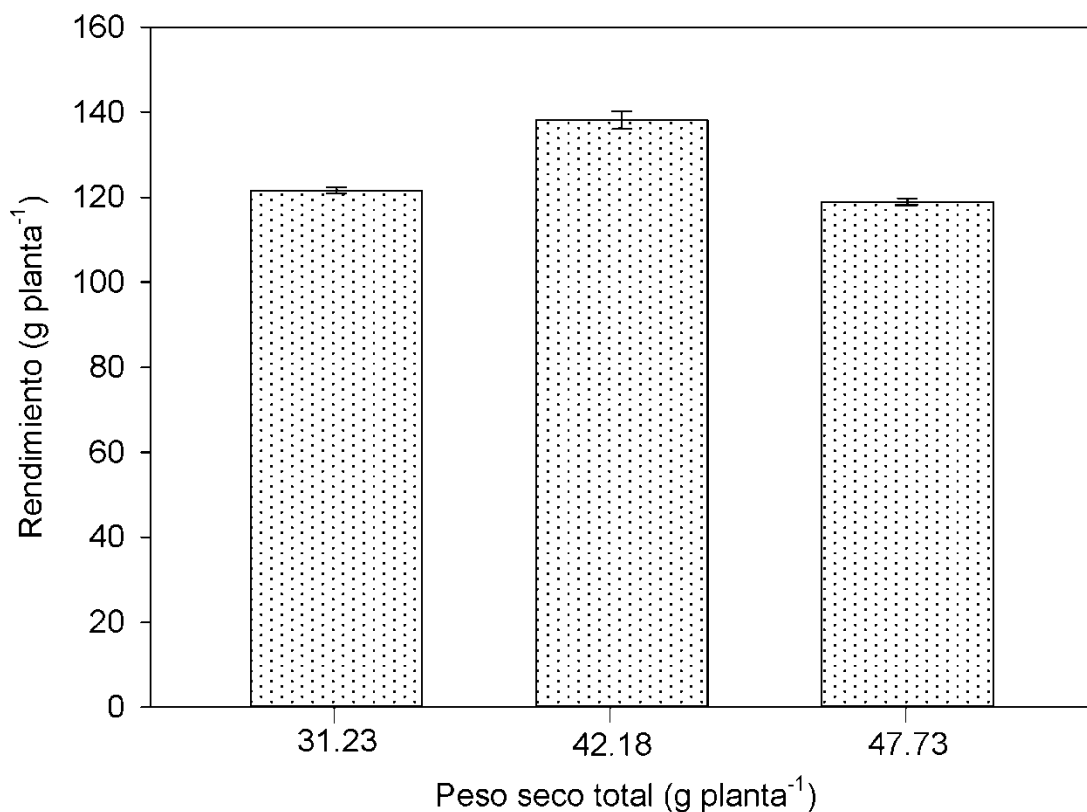


Figura 4. Comportamiento del rendimiento, con respecto al peso seco total de las plantas de fresa cv. Albión, al aplicar RF. Las letras a y b representan las categorías obtenida de la comparación de media con Tukey ($\alpha \leq 0.05$). Las barras indican el error estándar del tratamiento. Análisis de varianza ($\alpha \leq 0.01$).

VII. CONCLUSIÓN

- ❖ En general una aplicación adecuada de RF mejora el crecimiento y rendimiento de las plantas de fresa.
- ❖ La dosis de 2.0 g de RF influye positivamente en el crecimiento, en el peso seco total de las plantas, así como también en la longitud de raíz.
- ❖ En rendimiento y número de frutos el mejor resultado se obtuvo con la dosis de 1.0 g de RF.

7.1 Recomendaciones.

- ❖ De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda realizar más investigaciones sobre la aplicación directa de RF, principalmente en cultivos de mayor demanda, como lo es la fresa, ya que se necesita realizar un buen uso de las fuentes de P, para tener un manejo sustentable de este elemento.
- ❖ Así como también se recomienda utilizar bacterias solubilizadoras de P para que así se obtengan mejores resultados, esto debido a que la fresa es un cultivo de ciclo corto, y como se sabe la RF es de lenta solubilización.

VIII. LITERATURA CITADA

- Agroindustria**, 2006. Fresa en invernadero una opción de empresa familiar. <http://www.2000agro.com.mx/agroindustria/fresa-en-invernadero-una-opcion-de-empresa-familiar/> (17, abril, 2019).
- Aguilar-Acuña**, J.L., López-Morgado R., Núñez-Escobar R., y Gardezi A.K. 2003. Encalado y fertilización fosfatada en el cultivo de papa en un andosol de la sierra veracruzana. *Terra Latinoamericana*. 21(3), 417-426.
- Akande**, M.O., Makinde E.A., Aluko O.A., Oluwatoyinbo F.I., y Adediran J.A. 2011. Efecto de la fertilización con fosfato sobre el crecimiento y producción de kenaf (*Hibiscus cannabinus L.*). *Tropical and subtropical agroecosystems*. 14(2), 559-565.
- Amacifuén-Flores**, J.C. 2012. Respuesta a la aplicación de dosis de roca fosfórica con humus de lombriz en el cultivo de tomate (*Solanum Lycopersicum*) var. "río grande", en un suelo ácido del fundo Aucaloma de la UNSM – Lamas. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de San Martín. Tarapoto, Perú. 87p.
- Angulo**, C. R. 2009. *Fragaria ananassa* Crop Science Colombia Bayer. https://www.cropscience.bayer.co/~media/Bayer%20CropScience/Peruvian/Country-Colombia-Internet/Pdf/Cartilla-FRESA_baja.ashx (20, junio, 2019).
- Arana-Coronado**, J.J., y Trejo-Pech C.O. 2014. El sector de la fresa en México, costos de transacción económicos y gestión de cadenas de abastecimiento. *Custos e Agronegocio*. 10(2), 125-155.
- Berardo**, A., y Marino M.A. 1993. Eficiencia relativa de un fosfato natural en pasturas cultivadas en molisoles al sudeste bonaerense. *Actas 14º Cong. Arg. De la Ciencia del Suelo*.

- Black**, C.A. 1968. Soil-plant relationships. New York, Estados Unidos de América, John Wiley y Sons.
- Blanco**, E.L., y Reyes I. 2018. Aplicación de un biosustrato compuesto por microorganismos y roca fosfórica sobre el cultivo de dos variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Revista de la Facultad de Agronomía. 35(4), 408-434.
- Burés**, S. 1997. Sustratos. Ed. Agrotecnicas S.L., Madrid.
- Chávez**, M.G., y Cerrato R.F. 2000. Roca fosfórica y glomus sp. en el crecimiento de naranjo agrio. Terra Latinoamericana. 18(4), 361-367.
- Chávez-Centeno**, V. 2015. El efecto en el cultivo de lechuga del guano de islas y de las rocas fosfóricas incubadas en microorganismos. Tesis de maestría. Universidad de Piura. Piura, Perú. 51p.
- Chien**, S.H. 1972. Ion-Activity products of some apatite minerals. 160p.
- Choi**, J.M., and Lee C.W. 2012. Influence of elevated phosphorus levels in nutrient solution on micronutrient uptake and deficiency symptom development in strawberry cultured with fertigation system. Journal of Plant Nutrition, 35(9), 1349–1358.
- CONAFRE**, 2012. Plan rector nacional. 2012. Comisión Nacional de la Fresa. CONAFRE. Zamora Michoacán. 43p.
http://dev.pue.itesm.mx/sagarpa/nacionales/EXP_CNISP_FRESA/PLAN%20RECTOR%20QUE%20CONTIENE%20PROGRAMA%20DE%20TRABAJO%202012/PR_CNISP_FRESA_2012.pdf (4, abril, 2019).
- Cordell**, D., Drangert J.O., and White S. 2009. The story of phosphorus: global food security and food for thought. Global Environmental Change. 19(2), 292–305.
- Dana-Hurlbut**, 1959. Manual de Mineralogía. Reverté, S.A. 2a Edición. México. 578p.

- De Hernández, I.T., y Merino H.** 1971. Composición química de rocas fosfóricas de México y su utilización como fuente de minerales en nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. (15, 16), 15-21.
- Eloy-Molina,** 2018. Fertilización de Fresa. Centro de Investigaciones Agronómicas. Costa Rica. 49p.
<http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/FERTILIZACION%20DE%20FRESAS%202018.pdf> (11, mayo, 2019).
- FAO,** 2017. El uso de fertilizantes sobrepasará los 200 millones de toneladas en 2018. Food and Agriculture Organization. FAO.
<http://www.fao.org/news/story/es/item/277654/icode/> (16, febrero, 2019).
- FIRA,** 2016. Panorama agroalimentario berries. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. FIRA. México D.F. 42p.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200633/Panorama_Agroalimentario_Berries_2016.pdf (23, mayo, 2019).
- Galindo-López, F., Pinzón-Sandoval E.H., Quintana-Blanco W.A., Serrano P.A., y Galán M.** 2018. Evaluación de un termofosfato en el crecimiento y producción de fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*) cv.Albión. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*. 21(1), 61-69.
- Gaucín, D.** 2016. El mercado de los fertilizantes.
<https://www.eleconomista.com.mx/opinion/El-mercado-de-los-fertilizantes-l-20160210-0004.html> (15, febrero, 2019).
- Gómez-Martínez, J.A.** 2006. Descripción del comportamiento de insectos y enfermedades asociadas al cultivo de fresa (*Fragaria spp, L.*) en el municipio de la Sabana, Departamento de Madriz. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Agraria, UNA. Managua, Nicaragua. 114p.

- Grupo fosfatos**, 2019. Fertilizantes en el mundo. <http://fosfatos.gl.fcen.uba.ar/index.php/fertilizantes/consumo-y-reservas/> (19, marzo, 2019).
- Guachamín**, M., y Calvache M. 2001. Eficiencia agronómica de la roca fosfórica napo preacidulada en rye grass (*Lolium Perenne*) en dos suelos ácidos, bajo condiciones de invernadero. Tesis de Licenciatura. Universidad Central. Quito, Ecuador. 10p.
- Hagin**, J., and Harrison R. 1993. Phosphate rocks and partially-acidulated phosphate rocks as controlled release P fertilizers. *Fertilizer Research*. 35(1-2), 25–31.
- Haifa**, 2019. Controlled release nutrition for strawberries. 25p. <https://www.haifa-group.com/sites/default/files/article/CRF-for-strawberries-Updated.pdf> (28, junio, 2019).
- Hancock**, J.F., Sjulín T.M., and Lobos G.A. 2008. Strawberries. *Temperate Fruit Crop Breeding*. 393–437.
- Inforural**, 2014. Plan de fertilizantes; las amenazas y los riesgos del fósforo. <https://www.inforural.com.mx/plan-de-fertilizantes-las-amenazas-y-los-riesgos-del-fosforo/> (22, marzo, 2019).
- Jiménez**, L.D. 2018. Contenido nutrimental y nutracéutico en frutos de frambuesa en un sistema de cultivo sin suelo con enmiendas de diferentes fuentes minerales. Tesis de Maestría. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 46p.
- Kondracka**, A., and Rychter A.M. 1997. The role of pi recycling processes during photosynthesis in phosphate-deficient bean plants. *Journal of Experimental Botany*. 48 (7), 1461-1468.
- León**, L. 1991. La experiencia del centro internacional para el desarrollo de fertilizantes en el uso de rocas fosfóricas en América Latina. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 17(1-4), 49-69.

- Medeiros**, R., Pereira W., Rodrigues R., Nascimento R., Suassuna J., Dantas T. 2015. Growth and yield of strawberry plants fertilized with nitrogen and phosphorus. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 19(9), 865-870.
- Mutti**, M.J. 2018. El fósforo como macronutriente esencial para la producción agroalimentaria. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de La Plata, UNLP. La Plata, Buenos Aires.153p.
- Nuñez**, E.R. 1989. Aplicación directa de roca fosfórica en suelos de México. <https://es.slideshare.net/AcademiaDeIngenieriaMx/aplicacion-directa-de-roca-fosforica-en-suelos-de-mexico> (10, julio, 2019).
- Olivera**, J. 2003. El cultivo de la fresa en el Perú. Instituto Nacional de Investigación Agraria, INIA. Lima, Perú. 53p.
- Prado-Flores**, J.C. 2017. Efecto de proporciones de roca fosfórica: flor de azufre con dos fuentes orgánicas, en el rendimiento de dos cultivos indicadores, en suelo alcalino-ayacucho. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional De San Cristóbal De Huamanga. Ayacucho, Perú. 107p.
- Rahman**, Z. A. 2010. El papel del fósforo en el desarrollo sostenible de la palma de aceite (*Elaeis Guineensis*, Jacq.) Producción en suelos. 31, 1-14.
- Ramírez**, R. 2006. Eficiencia del uso del fósforo de la roca fosfórica por cultivares de maíz. *Interciencia*. 31 (1), 45-49.
- Richardson**, A.E., Barea J.M., Mcneill A.M., and Prigent-Combaret C. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil*. 321(1-2), 305–339.
- Rodríguez**, E. S. 2009. La historia del fósforo: una reflexión acerca de la seguridad alimentaria mundial. <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n4/r1.html> (18, marzo 2019).

- SAGARPA**, 2005. Plan rector sistema nacional fresa segunda fase: diagnóstico inicial base de referencia estructura estratégica. Secretaría de Agricultura, ganadería, desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SAGARPA. México DF. 48p. <https://www.yumpu.com/es/document/view/23405358/plan-rector-sistema-nacional-fresa-inforuralcommx> (18, julio, 2019).
- SAGARPA**, 2017. Fresa mexicana. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SAGARPA. México DF. 20p. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257075/Potencial-Fresa.pdf> (25, julio, 2019).
- Sánchez**, R.G. 2008. La red de valor fresa. Fundación Produce, Laser Impresores. 1ª Ed. Morelia, Michoacán, México. 17-108 Pp.
- SIAP**, 2017. Avance de siembras y cosechas resumen nacional por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. México. D.F. http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do (17, junio, 2019).
- Sierra**, C. 1990. Rocas fosfóricas: nueva fuente de P para pradera y cultivos. Boletín Técnico Remehue. Osorno, Chile. 159p.
- Soca**, M., y Villareal J.E. 2015. Influencia de zeolita y roca fosfórica sobre el desarrollo de los cultivos de sorgo y papa. Ciencia Agropecuaria. 23, 60-74.
- Sultenfuss**, J.H., and Doyle W.J. 1999. Better crops with plant food. Potash and Phosphate Institute America. 83(1), 3-40.
- Torres**, C.P., y de Prager M.S. 2014. Efecto de la aplicación de roca fosfórica y la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el crecimiento del ají (*Capsicum annum*). Acta Agronómica. 63(2), 1-13.

- Tucuch-Pérez**, M.A., Hernández-Pérez A., Valdez-Aguilar L.A., Pérez-Arias G.A., García-Santiago J.C., y Alvarado-Carrillo D. 2017. Aplicaciones de aluminio mantienen el crecimiento de fresa (*Fragaria x Ananassa Duch.*) suplementada con roca fósforica en condiciones de cultivo sin suelo. Terra Latinoamericana. 35(3), 193-201.
- UPME**, 2018. Roca Fosfórica. Unidad de Planeación Minero energética. UPME. Santiago, Chile. 51p. http://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Datos/mercadointer/Producto2_Roca_fosf_FINAL_12DIC2018.pdf (15, julio, 2019).
- Von Uexküll**, H.R., and Mutert E. 1995. global extent, development and economic impact of acid soils. Plant and Soil. 171(1), 1–15.
- Zapata**, F., y Roy R.N. 2007. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. Roma, Italia: FAO.
- Zaragoza-Nieto**, R.D. 2013. Evaluación de técnicas hidropónicas de producción en el cultivo de fresa (*fragaria x ananassa*) bajo invernadero. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Química Aplicada, CIQA. Saltillo, Coahuila. 85p.

IX. ANEXOS



Anexo 1. Efecto de la RF en la altura de las plantas de fresa cv. Albión.



Anexo 2. Efecto de la RF en la biomasa y rendimiento de la plantas de fresa cv. Albión.