

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



CONTENIDO NUTRIMENTAL Y NUTRACÉUTICO EN FRUTOS DE  
FRAMBUESA EN UN SISTEMA DE CULTIVO SIN SUELO CON ENMIENDAS  
DE DIFERENTES FUENTES MINERALES

Tesis

Que presenta DANIELA JIMÉNEZ LÓPEZ

como requisito parcial para obtener el Grado de:  
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

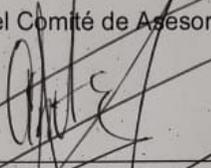
SALTILLO, COAHUILA

SEPTIEMBRE 2018

CONTENIDO NUTRIMENTAL Y NUTRACÉUTICO EN FRUTOS DE FRAMBUESA  
EN UN SISTEMA DE CULTIVO SIN SUELO CON ENMIENDAS DE DIFERENTES  
FUENTES MINERALES

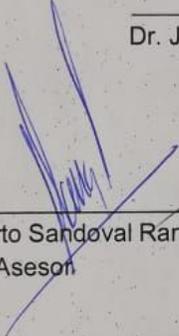
Tesis

Elaborada por DANIELA JIMÉNEZ LÓPEZ como requisito para  
Obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura con la supervisión  
y aprobación del Comité de Asesoría



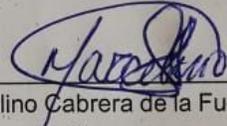
---

Dr. José Antonio González Fuentes  
Asesor Principal



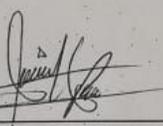
---

Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Asesor



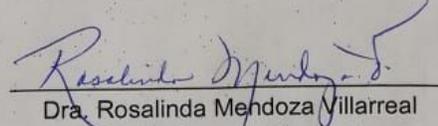
---

Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente  
Asesor



---

Dr. Armando Hernández Pérez  
Asesor



---

Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal  
Subdirectora de Postgrado  
UAAAN

SALTILLO, COAHUILA

SEPTIEMBRE 2018

## AGRADECIMIENTOS

A **DIOS**, quien me ha conservado con vida y salud, además de permitirme culminar con este proyecto de formación, gracias por darme la protección y guía en todo momento.

A la **UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO** que me abrió las puertas y me permitió seguir formándome como profesionista.

Al **CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA (CONACYT)**, por su apoyo brindado en el financiamiento de mis estudios de maestría.

Al **JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ FUENTES**, por brindarme la oportunidad de trabajar con ella, por su tiempo, apoyo, comprensión y paciencia en todo momento, pero sobre todo su amistad y confianza.

Al **DR. MARCELINO CABRERA DE LA FUENTE**, por sus sugerencias, observaciones, apoyo y cooperación para la realización de este proyecto.

Al **DR. ALBERTO SANDOVAL RANGEL**, por su apoyo y sugerencias otorgados en la realización de este trabajo.

Al **DR. ARMANDO HERNÁNDEZ PEREZ**, por su apoyo y participación en la realización de este proyecto.

A la **DRA. ROSA JULIA MEDRANO MACÍAS**, por su apoyo, amistad, asesoría y sugerencias para la realización de este trabajo.

A la **T. A. Martina de la Cruz Casillas**, por el apoyo y confianza brindados en el trabajo de laboratorio.

A mis compañeros de generación **Yolanda González, Abraham Romero, Franceli Cumplido, y Eliseo Cerón**, gracias por su amistad durante esta etapa.

A mis compañeros de posgrado: **Marco Villegas, Rafael Paredes, Uldarico Bigurra, Leonel Espinoza, Eduardo Treviño**, gracias por su amistad y apoyo.

## DEDICATORIAS

A mis padres **José Manuel Jiménez Sánchez y Teresa López Domínguez**

Por haberme dado la vida, por apoyarme en todo momento y estar siempre a mi lado, por sus regaños, por sus consejos y por la motivación constante que me ha permitido ser lo que soy, una persona de bien, pero sobre todo por su amor incondicional que día a día me demuestran. Muchas gracias por confiar y creer en mí.

A mis hermanas **Citlali Idalia y Sabrina Jiménez López**

Gracias por apoyarme y estar siempre conmigo en cada momento, y por sus consejos, que me impulsan para seguir adelante, muchas gracias hermanas las quiero mucho.

**A Israel Leon Calvario**

Por ser una persona especial para mí, apoyarme en todo este tiempo que pasamos juntos, por los buenos momentos que convivimos, por tu afecto y cariño.

**A mis familiares**

Gracias a todos mis tíos y tías, primas y primos, que siempre han estado ahí apoyándome, dándome muchos consejos, y motivándome para seguir superándome cada día más, pero sobre todo por quererme tanto, los quiero mucho.

## Índice General

AGRADECIMIENTOS .....	III
DEDICATORIAS .....	V
ABSTRACT .....	XII
INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivo General .....	2
Objetivos Específicos .....	2
Hipótesis .....	3
REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
Antecedentes del cultivo de frambuesa .....	4
Generalidades de la Frambuesa .....	5
Propiedades del Fruto .....	5
Cultivo en hidroponía .....	6
Rocas minerales .....	7
MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
Lugar de investigación, material vegetal y condiciones de manejo .....	10
Muestreo .....	12
Medición de variables de crecimiento, minerales y bioquímicas .....	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	15
CONCLUSIONES .....	25
REFERENCIAS .....	26

## Lista de Figuras

- Figura 1.** Grafico que muestra los estadios de madurez del fruto de frambuesa reportado por Zoffoli *et al.* (2010).....12
- Figura 2.** Contenido de Solidos Solubles Totales en frutos de Frambuesa tratados con diferentes rocas minerales molidas.....23
- Figura 3.** Altura total de tres tallos de la planta de Frambuesa.....23

## Lista de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Solución nutritiva utilizada en el cultivo de frambuesa, los macroelementos expresados en Meq/L y los microelementos en mg L <sup>-1</sup> .....	11
<b>Cuadro 2.</b> Diseño de la aplicación de las diferentes fuentes de Rocas minerales.....	11
<b>Cuadro 3.</b> Contenido de Minerales de las diferentes rocas minerales molidas...	12
<b>Cuadro 4.</b> Macroelementos y microelementos en frutos de Frambuesa.....	20
<b>Cuadro 5.</b> Antioxidantes en frutos de Frambuesa.....	22
<b>Cuadro 6.</b> Variables Agronómicas .....	24

## RESUMEN

CONTENIDO NUTRIMENTAL Y NUTRACÉUTICO EN FRUTOS DE FRAMBUESA  
EN UN SISTEMA DE CULTIVO SIN SUELO CON ENMIENDAS DE DIFERENTES  
FUENTES MINERALES

POR

DANIELA JIMÉNEZ LÓPEZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ FUENTES —ASESOR—

SALTILLO, COAHUILA

SEPTIEMBRE 2018

Existen diferencias entre los frutos que son obtenidos mediante los cultivos en suelo que, en los cultivos sin suelo, ya que estos últimos carecen de compuestos bioquímicos y minerales, debido a que el mismo sistema solo permite el acceso a las plantas por los nutrientes minerales que se aplican con la solución nutritiva. Por tal motivo en este estudio se reporta el efecto de enriquecer con diferentes rocas minerales molidas (moliendas) ricas en nutrientes, a través de enmiendas directamente al medio de crecimiento en cultivo sin suelo. Para la investigación se utilizaron plantas de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) variedad fx1522 cultivadas en un sustrato compuesto por peat moss y perlita en relación 2:1 al cual se aplicaron 15 g a cada planta por tratamiento de las diferentes rocas molidas utilizadas (roca fosfórica, riolita, diatomita, dolomita, zeolita y harina de basalto). El experimento fue desarrollado bajo condiciones de invernadero en un diseño completamente al azar con 7 tratamientos y 5 repeticiones, las plantas se irrigaron con solución nutritiva Steiner con una CE de 2 dS/m y un pH de 5.8. Las variables evaluadas fueron altura total de la planta y número de frutos. A los frutos maduros se le analizaron concentración de minerales (P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Si), sólidos solubles totales (SST), capacidad antioxidante, y la actividad enzimática de la catalasa (CAT) y Superóxido Dismutasa (SOD). Las aplicaciones de las diferentes rocas molidas incrementaron en promedio el contenido mineral de K, P, Ca, Mg, S, y Cu de 27%, 27%, 42%, 33%, 44%, respectivamente comparadas con el testigo, siendo Zeolita el que más evidencio tal efecto, sin embargo, el contenido de Fe, Mn y Si de las plantas tratadas comparadas con las plantas testigo no fueron estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ), con respecto a la actividad enzimática CAT se encontró que los tratamientos Riolita, Diatomita y Zeolita aumentaron 154%, 145% 134% respectivamente. SOD no se encontraron diferencias estadísticas significativas. Y con respecto a Capacidad Antioxidante y contenido de fenoles tampoco se encontraron diferencias por los tratamientos. La aplicación de rocas molidas afectó el contenido de vitamina C y SST, sin embargo, no afectó el diámetro y longitud de tallos. Los resultados sugieren que la aplicación de Zeolita en un cultivo sin suelo, podría ser utilizado en un programa de aplicación eficiente bajo un cultivo sin suelo,

manteniendo o mejorando las concentraciones de los minerales antes mencionados en el fruto de frambuesa.

**Palabras Clave:** Cultivo sin suelo, frambuesa, antioxidantes, compuestos minerales.

ABSTRACT

NUTRIMENTAL AND NUTRACEUTICAL CONTENT IN RASPBERRY FRUITS IN  
A SOILLESS CULTIVATION SYSTEM WITH AMENDMENTS OF DIFFERENT  
MINERAL SOURCES

BY

DANIELA JIMÉNEZ LÓPEZ

MÁSTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. JOSÉ ANTONIO GONZÁLEZ FUENTES —ADVISOR—

SALTILLO, COAHUILA

SEPTEMBER 2018

## INTRODUCCIÓN

Existen diferencias entre la calidad de frutos obtenidos de la producción de un cultivo sin suelo vs la producción en un cultivo en suelo, puesto que el suelo es un metasistema complejo en el cual las plantas pueden acceder a una mayor cantidad de elementos minerales comparado con un sistema hidropónico (Juárez *et al.*, 2007). En el cultivo de frambuesa se ha reportado menor contenido de antioxidantes (Vitamina C, tocoferol y compuestos fenólicos totales) en frutos producidos en cultivo hidropónico comparados con los que se cultivan y producen en suelo (Treffz y Omaye, 2015). Así también Alvarado *et al.* (2014) reportaron menor contenido de SST en frutos de fresa hidropónica comparado con frutos producidos en suelo, así como también en frutos de tomate hidropónico se reportó un menor contenido de vitamina C que los cultivados en suelo (Premuzic *et al.*, 1998). Así mismo también, se han reportado niveles menores de azúcares como fructosa y glucosa en fresa, frambuesa y tomates hidropónicos (Premuzic *et al.*, 1998; Treffz y Omaye, 2015). Esto explica por qué los frutos hidropónicos son caracterizados algunas veces como “less tasty” puesto que la calidad del fruto es afectada por el sistema de producción así como por condiciones climáticas y genotípicas (Martín-Hernandez *et al.*, 2012). Aunado a esto, algunas empresas agrícolas con el objetivo de obtener mayor producción dejan de lado la calidad nutricional que pudiesen tener los frutos, sin embargo el contenido mineral y la biofortificación de los frutos ha comenzado a tener cada vez mayor interés (Ramos *et al.*, 2010) y además la demanda de alimentos con un alto valor nutricional ha tenido un aumento en los últimos años. Actualmente las preferencias del consumidor han cambiado, pues ahora la sociedad se preocupa por estar informado de lo que contiene cada alimento que ingiere y debido a esto se han realizado investigaciones sobre frutos con potencial genético para presentar un alto nivel mineral y nutricional (Farruggia *et al.*, 2016).

Muchos frutos conocidos como berries poseen capacidades antioxidantes más altas, en relación con otras frutas y verduras (Fredes, 2009). Las frambuesas son conocidas por las propiedades que tienen para prevenir enfermedades, así como por tener efectos positivos para disminuir el estrés oxidativo (Teng *et al.*, 2017).

El incorporar enmiendas minerales al medio de crecimiento en sistemas hidropónicos, que cada día incrementan por la necesidad de producir mayores cantidades de alimentos y aprovechar al máximo los recursos hídricos (Schwarz *et al.*, 2005; Velázquez *et al.*, 2017) , proporciona minerales adicionales a los que comúnmente se usan en una solución nutritiva completa. La adición de rocas minerales molidas aporta diversos minerales y genera condiciones favorables para el crecimiento adecuado de los cultivos, notándose un efecto positivo en los suelos deficientes de nutrientes (Patiño Torres y Sánchez de Prager, 2014). Hay estudios en los que para la remineralización del suelo se incorporan minerales secundarios no metálicos, como zeolitas, dolomitas y roca fosfórica (Noriega *et al.*, 2014).

Debido a esto en el presente trabajo se estudió y evaluó en un cultivo hidropónico (sustrato) de frambuesa el efecto de enmendar en el medio de crecimiento con diferentes rocas minerales molidas, con el objetivo de que las plantas tuvieran la posibilidad de acceder a un mayor número de elementos menores e inducir un mayor contenido mineral y antioxidante en los frutos de frambuesa, simulando lo que ocurre en los cultivos en suelo.

### **Objetivo General**

Estudiar contenido nutrimental y nutracéutico de frambuesa cultivada en sustrato orgánico enmendado con diferentes minerales provenientes de rocas, comparado con manejo convencional.

### **Objetivos Específicos**

- Evaluar las características agronómicas de la planta en respuesta a los diferentes tratamientos aplicados.
- Evaluar el contenido nutrimental de los frutos de frambuesa.
- Determinar el efecto de las diferentes fuentes minerales sobre el contenido nutracéutico de los frutos de frambuesa.

### **Hipótesis**

Al menos uno de los tratamientos tendrá un efecto favorable sobre el contenido nutricional y nutracéutico del fruto.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Antecedentes del cultivo de frambuesa

El frambueso rojo (*Rubus idaeus L.*) tiene sus orígenes, en forma silvestre, en el monte Ida de la isla de Creta (Grecia). La primera descripción de la planta se remonta al siglo I y la realizó Plinio el Viejo, pero los primeros registros escritos de la domesticación del frambueso los documentó Palladius, un agricultor romano del siglo IV (Rubio *et al.*, 2014)

Los romanos extendieron el cultivo por Europa, desde Grecia a Italia, a los Países Bajos y a Inglaterra. Los británicos hicieron popular esta especie durante la Edad Media, aunque la primera cita que se conoce de su cultivo en huertos ingleses es de Turner (1548). En el siglo XVIII la exportaron a Nueva York y, a comienzos del siglo XIX, ya se cultivaban más de veinte variedades en Inglaterra y Estados Unidos. Posteriormente, los cultivares ingleses exportados a este último país se cruzaron con plantas de América del Norte, con el fin de mejorarlos (Rubio *et al.*, 2014).

En el hemisferio sur, el principal país productor es Chile, seguido de Argentina, África del Sur, Australia y Nueva Zelanda. Estos países suministran fruta al hemisferio norte para el mercado en fresco durante el invierno. En el hemisferio norte, donde se concentra la gran producción a nivel mundial, los principales productores son Washington, Oregón y Columbia Británica Canadá, en la que la mayor parte de la producción se destina para el consumo en fresco (Rubio *et al.*, 2014).

La producción de frambuesa en México comenzó a tener un incremento en el año 2015 según estadísticas del Banco de México, se registró un crecimiento a tasa anual en las exportaciones de 21.8 %, al pasar de 570 millones de dólares en los primeros cinco meses de ese año a 695 millones de dólares en el mismo periodo del 2016. También SAGARPA (2017) menciona que la producción de frambuesa se duplicó en los últimos tres años, al pasar de 35 mil 589 toneladas en 2014 a 73 mil 556 toneladas, en 2016.

En México, el volumen de producción de berries (zarzamora, frambuesa y mora azul), es de alrededor de 665.6 mil toneladas, con una Tasa Media de Crecimiento

Anual (TMCA) de 14 por ciento. La superficie plantada del cultivo de frambuesa en México aumentó en 520% en la década pasada, incrementándose de 196 hectáreas cultivadas en el año 2000 a 1 216 hectáreas cultivadas en el año 2010 (Alvarado-Raya et al., 2016). Siendo los principales estados productores de frambuesa son Baja California, Ciudad de México, Hidalgo, Jalisco, Estado de Morelos, Michoacán y Puebla (SAGARPA, 2017a)

### **Generalidades de la Frambuesa**

La frambuesa (*Rubus idaeus* L.), es un arbusto perenne de la familia Rosaceae, caracterizada por tener raíces primarias y secundarias leñosas que se desarrollan principalmente de manera horizontal y que poseen la capacidad de emitir brotes. Sus tallos, son erectos y llegan a alcanzar alturas superiores a los 2,0 metros en condiciones favorables, además poseen pequeñas espinas. Las hojas son compuestas, alternas y foliadas. Las flores, son hermafroditas y estipuladas, presentándose en racimos sueltos, con floración escalonada. Los frutos son pequeños, ovoides de color rojo, negro o púrpura, de 2,5 a 4,0 gr de peso, que se desprenden fácilmente del receptáculo al madurar (Marlet et al., 2016). El sistema radical se encuentra en la parte más superficial del suelo, situándose el 80% en los primeros 30 cm. Está compuesto en su mayoría por raíces finas, y por otras más gruesas y leñosas que sirven de soporte a la planta. Sobre estas últimas se forman yemas adventicias de las que surgen nuevos brotes todos los años (Rubio et al., 2014) El número de brotes por planta puede oscilar bastante en función de la variedad y la edad, desde 2-3 en el primer año, hasta más de 20 en planta adulta. Según cultivares, las ramas son más o menos vigorosas y están cubiertas de un número variable de espinas en la mayoría de los casos. Pueden llegar a alcanzar más de 2 metros de altura, con un crecimiento vertical e inclinándose en la producción con el peso de la fruta (Rubio et al., 2014)

### **Propiedades del Fruto**

En los últimos años aparecieron en el mercado productos con nuevos ingredientes, denominados nutracéuticos, y se caracterizan por ser ricos en determinados

nutrientes, lo cual aumenta su incidencia en la nutrición y en nuestra salud (Pérez, 2006). En particular, entre las frutas, ha habido un creciente interés por las frutas pequeñas de géneros *Ribes* (pasas y grosellas), *Rubus* (frambuesas y moras) y *Vaccinium* (blueberry) no sólo en el sector de alimentos, sino también para la industria farmacéutica y cosmética (Farruggia *et al.*, 2015). Algunas bayas, como la frambuesa, han sido estudiadas por sus efectos beneficiosos para la salud. Estos beneficios para la salud incluyen la prevención de ciertos tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, enfermedades neurodegenerativas asociadas con el daño oxidativo (Teng *et al.*, 2017). Sette *et al.* (2016), menciona que la las frambuesas son muy apreciadas por los consumidores debido a su sabor aromático, además de proporcionar nutrientes esenciales para la salud humana. La frambuesa contiene numerosos compuestos bioactivos, como fenoles, ácidos orgánicos, vitaminas y minerales (de Ancos *et al.*, 2000)

Los nutraceuticos se diferencian de los medicamentos en que éstos últimos no tienen un origen biológico natural, difieren de los extractos e infusiones de hierbas y similares en la concentración de sus componentes y no tienen por qué tener una acción terapéutica (Pérez, 2006).

### **Cultivo en hidroponía**

El cultivo en hidroponía es una modalidad en el manejo de plantas, que permite su cultivo sin suelo. Mediante esta técnica se producen plantas aprovechando sitios o áreas no convencionales, sin perder de vista las necesidades de las plantas, como luz, temperatura, agua y nutrientes. (Beltrano & Gimenez, 2015). Este sistema de producción tiene diversas ventajas, dentro de las cuales se pueden señalar la reducción del gasto de agua, la obtención de las cosechas con anticipación y una mayor productividad por área sembrada (López *et al.*, 2011). Hay estudios en los cuales el rendimiento de los cultivos hidropónicos puede duplicar o más los de los cultivos en suelo (Beltrano & Gimenez, 2015). Además de ser una de las más fascinantes ramas de la ciencia agronómica. De manera cada vez más importante se está sustituyendo el cultivo tradicional en suelo por el cultivo hidropónico y en sustrato. (Abad & Noguera, 1997)

## **Rocas minerales**

Los acondicionadores de suelos, por lo general contiene materias primas orgánicas y minerales que, en conjunto, aportan las características, necesarias para mantener el suelo óptimo (Trujillo *et al.*, 2015). Cuando se abona un suelo se hace desde el punto de vista de la aportación de nutrientes para las plantas y de la mejora de su estructura como sistema edáfico capaz de retener nutrientes (Trujillo *et al.*, 2015)

## **Roca Fosfórica**

La roca fosfórica es una fuente natural de fósforo (Yadav *et al.*, 2017) La roca fosfórica es un fertilizante natural, que presenta una adecuada relación por unidad de nutrientes (Trujillo *et al.*, 2015) .Una alternativa a los problemas de alta fijación de fósforo en suelos ácidos y a los elevados costos de los fertilizantes solubles, es la utilización de rocas fosfóricas (Trujillo, 2014) , por lo que utilizar roca fosfórica como fuentes de P para mejorar la productividad de la plantas y suministro estable de alimentos para la población (Chen & Graedel, 2015). Además de contener fósforo la roca fosfórica contiene 63 elementos más (Chen & Graedel, 2015).

## **Dolomita**

La dolomita es después de la calcita el carbonato más importante en la superficie terrestre (Pimentel *et al.*, 2012). Materia prima natural de elevada pureza ( $MgCa(CO_3)_2$ ) (Pena, 2004). Esta molienda es un material natural apropiado y económico utilizado para la mejora de los suelos agrícolas ácidos (Shaabn, 2014) ya que es altamente alcalino, contiene calcio ( $Ca^{2+}$ ) y magnesio ( $Mg^{2+}$ ) en su capa estructural, y por lo tanto ayuda a disminuir la acidez así como Ca y Mg deficiencias en los suelos (Bolland *et al.*, 2004). Por lo que es bien sabido que la dolomita es un buen agente mejorador de las propiedades del suelo (Shaaban *et al.*, 2016).

## **Riolita**

La riolita es una roca ígnea félsica que se forma cuando el magma de la composición granítica estalla en la superficie de la Tierra o invade la corteza a poca profundidad. Debido al enfriamiento rápido del flujo de lava, solo se pueden desarrollar pequeños

cristales (Coffman & Rasic, 2015). Riolita generalmente contiene más de 70% de sílice ( $\text{SiO}_2$ ). Este alto contenido de sílice le da a la roca su color generalmente más claro (generalmente gris claro, rosa o rosa) y su densidad relativamente baja. También contribuye a las propiedades que hacen que la riolita sea una materia prima útil para la producción de herramientas de piedra en copos (Coffman & Rasic, 2015).

### **Diatomita**

Tienen en su origen microorganismos constituidos por diminutas plantas acuáticas monocelulares o por algas microscópicas (González *et al.*, 1990). Otra definición es una roca sedimentaria de origen biogénico en su vida predominante la sílice amorfa que proviene de los esqueletos de los organismos acuáticos llamados diatomeas, una característica de esta molienda es que presenta una estructura muy compleja, con numerosos poros microscópicos, cavidades y canales, por lo que posee una gran superficie específica, alta permeabilidad, elevada porosidad y baja densidad (Sosa & Zalts, 2012). De acuerdo con Ilian (2007) esta molienda ha sido utilizada en varias áreas por su estructura y porosidad, como la industria, cosmetología, insecticidas, y nanotecnología.

### **Zeolita**

Las zeolitas se producen en la naturaleza y se conocen desde hace casi 250 años como minerales de aluminosilicatos (Weitkamp, 2000), formada a partir de cenizas volcánicas en lagos o aguas marinas desde hace millones de años (Monge-Amaya *et al.*, 2008). es una roca compuesta de aluminio, silicio y oxígeno, estos son aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos (Basaldella, 2002). Todas las zeolitas se consideran materiales de tamices moleculares que pueden absorber selectivamente las moléculas en función de sus tamaños (Peres-Caballero *et al.*, 2008) esta característica le permite retener cationes. La zeolita natural, como acondicionador inorgánico del suelo, se ha utilizado ampliamente para mejorar el crecimiento y el rendimiento de los cultivos de secano debido a su alta capacidad de intercambio de cationes y su afinidad por los nutrientes y el agua (Aghaalikhani

*et al.*, 2012; Hazrati *et al.*, 2017; Malekian *et al.*, 2011). La zeolita puede usarse como una enmienda del suelo para la producción de cultivos, la disponibilidad de agua mejorada y el aumento de la eficiencia del uso del agua en la fresa (G. Abdi, Khoshkhui, & Eshghi, 2006), otro uso de la zeolita el cual es de alto potencial es en sistemas hidropónicos (Markovic *et al.*, 1997)

### **Harina de Basalto:**

El basalto es una lava proyectada por los volcanes en coladas horizontales o que ha permanecido en diques o cuellos verticales (Florin, 2006). La utilización de rocas basálticas suele ser rico en elementos nutritivos a las plantas, es un material de bajo costo (Escosteguy & Klamt, 1998). Las rocas basálticas son predominantes, como material de origen, en los suelos existentes en grandes áreas (Escosteguy & Klamt, 1998). Hay estudios en los cuales (Roschnik *et al.* (1967) y Gillman (1980), indicaron un aumento capacidad de intercambio de cationes, del pH y de los contenidos de calcio y de arcilla en suelos tratados con polvo de basalto. Existen estudios en los cuales se ha indicado como correctivo de la fertilidad de suelos (Gillman, 1980). Las pruebas con esta molienda proporcionaron aumentos de ingresos en caña de azúcar y efecto residual significativo después de ocho años de cultivos (De Villers, 1961; Lake, 1948)

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Lugar de investigación, material vegetal y condiciones de manejo**

La presente investigación se llevó a cabo en un invernadero tipo túnel ubicado en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, localizada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, durante el periodo de enero a julio del 2017. Se utilizaron treinta y cinco plantas de frambuesa (*Rubus idaeus* L.) variedad fx1522 con tamaño similar en longitud (15 cm), diámetro de tallo (1 cm) y longitud de raíz (22cm). Cada planta se trasplantó en un contenedor circular (bolsa de polietileno negro) con dimensiones de 30 cm de profundidad y 20 cm de diámetro con un volumen de 20 litros, perforadas en la parte inferior para permitir un adecuado drenaje. El medio de crecimiento utilizado fue una mezcla de sustrato peat moss mezclado con perlita en relación 2:1 el cual se compacto ligeramente golpeando cada contenedor 5 veces en una superficie sólida. Las plantas se colocaron en el centro de cada contenedor y a una profundidad hasta cubrir el cuello de las mismas, se compacto el sustrato alrededor del tallo de cada planta manualmente, para posteriormente aplicar un riego con la finalidad de eliminar cualquier bolsa de aire que pudiese permanecer en el sistema radical. Una solución nutritiva completa (Tabla 1) (Steiner, 1961) con un pH de 5.8 y una conductividad eléctrica de 2 dS/m, se aplicó manualmente todos los días de acuerdo a las necesidades de las plantas, permitiendo un drenaje del 30%. Una semana después del trasplante, las plantas se podaron a una altura de 10 cm a partir de la base del sustrato con el objetivo de manejar 3 tallos por planta, los que brotaron de las yemas superiores, el resto de los tallos que brotaron de las yemas inferiores se eliminaron cuando alcanzaron 2.5 cm de longitud.

Siete tratamientos fueron aplicados con las diferentes rocas molidas utilizadas (Tabla2) y en cada uno se tuvieron 5 repeticiones, colocadas en un diseño completamente al azar. A las plantas testigo no se les adiciono ninguna enmienda. Por cada tratamiento se aplicaron 15 gramos de cada roca molida en la parte superior del sustrato y se mezcló con este a una profundidad de 4 cm, para que con

cada riego bajara el producto. En la tabla 3 se muestra el tipo de rocas minerales utilizadas para la aplicación de tratamientos.

**Cuadro 1.** Solución nutritiva utilizada en el cultivo de frambuesa, los macroelementos expresados en Meq/L y los microelementos en mg L<sup>-1</sup>

Macroelementos										
Aniones						Cationes				
	NO <sup>3-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>4-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	CL	NH <sub>4</sub>	K	Ca	Mg	Na
Objetivo	9	1	5.36	-	-	0.5	4.64	6.5	3	-
Microelementos										
Fe	Mn	Cu		Zn	B	Mo				
3	0.5	0.025		0.136	0.262	0.054				

**Cuadro 2.** Diseño de la aplicación de las diferentes fuentes de Rocas minerales

Tratamientos	Tipo de Rocas minerales
Tratamiento 1	Testigo
Tratamiento 2	Roca fosfórica
Tratamiento 3	Dolomita
Tratamiento 4	Riolita
Tratamiento 5	Diatomita
Tratamiento 6	Zeolita
Tratamiento 7	Harina de Basalto

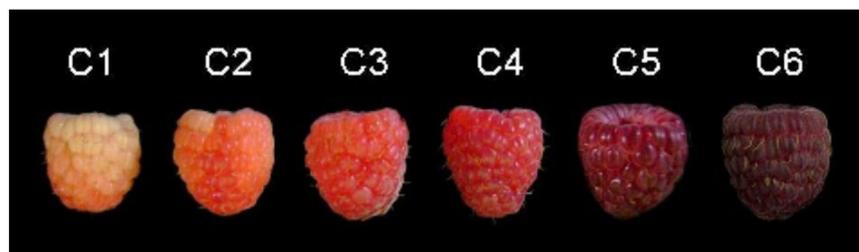
**Cuadro 3.** Contenido de Minerales de las diferentes rocas minerales molidas

	Roca fosfórica	Dolomita	Zeolita	Diatomita	Riolita	Harina de Basalto
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	26.33-33.20%	-	0.06%	-	0.67%	3.98%
CaO	20.06%	32.78%	3.82%	1.59%	2.46%	12.63%
MgO	-	13.35-19.53%	0.98%	0.38%	2.80%	2.80%
K <sub>2</sub> O	-	0.01%	4.70%	0.51%	4.47%	2.00%
NaO <sub>2</sub>	-	0.01%	0.03%	-	1.24%	2.16%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.02%	2.47%	0.36%	2.62%	9.64%
ZnO	-	-	0.01%	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.00%	0.42%	13.91%	4.04%	7.15%	15.16%
SiO <sub>2</sub>	-	2.19%	73.81%	40.89%	32.69%	49.54%
SO <sub>3</sub>	-	0.05%	0.54%	-	-	-
S	0.01%	-	-	-	-	-
TiO	-	0.01%	0.30%	-	-	2.08%
F	1.60%	-	-	-	-	-
Pb	0.01%	-	-	-	-	-
As	0.00%	-	-	-	-	-
Otros					48.01%	

Porcentaje de contenido de minerales en las diferentes rocas molidas.

### Muestreo

Todos los frutos del experimento fueron cosechados en estadio de madurez entre C3 y C4, de acuerdo a la recomendación de Zoffoli *et al* (2010). Los frutos utilizados para los análisis minerales y bioquímicos fueron tomados de 4 plantas. Posterior a la cosecha se trasladaron inmediatamente al laboratorio para su almacenamiento a -20° C en un frigorífico (Daewoo DFR-25210GN) y se mantuvieron bajo esas condiciones hasta su respectivo análisis.



**Figura 1.** Grafico que muestra los estadios de madurez del fruto de frambuesa reportado por Zoffoli *et al.* (2010)

### **Medición de variables de crecimiento, minerales y bioquímicas**

La altura fue medida al final del ciclo productivo de la planta, en el cual se muestreó durante los 2 primeros meses de producción, se midió en centímetros (cm) usando una cinta métrica (Truper Modelo 12694), a partir de la base del sustrato y hasta el ápice del tallo. El valor reportado de esta variable fue la media de 5 tallos por cada repetición.

Respecto el análisis mineral de los frutos se realizaron digestiones minerales (Fick *et al.*, 1976). Se pesó 1 g de muestra seca, se agregó 30 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado. Se procedió a calentar en parrilla hasta que se destruya por completo la materia orgánica. Después de 30 minutos y cuando la muestra se volvió transparente, se filtra en papel filtro whatman número 41. Se aforó a 100 ml y se procedió a la cuantificación por medio de un plasma de acoplamiento inductivo con espectrofotómetro de emisión óptica (ICP-OES) (AOAC, 2000).

Para la cuantificación de los diferentes compuestos bioquímicos se realizó un extracto de biomoléculas de acuerdo al procedimiento reportado por (Ramos *et al.*, 2010). El tejido vegetal se congeló a -20° C y se liofilizó (FreeZone 2.5 Liter Benchtop Free Dry System, LABCONCO), la muestra liofilizada se maceró con mortero de mano, se colocaron 200 mg del tejido pulverizado en un tubo para centrifuga de 2 ml más 20 mg de polivinil pirrolidona, se le añadió 1.5 ml de buffer de fosfatos pH 7-7.2 (0.1 M), posteriormente se sónico (Ultrasonic Cleaner Branson 1510) por cinco minutos, para después centrifugar (Microcentrifuga Refrigerada Labnet Prism™ Ra) a 12000 rpm durante 10 min a 4°C. El sobrenadante se recolectó y filtró con una membrana de nylon (PVDF 0.45 µm) (Ramos *et al.*, 2010). Finalmente se diluyó en una proporción 1:15 con buffer de fosfatos. Del extracto de biomoléculas se determinó: capacidad antioxidante, fenoles totales, Catalasa y, SOD.

La actividad de la enzima catalasa fue cuantificada mediante espectrofotometría (Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis). Se llevó a cabo midiendo dos tiempos de reacción, tiempo 0 (T0) y tiempo 1 (T1). La mezcla de reacción para el blanco se preparó agregando 0.1 ml del extracto de biomoléculas, 1 ml de buffer de fosfatos pH 7.2 y 0.4 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %, y la mezcla de reacción para el T0 se preparó

agregando 0.1 ml de extracto de biomoléculas, 1 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 100 mM e inmediatamente después se añadieron 0.5 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 %, del mismo modo sucedió para el T1, salvo que los 0.5 ml del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 5 % fueron aplicados después de 1 minuto de reacción entre el extracto y el peróxido. La reacción se efectuó a una temperatura ambiente, con agitación constante. Finalmente se leyó a 270 nm en el espectrofotómetro de UVVIS el consumo de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Las unidades de la actividad (UI) fueron expresadas en mM de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> min<sup>-1</sup> / proteínas totales (Medrano-Macías *et al.*, 2016)

En cuanto a la actividad enzimática SOD se cuantificó por medio del extracto de biomoléculas en microplaca, utilizando el kit para determinación de SOD (SIGMA-ALDRICH, 2014). El principio es la cuantificación por espectrofotometría de la oxidación del colorante WST (water soluble tetrazolium salt) a WSTformazan por los iones superóxido formados mediante el conjunto xantina (XO)/xantina (X) oxidasa. La inhibición en la oxidación del WST es atribuido a la neutralización de los radicales superóxido por la SOD, las unidades se expresan en % de inhibición.

El contenido de Fenoles se cuantificó mediante espectrofotometría UV-VIS (Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis) del extracto agua:acetona, relación 1:1, mediante el uso del reactivo FolinCiocalteu. Las unidades de concentración se reportaron en mg de fenoles totales kg de tejido vegetal seco (Nsor-Atindana *et al.*, 2012; Sultana *et al.*, 2009).

Para contenido de vitamina C, se pesaron 20 gramos de muestra fresca, se agregó 10 ml de HCl al 2% y se maceró en un mortero, se agregaron 100 ml de agua destilada. Después se filtró a través de una gasa, y posteriormente se midió el volumen total del filtrado. Finalmente se tomó muestras de 10 ml del filtrado y se tituló con el reactivo Thielmann (10<sup>-3</sup> N 2,6-dichlorophenolindophenol) hasta la aparición de una coloración rosa. El cálculo del contenido de vitamina C presente en la muestra, se hizo mediante la metodología de (Padayatt *et al.*, 2001).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La adición de rocas molidas al sustrato aumento el contenido mineral de frutos de frambuesa (Tabla 3) mostrando diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ). El P, incremento en un 27% en los tratamientos Zeolita y Harina de Basalto con respecto a las plantas control, así mismo se encontró un incremento 18% de P en los tratamientos Roca fosfórica, Dolomita, Riolita y Diatomita en comparación con los frutos de las plantas control. Se ha reportado que la Zeolita reduce el percolado de P manteniéndolo en el medio de crecimiento (Mumpton, 1999), haciéndolo probablemente más disponible para la absorción por las plantas, lo que permitió una mayor concentración de este elemento en frutos. De acuerdo con Brooks y Velásquez (2008) encontraron que la aplicación de zeolita favorece la liberación de fosforo, y que la aplicación al sustrato presenta una tendencia natural para disolver P. DeLuca *et al* (2009) sugieren que la disponibilidad de este elemento puede verse afectada por una serie de reacciones abióticas dependientes del pH, lo que se le atribuye a la molienda zeolita, la cual es conocida por aumentar el pH (Perez-Caballero *et al.*, 2008) y así favorecer el ambiente donde el elemento fosforo puede encontrarse en mayor disponibilidad. Malekian *et al.*(2011) mencionan que la capacidad de intercambio catiónico de la zeolita puede modificar las propiedades químicas del medio de tal manera que logra retener otras clases de compuestos, particularmente aniones. Hinsinger *et al.*(2001) mencionan que la presencia de plantas en un entorno con la molienda Harina de basalto, da como resultado un aumento sustancial en la cantidad de elementos liberados por la molienda, lo que explica porque la Harina de basalto presentó una mayor concentración de P respecto los frutos control. En un estudio la aplicación de Harina de basalto incremento el contenido de P en el suelo (Gillman *et al.*, 2002), lo cual concuerda con nuestros resultados. La Roca fosfórica incrementó el P en frutos de frambuesa, DeLuca *et al.* (2009) mencionan que la disponibilidad de este elemento puede verse afectada por una serie de reacciones abióticas dependientes del pH, específicamente a un pH 6 ( Nuñez y Gavi, 1991) lo cual pudiera haber favorecido su disponibilidad del elemento, puesto que la solución nutritiva en este estudio

mantuvo un pH de 5.5~5.8, el cual es idóneo para la solubilización de fosfatos por parte de la roca fosfórica (Aguilar-Acuña *et al.*, 2003), lo que probablemente pudiera ser la razón del por qué aumento el contenido de P en frutos de frambuesa en nuestro experimento. En otros cultivos como la papa Aguilar-Acuña *et al.* (2003) obtuvieron resultados favorables con aplicación de esta enmienda, aumentando el tamaño del tubérculo. Por otro lado la Dolomita también provocó un aumento de P, Rechcigl (2015) reportó que al aplicar dolomita al suelo obtuvo un aumento en el contenido de P en el medio de crecimiento, lo que puede ser una posible respuesta al incremento de P en frutos de frambuesa en este experimento. En cuanto a la molienda Riolita la información disponible es escasa, estos resultados sugieren que la Riolita aportó P de su composición, favoreciendo la disponibilidad de este elemento en el medio de crecimiento, lo cual permitió un aumento en el contenido de P en los frutos. La molienda Diatomita aumentó el contenido de P, a pesar de que este elemento no forma parte de su composición, nuestros resultados coinciden con los reportados por Abdalla (2010) quien reporta que al aplicar Diatomita al suelo se obtiene un aumento de P en plantas de haba, similar a los resultados obtenidos sobre el contenido de este elemento en frutos de frambuesa. Aksakal *et al.* (2012) mencionan que la molienda Diatomita puede ser considerada como un agente alternativo para el uso en suelo, induciendo una mejora de las características físicas del suelo.

El contenido de K en frutos incrementó en un 27.7, 25.9 y 22.2% con Dolomita, Riolita y Zeolita respectivamente con respecto a los frutos producidos por las plantas testigo. La molienda Dolomita obtuvo el valor más alto de K en frutos, posiblemente esto ocurre debido a que esta molienda presenta un mayor contenido de Ca y Mg en su composición, ocasionando que estos iones compitan con el ion K por su absorción, por lo que cuando ocurre esto, la planta activa canales específicos para absorción de K (Baker y Pilbeam, 2015) y debido a que el K es un catión muy móvil suele encontrarse en varias partes de la planta como en los frutos (Marschner 1995). El incremento de K por la parte de la molienda Riolita y Zeolita se da posiblemente a que este elemento presenta una mayor concentración en su composición, y por lo cual se considera que al tener una mayor concentración en su composición hay una

mayor disponibilidad en el medio de crecimiento de este elemento y en consecuencia mayor absorción del ion K por la planta. Estudios han informado sobre la gran efectividad de las zeolitas como fuentes naturales de oligoelementos que complementan a NPK y su alta capacidad de adsorción (Kolyagin y Kucgerenko, 2003); incrementando rendimientos en trigo (13-15%), berenjena (19-55%), manzanas (13-38%) y zanahorias (63%) (Mumpton, 1999). Carolino *et al.*, 1998 demostraron que la zeolita tiene el potencial de adsorber K para posteriormente liberarlo lentamente, lo que probablemente contribuyó a encontrar un mayor contenido de este elemento en los frutos de frambuesa tratados con esta roca mineral molida. Abdi *et al.*, (2006) reportaron un incremento en la actividad fotosintética en cultivo de fresa, debido a la disponibilidad de diferentes elementos minerales y agua para las plantas por el uso de zeolita.

El elemento Ca aumentó un 42.8% con el tratamiento Diatomita, mientras que con los tratamientos de Zeolita y Harina de Basalto los resultados fueron similares a los obtenidos en los frutos testigo. Sin embargo, cuando las plantas se trataron con Roca fosfórica, Dolomita y Riolita las concentraciones en el fruto disminuyeron en 57.1, 57 y 72.4% respectivamente. La concentración de Ca en frutos de plantas tratadas con la molienda Diatomita fue afectada por parte de esta enmienda. Esto se podría explicar ya que la molienda dolomita es la que menor contenido de aluminio presenta, respecto a las otras moliendas aplicadas; ya que las anteriormente mencionadas tienen Al en un mayor porcentaje, y puesto que el aluminio interfiere con el calcio y se forman complejos insolubles (Imadi *et al.*, 2016), esto explicarse por qué las otras moliendas al tener el contenido alto de Al se crea un antagonismo que puede conducir a una menor absorción de calcio en las plantas (Roy *et al.*, 1988). Los tratamientos con Roca fosfórica presentaron una disminución del elemento Ca en frutos de frambuesa, el alto contenido de Ca, así como el Al presente en la enmienda pudo haber formado complejos insolubles Ca-P y Ca-Al, lo que ocasionó que se precipitaran, esto podría explicar el porqué de la disminución de Ca P (Sparks, 2003, Baker y Pilbeam, 2015). El contenido de Ca en frutos de frambuesa disminuyó por efecto de los tratamientos con Dolomita y Riolita dicho elemento se encuentra en la composición de las moliendas,

posiblemente el decremento del Ca se deba a la existencia de competencia entre cationes (García *et al.*, 1999), como es para el caso de la Riolita donde este elemento se encuentra en menor concentración con respecto a los cationes Mg y K.

Respecto a la concentración de Mg, la aplicación de Zeolita incrementó un 20%. Perez-Caballero *et al.* (2008) reportaron que la aplicación de zeolita al suelo incrementa la capacidad de intercambio catiónico, lo cual permite una mayor retención de los minerales, y por lo tanto su disponibilidad. Así también se considera que la estructura porosa de las zeolitas están compuestas por cationes como Mg (Inglesazakis y Zorpas, 2012), los cuales son iones intercambiables, para el aprovechamiento de las plantas.

En cuanto al contenido de S se encontró un aumento del 33% con el tratamiento Diatomita respecto a las plantas testigo, en los tratamientos Roca fosfórica, Dolomita, Zeolita y Harina de basalto no fueron diferentes estadísticamente a las plantas testigo. Se encontró una disminución de 34% respecto al testigo con el tratamiento de Dolomita. El contenido de S en frutos de frambuesa con el tratamiento Diatomita presentó un aumento, posiblemente esto se deba a que la Diatomita mejora las propiedades físicas en el suelo, como son la capacidad de retención de agua, reduciendo la lixiviación de los nutrientes como el ion S (Aksakal *et al.*, 2012). Por otro lado, el contenido de S en frutos de frambuesa con el tratamiento Riolita mostró una disminución, posiblemente por el efecto de la lixiviación a falta de Materia Orgánica (Marschner, 1995b).

En la variable Fe no se encontraron diferentes estadísticamente respecto al testigo con los tratamientos Roca fosfórica, Diatomita, Zeolita y Harina de Basalto. Para Dolomita y Riolita se observó una disminución del 39 y 42% comparado con las plantas Testigo. El tratamiento con Dolomita disminuyó el contenido de Fe en fruto de frambuesa, probablemente al bajo contenido de Fe presente en su composición. Tipping *et al.* (1986) reportaron que un pH más bajo facilita la disponibilidad del Fe, y por consiguiente su adsorción a la planta, considerando que la Dolomita es la enmienda que en su composición contiene un mayor contenido de Ca respecto a la demás, y puesto que el Ca es un elemento que aumenta el pH (Guo *et al.*, 2018), la

absorción del Fe pudo haberse reducido. La Riolita en su composición tiene varios elementos esenciales que son asimilables de forma catiónica como son el K, Ca, Mg, Fe y Na (Marschner, 1995), esto pudiera explicar que la baja concentración de Fe, fue debido a la competencia que existe entre K y Fe, debido a que el ion K esta en mayor concentración en mencionada molienda y, que fue el propició el aumento en la concentración de K en frutos (Tabla 3).

El contenido de Cobre en los tratamientos Harina de Basalto, Diatomita y Zeolita aumentó en un 55, 44 y 27% respectivamente comparado con el Testigo. El tratamiento Dolomita obtuvo resultados estadísticamente iguales al tratamiento testigo, pero en los tratamientos Roca fosfórica y Riolita el contenido de Cu disminuyó un 50 y 38% comparado con las plantas Testigo. La molienda Harina de basalto ha demostrado que tiene efectos positivos sobre el contenido de minerales entre ellos el Cu. Hinsinger *et al.*, (2001) mencionan que la cantidad de elementos liberados del basalto, se debe a la modificación del pH en la rizosfera por efecto de las raíces de las plantas dando como resultado que el Cu se encuentre más disponible para la planta. Diatomita y Zeolita como enmiendas mejoran características físicas del suelo como el intercambio catiónico de metales (Hernández-Ávila *et al.*, 2017 y Perez-Caballero *et al.*, 2008) lo favorece la absorción del Cu que se aplica mediante la solución nutritiva. El contenido de Cu tuvo una disminución en frutos de frambuesa con el tratamiento Roca fosfórica, esto debido a los altos contenidos de P presentes en mencionada enmienda, el cual puede restringir la absorción de Cu por las raíces (Cao *et al.*, 2004). Con respecto a la aplicación con Riolita se presentó una disminución del contenido de Cu, como se ha mencionado riolita en su composición tiene varios elementos que son asimilables de forma catiónica como K, Ca, Mg, Fe, Na, por lo que al ser este elemento un ion asimilable de forma catiónica (Marschner, 1995), posiblemente esto debido a la competencia entre cationes, como el K que fue el elemento con mayor concentración en la molienda, y el que mayor porcentaje de asimilación presentó. El contenido de Manganeso en los tratamientos Riolita, Diatomita, Zeolita y Harina de Basalto no fueron diferentes estadísticamente con el Testigo, los tratamientos Roca fosfórica y Dolomita mostraron una disminución del 36% respecto al testigo

(Tabla 3). El contenido de Mn en frutos disminuyó por efecto del tratamiento Roca fosfórica y Dolomita, probablemente esto se deba a que el Ca presente en la roca fosfórica incrementó el pH (Guo et al., 2018) ocasionando una disminución en la disponibilidad del Mn (Tipping *et al.*, 1986)

El contenido de Si en los tratamientos Roca fosfórica y Dolomita no fueron diferentes estadísticamente al testigo, y los tratamientos Riolita, Diatomita, Zeolita y Harina de basalto presentaron una disminución del 22.2, 43.2, 57.3 y 68.2% respectivamente (Tabla 3). El tratamiento con Diatomita mostró una disminución de Si en los frutos, probablemente esto se deba a que el silicio se adsorbe como ácido silícico  $\text{Si}(\text{OH})_4$  y para esto necesita condiciones ácidas ( $\text{pH} < 5$ ) (Etesami, 2018) y así ser fácilmente absorbido por el sistema radicular. Lo que corresponde al contenido de Si en los frutos tratados con la enmienda Zeolita hubo una disminución respecto a las plantas testigo. Savvas y Ntatsi, (2015) reportaron que suele haber una tendencia a disminuir la adsorción de Si en pH decrecientes, lo que explica porque no hubo aumento de este elemento en los frutos por otro lado Etesami (2018) reportó que no solamente el pH afecta la cantidad de Si disuelto en el medio de crecimiento sino que más factores como la temperatura, y algunas actividades químicas del suelo. Por otra parte Savvas y Ntatsi (2015), mencionan que suele haber más concentración de Si en plantas que están estresadas por factores (bióticos y abióticos) y es necesario aclarar que nuestras plantas no fueron estresadas.

**Cuadro 4.** Macroelementos y microelementos en frutos de Frambuesa.

Tratamientos	P (g 100g <sup>-1</sup> )	K (g 100g <sup>-1</sup> )	Ca (g 100g <sup>-1</sup> )	Mg (g 100g <sup>-1</sup> )	S (g 100g <sup>-1</sup> )	Fe (mg 100g <sup>-1</sup> )	Cu (mg 100g <sup>-1</sup> )	Mn mg 100g <sup>-1</sup>	Si (mg 100g <sup>-1</sup> )
Testigo	0.11b	0.54b	0.07b	0.10b	0.03bc	2.31ab	0.18c	0.59ab	3.02a
Roca Fosfórica	0.13a	0.06ab	0.03c	0.11ab	0.03bc	2.51ab	0.09d	0.38d	3.02ab
Dolomita	0.13a	0.69a	0.03c	0.11ab	0.03cd	1.41cd	0.16c	0.38cd	2.73abc
Riolita	0.13a	0.68a	0.02c	0.10b	0.02d	1.34d	0.07d	0.47bcd	2.35bcd
Diatomita	0.13a	0.58b	0.10a	0.11ab	0.04a	2.63a	0.26ab	0.52abc	1.70de
Zeolita	0.14a	0.66a	0.07b	0.12 <sup>a</sup>	0.03ab	2.28ab	0.23b	0.61a	1.29e
Harina de Basalto	0.14a	0.62ab	0.07b	0.11ab	0.03abc	2bc	0.28a	0.64a	2.17cd

Medias por columna una letra en común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). P, K, Ca, Mg, S se presentan en unidades de gramos sobre 100 gramos de peso seco. Fe, Cu, Mn, Si se presentan en unidades de mg por 100 gramos de peso seco.

Respecto al contenido de Vitamina C no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. La vitamina C es ampliamente considerada como uno de los antioxidantes más importantes en los cítricos debido a que las plantas ante diferentes tipos de estrés (biótico y abiótico) utilizan este antioxidante como su principal sistema de defensa (Mditshwa *et al.*, 2017).

En la actividad de la enzima Catalasa los tratamientos Riolita, Diatomita y Zeolita presentaron una mayor actividad del 154,145, y 134% respectivamente comparado con el testigo (tabla 4). La actividad de la enzima CAT en los frutos de frambuesa aumentó con la aplicación de Riolita, cabe mencionar que este tratamiento obtuvo el menor contenido de micronutrientes respecto al testigo, lo que sugiere que las plantas no se desarrollaron en condiciones óptimas, ya que al no tener los nutrientes suficientes o necesarios ocasiono un estrés a la planta y así por consecuencia comenzó la acumulación de  $H_2O_2$  (Izawa *et al.*, 1996) como señalizador del estrés que está causando la presencia de riolita en el sustrato (Mhamdi *et al.*, 2012), y como respuesta a esa señal la planta comenzó a sintetizar más enzima CAT para defenderse del estrés oxidativo provocado. Con respecto a las moliendas Diatomita y Zeolita la actividad de la enzima CAT, aumento posiblemente causado por algún agente estresante presente en la molienda, estos tratamientos fueron los que presentaron menor contenido de Si. Debona *et al.* (2017) comentan que la respuesta de las plantas a algún estrés ocurre a niveles bioquímicos, fisiológicos y moleculares y que el Si tiene un papel activo en la señalización para activar los diferentes mecanismos de defensa de las plantas, y se sugiere que por ausencia de este elemento en los tratamientos Diatomita y Zeolita la respuesta para mitigar los daños causados por el estrés oxidativo fue muy poca.

La actividad de la enzima Superóxido dismutasa no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Tabla 4). SOD es la primer enzima antioxidante que actúa sobre el radical  $O_2^-$  cuando las plantas se encuentran en condiciones de estrés (biótico y abiótico), (Gill y Tuteja, 2010), pues este es el primer radical formado en los procesos de fotosíntesis y respiración (Medrano-Macías *et al.*, 2016). No se encontraron trabajos en los cuales se cuantificarán SOD después de la

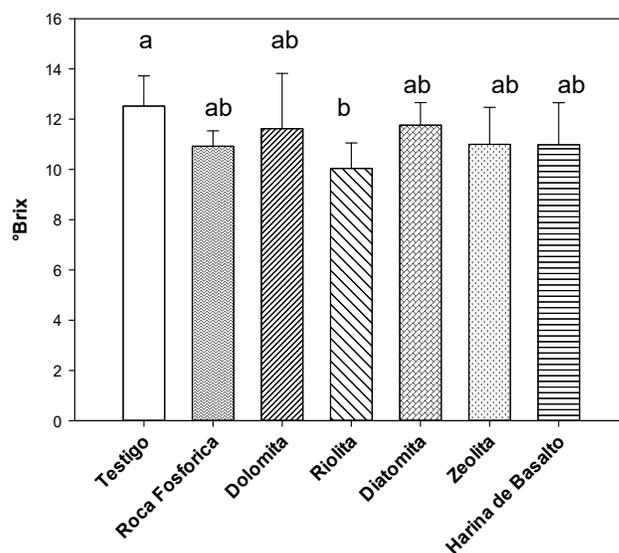
aplicación de rocas minerales. Sin embargo, la posible explicación sea que las rocas minerales no modificaron el estado normal de estas enzima, ya que estos resultados demuestran lo contrario a lo que comentan Yamamoto *et al.*, (2002) los cuales afirman que la producción de ROS aumenta con la presencia de un elemento estresante para la planta. De igual manera en la Capacidad Antioxidante no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos.

En cuanto al contenido de Fenoles totales el mejor tratamiento fue Zeolita con 4.08 mg/kg superando al Testigo por un 23% más, los tratamientos Dolomita, Riolita, Diatomita y Harina de basalto no fueron diferentes al testigo y el tratamiento Roca fosfórica presento una disminución de 3.7% respecto a las plantas testigo (Tabla 4). En el contenido de fenoles totales, la molienda zeolita presenta un alto contenido de Fenoles. Estos compuestos son capaces de prevenir los efectos nocivos del estrés y actuar como eliminadores de radicales libres (Agatonovic-Kustrin y Morton, 2016).

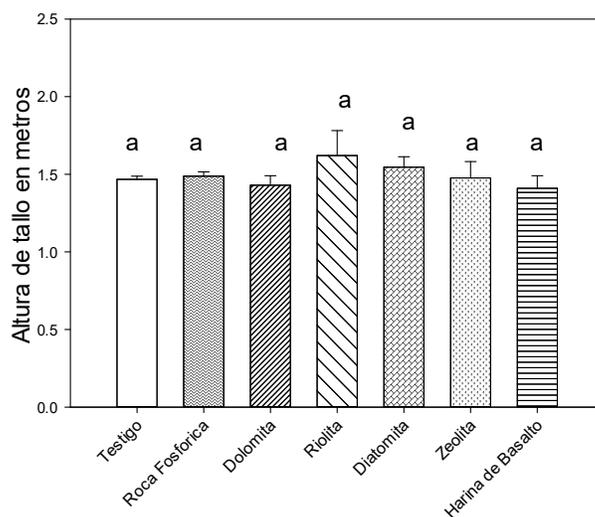
#### **Cuadro 5.** Antioxidantes en frutos de Frambuesa

Tratamientos	Vitamina C	CAT	SOD	Fenoles	CA
Testigo	47.76a	0.88cd	92.46a	3.30bc	15.61a
Roca Fosfórica	46.66a	0.70cd	93.81a	3.18c	15.57a
Dolomita	51.46a	0.53d	92.21a	3.71abc	15.72a
Riolita	51.42a	2.24a	92.51a	3.90ab	15.4a
Diatomita	45.03a	2.16ab	95.42a	3.62abc	15.69a
Zeolita	48.19a	2.06ab	95.17a	4.08a	15.49a
Harina de Basalto	53.31a	1.39bc	94.57a	3.29bc	14.65b

Medias por columna una letra en común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). Vitamina C se presenta en mg por 100 g de muestra. CAT: Catalasa en unidades de  $\mu\text{M}$  de  $\text{H}_2\text{O}_2$  consumido/proteínas en g/kg. SOD: Superoxido Dismutasa en porcentaje de inhibición. Fenoles Totales se presenta en mg de ácido gálico / kg de peso fresco. CA: Capacidad Antioxidante se presenta en moles.



**Figura 2.** Contenido de Sólidos Solubles Totales en frutos de Frambuesa tratados con diferentes rocas minerales molidas, representado en grados Brix. La línea superior representa el error estándar, letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos de acuerdo con LSD de Fisher ( $p \leq 0.05$ ).



**Figura 3.** Altura total de tres tallos de la planta de Frambuesa, representado en metros. La línea superior representa el error estándar, letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos de acuerdo con LSD de Fisher ( $p \leq 0.05$ ).

En las variables agronómicas Altura de planta, Diámetro de tallo, Diámetro ecuatorial del fruto, Diámetro polar del fruto, y Peso fresco del fruto no se encontraron diferencias significativas respecto al testigo. Por el contrario, el Número de frutos si existieron diferencias significativas, aunque solo en roca fosfórica mostro

un 44.7% menos respecto al testigo. Y respecto al peso total de frutos el tratamiento Dolomita obtuvo un aumento del 38%, lo que se podría deber a que este tratamiento tuvo también número de frutos.

**Cuadro 6.** Variables Agronómicas

Tratamientos	AP (m)	DT (mm)	DPF (mm)	DEF (mm)	PFF (g)	NF	PT (kg)
Testigo	1.47 a	8.75 a	19.07 a	10.07 a	3.30 b	126a	0.36 bc
Roca Fosfórica	1.49 a	8.01 a	19.79 a	19.79 a	3.83 ab	69 c	0.29 c
Dolomita	1.43 a	8.88 a	19.68 a	19.68 a	3.67 ab	123 a	0.50 a
Riolita	1.62 a	8.40 a	19.97 a	19.97 a	3.59 ab	113 ab	0.43 ab
Diatomita	1.59 a	8.53 a	19.85 a	19.85a	3.90 a	100 abc	0.42 ab
Zeolita	1.48 a	8.82 a	20.24 a	20.24 a	3.88 a	82 bc	0.29 c
Harina de Basalto	1.41 a	8.32 a	19.98 a	19.98 a	3.84 a	78 bc	0.32 c

Medias por columna una letra en común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). AP: Altura de la planta, DT: Diámetro del tallo, DPF: Diámetro polar del fruto, DEF: Diámetro Ecuatorial del fruto, PFF: Peso fresco del fruto, NF: número de frutos por planta, PT: peso total de frutos.

## CONCLUSIONES

El uso de rocas minerales molidas, como enmiendas en un cultivo sin suelo, tiene un resultado favorable para la producción de frutos de frambuesa, con un contenido mineral mayor, especialmente Zeolita y Diatomita.

Respecto al contenido nutracéutico la aplicación de Riolita, Diatomita y Zeolita, aumento el contenido de antioxidantes como la enzima CAT y Fenoles totales.

## REFERENCIAS

- Abad, M., & Noguera, P. (1997). Los sustratos en los cultivos sin suelo. *Manual de Cultivo Sin Suelo*, 101–150.
- Abdalla, M. M. (2010). Sustainable effects of diatomite on the growth criteria and phytochemical contents of *Vicia faba* plants. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 1, 1076–1089.
- Abdi, G., Khosh-Khui, M., & Eshghi, S. (2006). Effects of Natural Zeolite on Growth and Flowering of Strawberry (*fragaria x ananassa* Duch.). *International Journal of Agricultural Research*, 1, 384–389.
- Abdi, G., Khoshkhui, M., & Eshghi, S. (2006). Effects of natural zeolite on growth and flowering of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Int. J. Agric. Res.*, 1, 384–389.
- Agatonovic-Kustrin, S., & Morton, D. W. (2016). Determination of free phenolic acids in plant-derived foods by high-performance thin-layer chromatography with direct 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl assay. *JPC Journal of Planar Chromatography Modern*, 29, 121–126.
- Aghaalikhani, M., Gholamhoseini, M., Dolatabadian, A., Khodaei-Joghan, A., & Sadat Asilan, K. (2012). Zeolite influences on nitrate leaching, nitrogen-use efficiency, yield and yield components of canola in sandy soil. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 58, 1149–1169.
- Aguilar-acuña, J. L., López-morgado, R., Núñez-escobar, R., & Gardezi, A. K. (2003). UN ANDOSOL DE LA SIERRA VERACRUZANA Liming and Phosphate Fertilization on Potato in an Andosol of the Sierra Veracruzana.
- Aksakal, E. L., Angin, I., & Oztas, T. (2012). Effects of diatomite on soil physical properties. *Catena*, 88(1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.08.004>
- Alvarado-Raya, H. E., Avitia-García, E., & Castillo-González, A. M. (2016). Producción de frambuesa 'Autumn Bliss' con diferentes densidades de caña en el Valle de México. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(1), 17–29.
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. 17th Edition. Gaithersburg, MD. USA: Association of official analytical chemists.
- Baker, A. V., & Pilbeam, D. J. (2015). *Handbook of plant nutrition* (CRC press).
- Beltrano, J., & Gimenez, D. O. (2015). Cultivo en hidroponía. *Editorial de La Universidad Nacional de La Plata (EDULP)*.

- Bolland, M., Gazey, C., Miller, A., Gartner, D., & Roche, J. (2004). Subsurface acidity. *Department of Agriculture , Wetterm Australian*, 4.
- Bowman, R. S. (2003). Applications of surfactant-modified zeolites to environmental remediation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 61(1–3), 43–56. [https://doi.org/10.1016/S1387-1811\(03\)00354-8](https://doi.org/10.1016/S1387-1811(03)00354-8)
- Brooks, O., & Velásquez, G. (2008). Cinética De Liberación Del Fósforo En Roca Fosfórica. *Revista Cubana de Quimica*, 20(3), 13–16. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/4435/443543715002.pdf>
- Cao, X., Ma, L. Q., Rhue, D. R., & Appel, C. S. (2004). Mechanisms of lead , copper , and zinc retention by phosphate rock, 131, 435–444. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.03.003>
- Carolino, J. L., Williams, K. A., & Allen, E. R. (1998). Evaluation of Zeolite based soilless root media for potted chrysanthemum production. *Horic. Technol*, 8, 373–378.
- Chen, M., & Graedel, T. E. (2015). The potential for mining trace elements from phosphate rock. *Journal of Cleaner Production*, 91, 337–346. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.042>
- Coffman, S., & Rasic, J. T. (2015). Rhyolite characterization and distribution in central Alaska. *Journal of Archaeological Science*, 57, 142–157. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.02.015>
- Colella, C., & Mumpton, F. A. (2000). *Natural Zeolites for the Third Millenium* (Internatio).
- De Ancos, B., González, E. M., & Cano, M. P. (2000). Ellagic acid, vitamin C, and total phenolic contents and radical scavenging capacity affected by freezing and frozen storage in raspberry fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 4565–4570.
- De Villers, O. D. (1961). Soil rejuvenation with crushed basalt in Mauritius. Part I - consistent results of world-wide interests. *Int. Sug. J.*, 363–364.
- Debona, D., Rodrigues, F. A., & Datnoff, L. E. (2017). Silicon's role in abiotic and biotic plant stresses. *Ann. Rev. Phytopathol.*
- DeLuca, T. H., Gundale, M. J., & MacKenzie, M. D. (2009). Biochar effects on soil nutrient transformations. *Biochar Effects on Soil Nutrient Transformations J. Lehmann, Stephen Joseph (Eds.), Biochar for Environmental Management: Science and Technology, Earthscan, London, UK*, 251–270.

- Donaldson, R. ., Meyer, J. H., & Wood, R. . (1990). Response to potassium by sugarcane grown on base saturated clay soils in the Eastern Transvaal lowveld. *Proc. S. Afr. Sugar Technol. Assoc.*, *64*, 17–21.
- Escosteguy, P. A. V., & Klamt, E. (1998). Basalto moído como fonte de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, *22*(1), 11–20.
- Etesami, H. (2018). Can interaction between silicon and plant growth promoting rhizobacteria benefit in alleviating abiotic and biotic stresses in crop plants? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *253*(November 2017), 98–112. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.007>
- Farruggia, D., Crescimanno, M., Galati, A., & Tinerva, S. (2015). The perception of the quality of fresh berries: in an empirical way in the Alaman market. *EL SERVIER*.
- Farruggia, D., Crescimanno, M., Galati, A., & Tinervia, S. (2016). The Quality Perception of Fresh Berries: An Empirical Survey in the German Market. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, *8*, 566–575. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.075>
- Férnandez, S., & Meza, A. (2004). Efecto residual de la roca fosfórica de riecito modificada por calcinación o acidulación sobre plantas de maíz en suelos con nivel variable de calcio. *Bioagro*, *16*, 93–98.
- Fick, K. R., Miller, S. M., Funk, J. ., McDowell, L. R., & Houser, R. H. (1976). Methods of mineral anaysis for plant and animal tissues., (Gainesville, Florida, USA.).
- Florin, X. (2006). El Basalto en la agricultura. *Fertilidad de La Tierra: Revista de Agricultura Ecológica*, *8*(6), 469–478.
- Fredes, C. (2009). Antioxidantes en berries nativos chilenos. *Boletín Latinoamericano y Del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, *8*(6), 469–478.
- García, M., Daverede, C., Gallego, P., & Toumi, M. (1999). Effect of various potassium-calcium ratios on cation nutrition of grape grown hydroponically. *J. Plant Nutr.*, *22*, 417–425.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(12), 909–930.
- Gillman, G. . (1980). The effect of crushed basalt scoria on the cation exchange properties of a highly weathered soil. *Soil Sci. Soc.*, *44*, 465–468.

- Gillman, G. P., Burkett, D. C., & Coventry, R. J. (2002). Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. *Applied Geochemistry*, 17(8), 987–1001. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(02\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00078-1)
- Gosnell, J. M., & Long, A. C. (1971). Some factors affecting foliar analysis in sugarcane. *Proc. S. Afr. Sugar Technol. Assoc.*, 45, 217–232.
- Guo, J., Li, Y., Hu, C., Zhou, S., Xu, H., Zhang, Q., & Wang, G. (2018). Science of the Total Environment Ca-containing amendments to reduce the absorption and translocation of Pb in rice plants. *Science of the Total Environment*, 637–638, 971–979. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.100>
- Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mohammadi, H., & Nicola, S. (2017). Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of *Aloe vera* L. *Agric. Water Manage*, 181, 66–72.
- Hernández-Ávila, J., Salinas-Rodríguez, E., Cerecedo-Sáenz, E., Reyes-Valderrama, M., Arenas-Flores, A., Román-Gutiérrez, A., & Rodríguez-Lugo, V. (2017). Diatoms and Their Capability for Heavy Metal Removal by Cationic Exchange. *Metals*, 7(5), 169. <https://doi.org/10.3390/met7050169>
- Hershey, D. R., Paul, J. L., & Carson, R. M. (1980). Zeolite. *Hort. Science*, 15, 87–89.
- Hinsinger, P. (1998). How do plant roots acquire minerals nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Adv. Agron.*, 64, 225–265.
- Hinsinger, P., Fernandes Barros, O. N., Benedetti, M. F., Noack, Y., & Callot, G. (2001). Plant-induced weathering of a basaltic rock: Experimental evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65(1), 137–152. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(00\)00524-X](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(00)00524-X)
- Ilian, E. C. (2007). Usos industriales de las algas diatomeas.
- Imadi, S. R., Waseem, S., Kazi, A. G., Azooz, M. M., & Ahmad, P. (2016). Aluminum Toxicity in Plants. In *Plant Metal Interaction* (pp. 1–20). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00001-1>
- Inglesazakis, V. J., & Zorpas, A. A. (2012). *Hand Book Zeolites* (Bentham Sc).
- Izawa, S., Inou, Y., & Kimura, A. (1996). Importance of catalase in the adaptive response to hydrogen peroxide: analysis of acatalasaemic *Saccharomyces cerevisiae*. *Biochem. J.*, 61–67.
- Juárez, C., Rodríguez, M., & Sandoval, M. (2007). Comparison of Three Strawberry Production Systems in Greenhouse. *Terra Latinoamericana*, 25, 8.

- Kolyagin, Y. S., & Kucgerenko, S. P. (2003). Yield and long-term effect fertilizers. *Sakharnaya-Svekla*, 3, 17–18.
- Korunic, Z. (1998). Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. *Journal of Stored Products Research*, 34(2–3), 87–97. [https://doi.org/10.1016/S0022-474X\(97\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0022-474X(97)00039-8)
- Lake, H. . (1948). Soil rejuvenation in Mauritius. *Int. Sug.J.*, 50, 90–91.
- López, P. P., Cano, M. A., Rodríguez, G., Torres, F. N., Rodríguez, S. M., & Rodríguez, R. R. (2011). Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico. *Tecnociencia Chihuahua*, 5(2), 98–104.
- Malekian, R., Abedi-Koupai, J., & Eslamian, S. S. (2011). Influences of clinoptilolite and surfactant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2–3), 970–976. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.114>
- Markovic, V., Djurovka, M., & Llin, Z. (1997). The effect of seedling quality on tomato yield, plant and fruits characteristics. *Acta Horticulture*, 163–169.
- Marlet B., H., Navarro V., A., & Rosales, J. (2016). Manual técnico productivo y económico Frambuesa, (Pub. CIREN N°189).
- Marschner, H. (1995a). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (Academic P). London, UK.
- Marschner, H. (1995b). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, 2.
- Martín-Hernandez, C., Ordaz-Chaparro, V. M., Sánchez-García, P., Colinas-Leon, M. T. B., & Borges-Gómez, L. (2012). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) quality produced in hydroponics with different particle sizes of tezontle. *Agrociencia*, 46(3), 243–254. Retrieved from [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952012000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000300004&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Mditshwa, A., Magwaza, L. S., Tesfay, S. Z., & Opara, U. L. (2017). Postharvest factors affecting vitamin C content of citrus fruits: A review. *Scientia Horticulturae*, 218, 95–104. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.02.024>
- Medrano-Macías, J., Leija-Martínez, P., Juárez-Maldonado, A., Rocha-Estrada, A., & Benavides-Mendoza, A. (2016). Efecto de la aplicación de yodo sobre antioxidantes en plántulas de jitomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XXII(2), 133–143. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.12.025>

- Mhamdi, A., Noctor, G., & Baker, A. (2012). Plant catalases: Peroxisomal redox guardians. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 525(2), 181–194. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2012.04.015>
- Mumpton, F. A. (1999a). La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 7, 3463–3470.
- Mumpton, F. A. (1999b). Mineralogy and Geology of Natural Zeolite. *Universitu of New York, USA*.
- Noriega, G., Cárcamo, B., Gómez, Á., Schwentesius, R., Cruz, S., Leyva, J., ... Martínez Hernández, A. (2014). Intensificación de la producción en la agricultura orgánica : caso café. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(1), 163–169.
- Nsor-Atindana, J., Zhong, F., Mothibe, K. J., Bangoura, M. L., & Lagnika, C. (2012). Quantification of total polyphenolic content and antimicrobial activity of cocoa (Theobroma cacao L.) Bean Shells. *Paistan Journal of Nutritrion*, 11(7), 574–579.
- Núñez, E. R., & Gavi, R. (1991). Avances de las investigaciones sobre la aplicación directa de roca fosfórica en México. *Rev. Fac. Agron.*, 17, 197–216.
- Padayatt, S. J., Daruwala, R., Wang, Y., Eck, P. K., Song, J., Koh, W. S., & Levine, M. (2001). *Vitamin C: from molecularactions to optimun intake. Handbook of Antioxidants*.
- Patiño Torres, C., & Sánchez de Prager, M. (2014). Efecto de la aplicación de roca fosfórica y la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el crecimiento del ají (Capsicum annum L.) = Effect of rock phosphate application and inoculation with phosphate solubilizing bacteria on growth of. *Acta Agronómica*, 63(2), 136–144. Retrieved from [http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/36956/45754](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/36956/45754)
- Peres-Caballero, R., Gil, J., & Gondalez, J. L. (2008). The effect of adding zeolite to solis in order to improve the N-K nutrition of olive trees. *Am. J. Agric. Biol. Sci.*, 2(1), 321–324.
- Perez-Caballero, R., Gil, J., Benitez, C., & Gonzalez, J. L. (2008). The Effect of Adding Zeolite to Soils in Order to Improve the N-K Nutrition of Olive Trees . Preliminary Results Departamento de Quimica Agricola y Edafologia , Universidad de Cordoba , Campus de Rabanales , 1º sampling 2º sampling 3º sampling 1º sampling. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 2 (1)(January 2004), 321–324.

- Pérez, L. H. (2006). Neutraceuticos: Componente emergente para el beneficio de la salud. *ICIDCA*, 20–28.
- Pij, Y., Cesco, S., & Mimmo, T. (2015). Shoot ionome to predict the synergism and antagonism between nutrients as affected by substrate and physiological status. *Plant Physiology and Biochemistry*, 94, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2015.05.002>
- Premuzic, Z., Bargiela, M., Garcia, A., Rendina, A., & Iorio, A. (1998). Calcium, iron, potassium, phosphorus, and vitamin C content of organic and hydroponic tomatoes. *HortScience*.
- Ramos, S. J., Faquin, V., Guilherme, L. R. G., Castro, E. M., Ávila, F. W., Carvalho, G. S., ... Oliveira, C. (2010). Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. *Plant Soil Environ*, 56(2), 584–588.
- Rechcigl, J. E. (2015). Effect of dolomite and sowing rate on plant density , yield and nutritive value of Paspalum atratum Effect of dolomite and sowing rate on plant density , yield and nutritive value of Paspalum atratum, (March).
- Römheld, V. (1986). pH-Veränderungen in der Rhizosphäre verschiedener Kulturpflanzenarten in Abhängigkeit vom Nährstoffangebot. *Potash Rev.*, 55, 1–8.
- Roschnik, R. K., Grant, P. M., & Nduku, W. K. (1967). The effect of incorporating crushed basalt rock into an infertile acid sand. *J. Agric. Res.*, 5, 133–138.
- Roy, A. K., Sharma, A., & Talukder, G. (1988). Some aspects of aluminium toxicity in plants. *Bot. Rev.*, 54(2), 145–178.
- Rubio, J. C. G., de Lena, G. G. G., & Ara, M. C. (2014). El cultivo del frambueso, (Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA)).
- SAGARPA. (2017a). Crece la producción de Frambuesa en México. Retrieved from <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/crece-la-produccion-de-frambuesa-en-mexico>
- SAGARPA. (2017b). Se duplica en tres años la producción de “Hecho en México.” Retrieved from [http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JA\\_C\\_00201\\_07.aspx](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JA_C_00201_07.aspx)
- Savvas, D., & Ntatsi, G. (2015). Biostimulant activity of silicon in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 66–81. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.010>

- Schwarz, D., Grosch, R., Gross, W., & Hoffmann-Hergarten, S. (2005). Water quality assessment of different reservoir types in relation to nutrient solution use in hydroponics. *Agricultural Water Management*, 71(2), 145–166. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.07.005>
- Sette, P., Salvatori, D., & Schebor, C. (2016). Food and Bioproducts Processing Physical and mechanical properties of raspberries subjected to osmotic dehydration and further dehydration by air- and freeze-drying. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 156–171. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.018>
- Shaaban, M., Peng, Q., Lin, S., Wu, Y., Salman, M., Wu, L., ... Hu, R. (2016). Dolomite application enhances CH<sub>4</sub> uptake in an acidic soil. *Catena*, 140, 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.01.014>
- Shaabn, M. (2014). Nitrous oxide emission from two acidic soils as affected by dolomite application. *Soil Res*, 36, 875–879.
- SIGMA-ALDRICH. (2014). 19160 SOD determination kit. Retrieved from <https://www.sigmaaldrich.com/content/dam/sigmaaldrich/docs/Sigma/Datasheet/6/19160dat.pdf>
- Sosa, G. L., & Zalts, A. (2012). Un trabajo de laboratorio con enfoque ambiental. *Educación Química*, 23(4), 492–497. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30138-6](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30138-6)
- Sparks, D. L. (2003). Environmental Soil Chemistry. *Academic Press*, (San Diego).
- Steiner, A. A. (1961). A Universal Method for Preparing Nutrient Solutions of a Certain Desired Composition. *Plant and Soil*, 15, 134–154.
- Sultana, B., Anwar, F., & Ashraf, M. (2009). Efect of extraction solvent/technique on the antioxidant activity of selected medicinal plant extracts. *Molecules*, 14(2), 167–2180.
- Teng, H., Fang, T., Lin, Q., Song, H., Liu, B., & Chen, L. (2017). Trends in Food Science & Technology Red raspberry and its anthocyanins : Bioactivity beyond antioxidant capacity. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 153–165. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.015>
- Tipping, E., Thompson, D. W., Ohnstad, M., & Hetherington, N. B. (1986). Effect of pH on the release of metals from naturally-occurring oxides of Fe and Mn. *Environ. Technol. Lett.*, 7, 109–114.
- Treftz, C., & Omaye, S. T. (2015). Nutrient Analysis of Soil and Soilless Strawberries and Raspberries Grown in a Greenhouse. *Food and Nutrition Sciences*, 06(09), 805–815. <https://doi.org/10.4236/fns.2015.69084>
- Trujillo, A. T. (2014). Efecto de la roca fosfórica parcialmente acidulada y calcinada en la producción de maíz. *Revista de Colombia de Investigaciones*

*Agroindustriales*, 1, 55–62.

- Trujillo, A. T., Gómez, V. H. P., Herrera, C. H. B., & Cárdenas, E. M. (2015). Procesos de acidulación parcial y calcinación de la roca fosfórica del Huila para nuevos productos fertilizantes. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, (2), 37–44.
- Velázquez, M. S., Cabello, M. N., Elíades, L. A., & Russo, M. L. (2017). Combinación de hongos movilizadores y solubilizadores de fósforo con rocas fosfóricas y materiales volcánicos para la promoción del crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4), 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.07.005>
- Weitkamp, J. (2000). Zeolites and catalysis, 131, 175–188.
- Yadav, H., Fatima, R., Sharma, A., & Mathur, S. (2017). Enhancement of applicability of rock phosphate in alkaline soils by organic compost. *Applied Soil Ecology*, 113, 80–85. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.02.004>
- Yamamoto, Y., Kobayashi, Y., Devi, S. R., Rikiishi, S., & Matsumoto, H. (2002). Aluminum toxicity is associated with mitochondrial dysfunction and the production of reactive oxygen species in plant cells. *Plant Physiol*, 128(1), 63–72.
- Zoffoli, J. P., Naranjo, P., & Leiva, F. (2010). Nuevas técnicas para Prolongar el Tiempo Poscosecha de Frambuesas.