



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

**Variedades de fresa inoculadas con bacterias
promotoras del crecimiento vegetal en suelos
alcalinos**

José Alberto Ortiz Texon

Tesis

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO
Marzo 2014

La presente tesis titulada: Variedades de fresa inoculadas con bacterias promotoras del crecimiento vegetal en suelos alcalinos realizada por el alumno: José Alberto Ortiz Texon Bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EDAFOLOGIA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



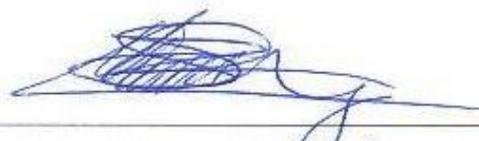
DR. JULIÁN DELGADILLO MARTÍNEZ

ASESOR



DRA. MARÍA DE LAS NIEVES RODRÍGUEZ MENDOZA

ASESOR



DR. GUILLERMO CALDERÓN ZAVALA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Marzo 2015.

RESUMEN

VARIEDADES DE FRESA INOCULADAS CON BACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL EN SUELOS ALCALINOS

**José Alberto Ortiz Texon, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2015**

Se realizó un primer experimento donde se midieron variables de crecimiento: producción de estolones, volumen radical, área foliar, producción de materia seca, concentración nutrimental (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Bo, Cu, Zn, Bo, Mo) en tratamientos con pH contrastantes (sustrato alcalino pH=8.6, sustrato alcalino pH=8.6 inoculado con *Paenibacillus polymyxa*, sustrato ácido pH=4.4) de seis variedades de fresa CP-Zamorana, CP-Jacona, CP-06-15, CP-Le-7, Albión y Festival. Las plantas de todas las variedades cultivadas en pH 4.4 superaron a las cultivadas en pH 8.6 en todas las variables evaluadas. Las variedades CP-06-15 y Festival fueron las que mejor se adaptaron a las condiciones de pH alcalino, un hubo efecto de la inoculación bacteriana. Se estableció un segundo experimento para determinar si la inoculación con rizobacterias solubilizadoras de fosfatos puede reducir los efectos negativos del pH alcalino en las variedades de fresa. Se compararon dos tipos de inoculación al momento del trasplante: aplicación con micropipeta e inmersión de las raíces en la suspensión bacteriana; además del tratamiento sin inoculación. Las variedades con mayor crecimiento en suelo con pH=8.6 fueron CP-06-15 y Festival, mismas que presentaron valores de producción de frutos altas y resistencia a la penetración baja, pero sólidos solubles totales altos. La inoculación bacteriana provocó efectos negativos en algunas de las variables estudiadas, especialmente en las variedades con menor crecimiento.

Palabras clave: rizósfera, pH, sustratos, solubilización de fosfatos.

ABSTRACT

VARIETY OF STRAWBERRY, INOCULATED WITH PLANT GROWTH PROMOTING BACTERIA IN ALKALI SOIL

José Alberto Ortiz Texon, M. C.
Colegio de Postgraduados, 2015

A first experiment where growth was measured variables was performed: production of stolons, root volume, leaf area, dry matter production, nutrient concentration (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Bo, Cu, Zn, Bo, Mo) treatments with contrasting pH (alkaline substrate pH = 8.6, pH = 8.6 alkaline substrate inoculated with *Paenibacillus polymyxa* and substrate acid pH = 4.4) of six varieties of strawberry CP-Zamorana, CP-Jacona, CP-06-15, CP-Le-7, Albión and Festival. The plants of all varieties grown in pH=4.4 exceeded those grown in pH=8.6 on all variables. The varieties CP-06-15 and Festival were best adapted to alkaline pH conditions. A second experiment was established to determine whether inoculation with phosphate solubilizing rhizobacteria can reduce the negative effects of alkaline pH in the strawberry varieties. Two types of inoculation at transplant were compared: application micropipette and dip the roots in the bacterial suspension; treatment without inoculation. The varieties with higher growth on pH=8.6 soil were CP-06-15 and Festival, same had high fruit production and total soluble solids but low penetration resistance. Bacterial inoculation caused negative effects on some of the variables studied, especially in varieties with lower growth.

Index words: rhizosphere, pH, substrate, phosphate solubilization

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Posgraduados y al Postgrado de Edafología por haberme brindado la oportunidad de continuar con mi formación académica.

Al Dr. Julián Delgadillo Martínez, por haber tenido la suficiente paciencia y basta sabiduría en la orientación, sugerencias y apoyo recibido durante la dirección y corrección de esta investigación.

A la Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza, por la atención y sugerencias en la redacción y revisión de esta investigación.

Al Dr. Guillermo Calderón Zavala, por su atención y asesoría para esta investigación.

Al Dr. Ronald Ferrera Cerrato por su apoyo como profesor y como un gran amigo, por escucharme y por sus buenos consejos.

Al personal técnico del laboratorio de Microbiología del suelo, por todo el apoyo brindado en mi instancia y hacerme los momentos de trabajo tan amenos: Edmundo Martínez Galán, Gabriel Vázquez González, Antonio Velazco González, Lorenzo Viana Monsalvo, Fernando Lopez Santillan.

A todas aquellas personas que de una u otra forma han contribuido en mi superación personal y profesional GRACIAS.

DEDICATORIA

A mi padre, siempre he sabido que has luchado para darme lo mejor que has podido

A mi madre por todo lo que me has dado, por traerme al mundo, cuidarme y hacerme una persona de bien

A mi hermana Marisol, por su gran apoyo y por todos sus consejos

A mis hermanos Isaías, Gonzalo por ser unas personas a quien admiro, quienes han sido un ejemplo a seguir

A mis hermanas Virginia, Angélica, por todo el cariño recibido

A mis sobrinos, cuñadas y cuñados que de alguna o de otra manera han contribuido a ser lo que hasta ahora soy.

Pero especialmente el presente va dirigido a mi hermano **Luis** que a pesar de ya no estar con nosotros, querido hermano te dedico mi esfuerzo donde te encuentres, siempre estarás en mi corazón. Te recuerdo, Te extraño, Te quiero mucho. Te dedico no solo este trabajo, saldré adelante y se que desde alla arriba estaras muy orgulloso de mi. Sé también que algún día nos volveremos a ver hermanito.

INDICE GENERAL

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
AGRADECIMIENTOS	vi
DEDICATORIA.....	vii
INDICE GENERAL	viii
ÍNDICE DE CUADROS	x
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 2. OBJETIVOS E HIPOTESIS	3
2.1. Objetivo general	3
2.1.2. Objetivos específicos	3
2. 2. Hipótesis general	3
2. 2. 1. Hipótesis específicas	3
CAPÍTULO 3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1. Origen de la fresa.....	4
3.2. Clasificación taxonómica.....	4
3.3. Morfología de la planta.....	5
3.4. Fenología del cultivo	5
3.5. Requerimientos ambientales.....	6
3.6. Suelos	7
3.6.1 Alcalinidad del suelo y disponibilidad nutrimental	8
3.7. El suelo, agente de vida	10
3.8. Rizósfera	11
3.9. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV)	13
3.10 Relación Planta-RPCV	14
3.11. Mecanismos de acción de las RPCV	15
3.12. Solubilización de fosfatos.....	16
3.13 Exudados radicales y ácidos orgánicos	18
3.14. Ácidos orgánicos producidos por RPCV	18
3.15. Enzimas fosfatasas	19
3.16 Efectos de la inoculación de RPCV en fresa.....	20

3.17 Conclusión de la revisión de literatura	22
CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS	23
4.1. FASE I. Crecimiento de variedades de fresa en suelos con pH contrastante	23
4.1.1. Localización	23
4.1.2 Material vegetal.....	23
4.1.3 Preparación de inoculante de bacterias promotoras del crecimiento vegetal	24
4.1.4 Tratamientos y diseño experimental	24
4.1.5. Establecimiento del experimento	25
4.1.6. Variables de estudio	26
4.1.7. Análisis de datos.....	29
4.2. FASE II. Crecimiento y rendimiento de variedades de fresa en suelo alcalino	29
4.2.1 Localización	29
4.2.2. Material vegetal.....	29
4.2.3. Inoculante	29
4.2.4. Diseño de tratamientos y diseño experimental	30
4.2.5 Manejo del experimento.....	31
4.2.6. Variables de estudio	31
4.2.7. Análisis de datos.....	36
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
FASE I. Crecimiento de variedades de fresa en suelos con pH contrastante	37
5.1.1 Variables agronómicas	37
5.1.2 Concentración nutrimental	44
FASE II. Crecimiento y rendimiento de variedades de fresa en suelo alcalino ..	50
5.2.1 Variables de rendimiento	50
5.2.2 Variables agronómicas	53
5.2.4. Cuantificación de la población bacteriana de la rizósfera de fresa	65
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	69
CAPÍTULO 7. LITERATURA CITADA	70
CAPITULO 8. APENDICE	87

ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Bacterias solubilizadoras de fosfatos estudiadas en los últimos años.....</i>	<i>17</i>
<i>Cuadro 2. Descripción de tratamientos instalados bajo malla sombra.....</i>	<i>23</i>
<i>Cuadro 3. Descripción de tratamientos de fase II. Crecimiento y rendimiento de variedades de fresa en suelo alcalino.....</i>	<i>31</i>
<i>Cuadro 4. Valores de Pr > F obtenidos en el Análisis de varianza para variables agronómicas (Cuadro A1, A2, A3, A4) Diferencias estadísticas para variedad, tipo de sustrato e interacción variedad por sustrato</i>	<i>37</i>
<i>Cuadro 5. Valores de Pr > F obtenidos en el Análisis de varianza de macronutrientes (Cuadro A5, A6, A7, A8, A9) Diferencias estadísticas en el análisis para variedad, tipo de sustrato e interacción variedad por sustrato</i>	<i>44</i>
<i>Cuadro 6. Diferencias estadísticas de macronutrientes en diferentes tipos de sustrato.....</i>	<i>44</i>
<i>Cuadro 7. Valores de Pr > F obtenidos en el Análisis de varianza de micronutrientes (Cuadro A10, A11, A12, A13, A14) Diferencias estadísticas en el análisis para variedad, tipo de sustrato e interacción variedad por sustrato.....</i>	<i>47</i>
<i>Cuadro 8. Diferencias estadísticas en la concentración de Micronutrientes en factor tipo de sustrato.....</i>	<i>48</i>
<i>Cuadro 9. Valores de Pr > F obtenidos en el Análisis de varianza de variables de rendimiento (Cuadro A15, A16, A17, A18, A19) Diferencias estadística para variedad, tipo de inoculación e interacción variedad por tipo de inoculación.....</i>	<i>50</i>
<i>Cuadro 10. Diferencias estadísticas en variables rendimiento y calidad de seis variedades de fresa en suelo alcalino con dos tipos de inoculación.....</i>	<i>50</i>
<i>Cuadro 11. Valores de Pr > F obtenidos en el Análisis de varianza de variables agronómicas (Cuadro A20, A21, A22, A23, A24), diferencias estadísticas para variedad, tipo de inoculación e interacción variedad por tipo de inoculación.....</i>	<i>53</i>
<i>Cuadro 12. Diferencias estadísticas de variables agronómicas de seis variedades de fresa en suelo alcalino con dos tipos de inoculación de RPCV.....</i>	<i>59</i>
<i>Cuadro 13. Valores de Pr > F obtenidos en el Análisis de varianza de micronutrientes (Cuadro A25, A26, A27, A28, A29), diferencias estadísticas para variedad, tipo de inoculación e interacción variedad por tipo de inoculación.....</i>	<i>60</i>

<i>Cuadro 14. Concentración de macronutrientos de seis variedades de fresa en suelo alcalino.....</i>	<i>61</i>
<i>Cuadro 15. Valores de Pr > F obtenidos en el Análisis de varianza de micronutrientos (Cuadro A30, A31, A32, A33, A34), diferencias estadísticas para variedad, tipo de inoculación e interacción variedad por tipo de inoculación.....</i>	<i>63</i>
<i>Cuadro 16. Concentración de micronutrientos de seis variedades de fresa en suelo alcalino con dos tipos de inoculación.....</i>	<i>63</i>
<i>Cuadro 17. Valores de Pr > F obtenidos en el Análisis de varianza de población de bacterias solubilizadoras de fosfato (Cuadro A35), diferencias estadísticas para variedad, tipo de inoculación e interacción variedad por tipo de inoculación.....</i>	<i>65</i>
<i>Cuadro 18. Variable población de bacterias solubilizadoras de fósforo de seis variedades de fresa en suelo alcalino con dos tipos de inoculación de RPCV.....</i>	<i>65</i>
Cuadro A1. Análisis de varianza para producción de estolones fase 1.....	87
Cuadro A2. Análisis de varianza para volumen radical fase 1.....	87
Cuadro A3. Análisis de varianza para área foliar fase 1.....	87
Cuadro A4. Análisis de varianza para materia seca fase 1.....	88
Cuadro A5. Análisis de varianza para concentración de Nitrógeno fase 1.....	88
Cuadro A6. Análisis de varianza para concentración de fósforo fase 1.....	88
Cuadro A7. Análisis de varianza para concentración de Potasio fase 1.....	89
Cuadro A8. Análisis de varianza para concentración de Calcio fase 1.....	89
Cuadro A9. Análisis de varianza para concentración de Magnesio fase 1.....	89
Cuadro A10. Análisis de varianza para concentración de Hierro fase 1.....	90
Cuadro A11. Análisis de varianza para concentración de Cobre fase 1.....	90
Cuadro A12. Análisis de varianza para concentración de Zinc fase 1.....	90
Cuadro A13. Análisis de varianza para concentración de Boro fase 1.....	91
Cuadro A14. Análisis de varianza para concentración de Molibdeno fase 1.....	91
Cuadro A15. Análisis de varianza para número de fruto fase 2.....	91
Cuadro A16. Análisis de varianza para rendimiento por planta fase 2.....	92

Cuadro A17. Análisis de varianza para volumen de fruto fase 2.....	92
Cuadro A18. Análisis de varianza para resistencia a la penetración fase 2.....	92
Cuadro A19. Análisis de varianza para solidos solubles totales fase 2.....	93
Cuadro A20. Análisis de varianza para lecturas SPAD fase 2.....	93
Cuadro A21. Análisis de varianza para volumen radical fase 2.....	93
Cuadro A22. Análisis de varianza para número de fruto fase 2.....	94
Cuadro A23. Análisis de varianza para clorofila fase 2.....	94
Cuadro A24. Análisis de varianza para materia seca fase 2.....	94
Cuadro A25. Análisis de varianza para Nitrógeno fase 2.....	95
Cuadro A26. Análisis de varianza Fósforo para fase 2.....	95
Cuadro A27. Análisis de varianza para Potasio fase 2.....	95
Cuadro A28. Análisis de varianza para Calcio fase 2.....	96
Cuadro A29. Análisis de varianza para magnesio fase 2.....	96
Cuadro A30. Análisis de varianza para Hierro fase 2.....	96
Cuadro A31. Análisis de varianza para Cobre fase 2.....	97
Cuadro A32. Análisis de varianza para Zinc fase 2.....	97
Cuadro A33. Análisis de varianza para Boro fase 2.....	97
Cuadro A34. Análisis de varianza para Molibdeno fase 2.....	98
Cuadro A35. Análisis de varianza para población de bacterias solubilizadoras de fosfato fase 2.....	98

Índice de Figuras

Figura 1. Producción de estolones por planta de seis variedades de fresa a los 125 días después del trasplante cultivadas en un sustrato ácido, suelo alcalino y suelo alcalino inoculado con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Los valores indican el promedio de tratamientos y la barra vertical indica el error estándar.....	35
---	----

Figura 2. Volumen radical de seis variedades de fresa a los 125 días después del trasplante cultivadas en un sustrato ácido, suelo alcalino y suelo alcalino inoculado con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Los valores indican el promedio de tratamientos y la barra indica la desviación estándar.....36

Figura 3. Producción de Área foliar de seis variedades de fresa a los 125 días después del trasplante cultivadas en un sustrato ácido, suelo alcalino y suelo alcalino inoculado con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Los valores indican el promedio de tratamientos y la barra indica la desviación estándar.....37

Figura 4. Materia seca total de seis variedades de fresa a los 125 días después del trasplante cultivadas en un sustrato ácido, suelo alcalino y suelo alcalino inoculado con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Los valores indican el promedio de tratamientos y la barra indica el error estándar.....38

Figura 5. Figura 5. Tamaño de la población de bacterias solubilizadoras de fosfatos en la raíz de cinco variedades de fresa con tres métodos de inoculación de RPCV.67

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

México cuenta con una superficie sembrada de fresa de 9248 ha divididas en producción de fruto y de planta, con un rendimiento medio de 44.66 ton ha⁻¹ a un precio medio rural de \$10,998 ha⁻¹, lo que generó ganancias al país más de 4,277 millones de pesos en el 2013 (SIAP, 2013).

En la actualidad, en algunas zonas productoras las plantaciones no expresan su máximo potencial, debido mayormente a problemas de nutrición, mostrando deficiencias de algunos elementos importantes para que la planta pueda completar su ciclo de vida, afectando finalmente al rendimiento y la calidad de los frutos. Estos problemas en el centro del país, se deben principalmente a la alcalinidad de los suelos.

Los suelos calcáreos en México son de gran importancia económica pues gran parte de ellos son utilizados en la producción de cultivos hortícolas y estos llegan a representar hasta un tercio de la superficie nacional (Navarro, 2010). Se le denomina comúnmente un suelo calcáreo aquel que posee en su composición grandes cantidades de carbonato de calcio. Estos suelos se encuentran normalmente en zonas de baja precipitación (< 500 mm), razón por la cual los cationes básicos como Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺ son pobremente lixiviados. Tales suelos tienen altas concentraciones de iones OH⁻ asociados con altos contenidos de bicarbonatos y carbonatos. Debido a estas características, los suelos calcáreos poseen un pH alcalino, niveles altos de carbonatos, en algunas ocasiones altos niveles de sodio que a partir de pH 8.5 se transforma en intercambiable, bajos contenidos de materia orgánica por lo que presentan una serie de antagonismos con otros elementos minerales. Por ello, dificultan la absorción de otros elementos minerales como el P, Fe, Mn y Zn (Navarro, 2010). Entre las alternativas para mejorar el rendimiento de los cultivos en suelos alcalinos se encuentra el uso de microorganismos.

En la última década, el estudio de microorganismos promotores del crecimiento vegetal ha cobrado importancia a nivel mundial debido a las múltiples ventajas que estos proporcionan. Algunos pueden promover el crecimiento de

plantas y proporcionar una mejor salud de las mismas a través de mecanismos directos o indirectos (Couillerot *et al.*, 2009; Richardson *et al.*, 2009)

Las bacterias alteran el desarrollo vegetal, el cual se relacionan con la producción de fitohormonas de tipo auxinas y giberelinas o la regulación de la producción e hormonas por parte de la planta, por lo que son capaces de contribuir al desarrollo y regulación de muchos parámetros fisiológicos. Además, incrementan la resistencia de las plantas a diversos factores ambientales, ya que pueden inducir o suprimir la expresión de una amplia gama de genes (Tsavkelova *et al.*, 2006). Así mismo, pueden afectar la disponibilidad de nutrientes por la intervención directa en los ciclos biogeoquímicos. Es el caso de la fijación biológica de N atmosférico y la solubilización de nutrientes tan importantes como el P (Camelo *et al.*, 2011).

Los efectos directos pueden evidenciarse en ausencia de otros microorganismos en estudio, mientras que los mecanismos indirectos se pueden observar en la interacción del microorganismos de interés con un fitopatógeno, mediante la cual se reducen los efectos dañinos en el vegetal (Díaz *et al.*, 2010).

Los estímulos indirectos incluyen una variedad de mecanismos por los cuales la bacteria inhibe el crecimiento de fitopatógenos entre ellos la producción y secreción de sideróforos, que secuestra el Fe disponible en la rizósfera y como resultado previene que cualquier patógeno vecino prolifere. La producción de un amplio rango de compuestos antimicrobianos de cianuro de hidrógeno, que inhibe algunos hongos (Ongena *et al.*, 2005), hidrolización de ácido fusárico, que es el agente causante de daños en plantas infectadas con *Fusarium* e hidrólisis de la pared celular de hongos patógenos (Lugtenberg *et al.*, 2004). Así, también actúan en la acidificación de la rizósfera debido a la producción de ácidos orgánicos y enzimas fosfatasas, en suelos con problemas de P fijado en coloides del suelo o en formas no disponibles por pH demasiado ácidos o alcalinos. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue determinar la respuesta en el crecimiento y rendimiento de variedades de fresa en suelos alcalinos inoculadas con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.

CAPÍTULO 2. OBJETIVOS E HIPOTESIS

2.1. Objetivo general

- Determinar la respuesta en el crecimiento y rendimiento de variedades de fresa en suelos alcalinos inoculadas con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.

2.1.2. Objetivos específicos

- Evaluar el crecimiento de seis variedades de fresa inoculadas con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal cultivadas en dos tipos de sustratos con pH contrastante.
- Cuantificar el efecto de la inoculación con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en seis variedades de fresa cultivadas en un suelo alcalino.

2. 2. Hipótesis general

Las variedades de fresa evaluadas tendrán diferente crecimiento y rendimiento en suelos alcalinos mismos que serán mejores con la inoculación de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal.

2. 2. 1. Hipótesis específicas

- Las variedades evaluadas tendrán diferente comportamiento en el crecimiento en suelos con pH contrastantes.
- El crecimiento, desarrollo de la planta y la calidad de fruto en plantas cultivadas en suelo alcalino será mayor en aquellas inoculadas con rizobacterias.

CAPÍTULO 3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Origen de la fresa

La fresa tiene gran cantidad de especies. 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. Con el descubrimiento de América, se encontraron dos nuevas especies de mayor tamaño, *Fragaria chiloensis* en Chile y *Fragaria virginiana* en Estados Unidos de América, que por su tamaño se les llamó fresones, las cuales fueron hibridados accidentalmente en los jardines europeos (Darrow, 1966 citado por Finn *et al.*, 2013; Hancock *et al.*, 2013).

El género *Fragaria* se origina del latín *fragancia*. Las principales variedades comerciales son el producto del cruce entre la especie *Fragaria virginiana* con la especie *Fragaria chiloensis* de fructificación menos dependiente de fotoperiodo. Estos híbridos se caracterizan por presentar frutos de mayor tamaño en relación con las especies originales. Es por ello que en la literatura también se les denomina fresones. Son frutas más jugosas, pero menos aromáticas que las especies originales; poseen flores hermafroditas y descendencia fértil, lo cual explica el por qué se convirtieron en el origen de las variedades modernas. Actualmente los híbridos se encuentran clasificados como *Fragaria x ananassa* (Barahona y Sancho, 1998).

3.2. Clasificación taxonómica

- Reino: Plantae
- Divicion: Magnoliphyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Rosales
- Familia: Rosaceae
- Subfamilia: Maloideae
- Género: *Fragaria*
- Especie: *Fragaria x ananassa* Duch.
- Nombre común: fresa

3.3. Morfología de la planta

- Raíces: la fresa posee un sistema radical fasciculado, constituido por un gran número de raíces y raicillas; la mayor parte de las raíces se encuentran localizadas superficialmente (Maroto y López, 1998).
- Tallo: está constituido por un eje corto, de aspecto cónico, denominado corona, en el que se observan numerosas escamas foliares. De esta corona se originan a través de yemas axilares, unas ramificaciones laterales denominadas estolones, que se caracterizan por poseer entrenudos muy distanciados entre sí, sobre los que aparecen rosetas de hojas y raicillas adventicias (Maroto y López 1998). Así mismo, los estolones tienen la capacidad de intercambiar agua y nutrientes entre la planta madre y sus hijos, lo que les permite sobrevivir en situaciones de poca humedad o daños radicales (Barahona y Sancho, 1998).
- Hojas: éstas aparecen en roseta, sobre la corona; suelen ser largamente pecioladas provistas de dos estípulas rojizas, su limbo está dividido en tres folíolos pediculares de bordes aserrados y con el envés recubierto de lenticelas (Maroto y López 1998). Poseen una gran cantidad de estomas de 300 a 400 mm^{-2} (Barahona y Sancho, 1998).
- Fruto: es un poliaquenio en el que la parte comestible, que es el receptáculo hipertrofiado, aloja los numerosos aquenios, La parte de la infrutescencia es variable: cónica, deprimida, globosa, esférica, acastañada. Su color en la madurez varía desde rosa claro a violeta oscuro (Maroto y López, 1998). Los aquenios producen hormonas que estimulan el crecimiento del receptáculo floral. Por problemas de fecundación se pueden producir deformaciones en el fruto al no desarrollarse todos los aquenios; en una misma inflorescencia puede haber frutos primarios, secundarios y terciarios. El tamaño del fruto y el número de aquenios varía según el orden de aparición de los frutos (Barahona y Sancho, 1998).

3.4. Fenología del cultivo

Fases fenológicas de fresón según Maroto y López (1998):

- Fase A o de reposo vegetativo: etapa en la que hay poco crecimiento foliar y se observan hojas rojizas y secas.
- Fases B o de iniciación de la actividad vegetativa: manifestada por la aparición de brotes turgentes y formación incipiente de hojas en estado rudimentario.
- Fase C o de botones verdes: en la cual entre las hojas en estado rudimentario se observan los botones verdes.
- Fase D o de botones blancos: en la que se observan estos en forma ostensible, sin que los pétalos se hayan desplegado.
- Fase E o de iniciación de la floración, cuando se constatan tres o cinco flores abiertas por planta.
- Fase F o de plena floración, cuando 50 % de las flores están abiertas.
- Fase G o de fin de la floración, cuando se observa la caída de los pétalos y se inicia el cuajado de los frutos.
- Fase H o de fructificación, cuando los frutos verdes son claramente ostensibles.

3.5. Requerimientos ambientales

La fresa es una planta cuyo desarrollo se ve influenciado por la temperatura, la luminosidad y la duración del día, fotoperiodo y termo período (Barahona y Sancho, 1998).

Fotoperiodo

La formación de flores está ligada a las necesidades de fotoperiodo, siendo las variedades reflorescentes y no reflorescentes de día corto (Barahona y Sancho, 1998; Bradford *et al.*, 2010). El fotoperiodo, en relación con el termoperíodo (reacción de las plantas a la variación anual, diaria o aperiódica de la temperatura), determina la inducción de la floración, el comportamiento productivo, así como la producción y longitud de estolones (Hasan *et al.*, 2011). Las principales variedades cultivadas en México son de día corto, es decir, sus embriones florales se diferencian en otoño por lo que sólo tienen una floración anual. Otras variedades, por el contrario, son de día largo y producen

inflorescencias y frutos durante el verano. Sin embargo, estas variedades forman pocos estolones por lo que se propagan por esquejes, además de que tienen fecundación desuniforme durante los meses más cálidos, lo que causa un porcentaje alto de frutos mal formados (Bianchi, 1999).

Un tercer grupo de variedades mejoradas son insensibles al fotoperíodo y se le conoce como de día neutro. Los principales cultivares de fresa en México proceden del programa de mejoramiento de la Universidad de California, Institución que ha creado variedades con amplia adaptación climática (Larson, 2000).

Temperatura

La fresa es considerada una especie que soporta temperaturas de 2 °C durante el reposo vegetativo y para interrumpir el estado durmiente de las yemas se requieren temperaturas inferiores a 6 °C. Las estructuras vegetativas son altamente resistente a las heladas pero sus flores se dañan con temperaturas menores a 0 °C (Bianchi, 1986). La diferenciación floral es inducida por la temperatura del ambiente, cuando las temperaturas menos de 15 °C, en temperaturas elevadas de 25°C la diferenciación floral es inhibida y por encima de los 32 °C ocurren abortos, aunque actualmente existen diferencias de comportamiento en relación a las condiciones climáticas (Hancock *et al.*, 2010; Rodríguez, 2010; Palencia *et al.*, 2013). De igual forma, se ha determinado el aumento de los niveles de peroxidasas en hojas de fresa ante el estrés provocado por altas temperaturas, además de planchado de los frutos, que es un síntoma de deshidratación (Maroto, 1983). Sin embargo, existen variedades adaptadas a zonas cálidas y soportan temperaturas de hasta 55 °C (Dirección General de Desarrollo Económico de Irapuato, 2003).

3.6. Suelos

La influencia que ejerce la naturaleza del suelo con su estructura física y contenido químico sobre las plantas, es una de las bases fundamentales para el desarrollo de éstas. Para Baudillo (1969, citado por Viana, 2010), se tiene en cuenta que el origen del fresal y la fresonera, proceden de los bosques de cierta

altura, por lo regular de suelos de naturaleza ácida, saturados de materia orgánica por la descomposición de residuos vegetales provenientes de la vegetación espontánea. La fresa puede prosperar en diferentes tipos de suelos, pero prefiere los ácidos o subácidos, con pH comprendido entre 5 y 6. Aun cuando algunos cultivares pueden adaptarse a suelos con pH 8 y 8.5, los mejores resultados se obtienen con pH comprendido entre 5,8 y 6,5 (Hernández, 1995). Niskanen y Dris (2002) indican que el más favorable pH para la producción de fresa es de entre 4.6 y 6.5. Cieslinski *et al.* (2004) determinaron que el pH 5.1 y pH 6.8 tenían diferentes efectos el desarrollo de la planta y el rendimiento de la fresa

3.6.1 Alcalinidad del suelo y disponibilidad nutrimental

Los suelos calcáreos en México son de gran importancia económica pues gran parte de ellos son utilizados en la producción de cultivos hortícolas y estos llegan a representar hasta un tercio de la superficie nacional. (Navarro, 2010). Se le denomina comúnmente un suelo calcáreo aquel que posee en su composición grandes cantidades de carbonato de calcio. Estos suelos se encuentran normalmente en zonas de baja precipitación (< 500mm), razón por la cual los cationes básicos como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ son pobremente lixiviados. Tales suelos tienen altas concentraciones de iones OH^- asociados con altos contenidos de bicarbonatos y carbonatos. Debido a estas características, los suelos calcáreos poseen un pH alcalino, niveles altos de carbonatos, en algunas ocasiones altos niveles de Na que a partir de pH 8.5 se transforma en intercambiable, bajos contenidos de materia orgánica, por lo que presentan una serie de antagonismos con otros elementos minerales lo que ocasiona dificultad en la absorción de otros elementos minerales como el P, Fe, Zn y Mn (Navarro, 2010).

El proceso de adsorción de fosfato es una propiedad importante del suelo, ya que los iones H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , en la disolución reaccionan con la superficie de los constituyentes del suelo, afectando la disponibilidad del fosfato para las plantas (Khouri, 2005). El contenido de P total en el suelo es alto en comparación con la acumulación en la planta, limitando el crecimiento del cultivo (Turner *et al.*, 2007; Ryan *et al.*, 2012). Así, cuando se tienen valores de pH básicos en el suelo, se

puede reducir la disponibilidad del (H_2PO_4^-) porque puede haber precipitación de sales de P al reaccionar con cationes como el Ca^{2+} o Mg^{2+} y formarse fosfatos poco solubles o insolubles (FAO, 2000).

En cuanto al Fe, la solubilidad en condiciones calcáreas es baja, en su mayoría debido a la alta presencia de carbonatos alcalinotérreos; además, que la presencia del ion bicarbonato tiene un efecto negativo en la absorción y transporte del Fe dentro de la planta (Zribi, 2002). Por ello, en el problema de la clorosis férrica están implicadas la naturaleza y las características de las distintas formas de hierro y de los carbonatos presentes en el suelo (Del Campillo y Torrent, 1994). Por otra parte, dentro de la planta, el principal factor asociado con la clorosis férrica bajo condiciones de suelos calcáreos parece ser el efecto del ión bicarbonato sobre la absorción y el transporte del Fe (Chouliaras *et al.*, 2004).

La absorción de Zn se reduce al elevarse el pH del suelo. Las deficiencias ocurren a valores de pH entre 6.0 y 8.0 (Núñez, 2007). Cuando el pH aumenta tiende a insolubilizarse como hidróxido. Experimentalmente se ha comprobado que la absorción de Zn por las plantas disminuye aproximadamente a la mitad cuando el pH del suelo aumenta de 5 a 7 (Navarro, 2003).

Cuando el pH aumenta, la cantidad de Cu fijado a la materia orgánica tiende a disminuir, ya que al aumentar la concentración de OH^- , la disminución de los grupos hidroxilos fenólicos como lugares de adsorción de Cu en la materia orgánica es menos probable. Por consiguiente, menos lugares cargados negativamente pueden existir y el ion dominante CuOH^+ no es fácilmente fijado (Navarro, 2003).

Por otra parte, altos valores de pH favorecen la oxidación química y bacteriana del Mn. Igualmente, la solubilidad de los boratos, aunque no depende directamente del suelo, los requerimientos del B por las plantas aumentan al elevarse el pH debido a la reacción calcio/boro en la nutrición vegetal (Núñez, 2007).

Asimismo, si el suelo tiene un alto contenido de CaCO_3 puede ocurrir una deficiencia de K porque este puede ser rápidamente lixiviado. También puede haber deficiencia de N asociado generalmente al bajo contenido de materia orgánica (Rowell, 1994).

3.7. El suelo, agente de vida

El subsistema edáfico es uno de los recursos más utilizados para satisfacer las necesidades humanas y es el hábitat de un gran número de poblaciones microbianas que interactúan con los diversos sustratos (Reyes *et al.*, 2007). El suelo, es de entre todos los ecosistemas terrestres, alberga numerosos organismos, desde insectos y lombrices detectados a simple vista, hasta bacterias y hongos microscópicos (Coleman *et al.*, 2004; Felipe, 2004). Los microorganismos se distribuyeron por nuestro planeta hace aproximadamente 3,500 millones de años, son los seres más numerosos que existen en la tierra. Son organismos ancestrales que han colonizado exitosamente cada nicho ecológico posible, se encuentran prácticamente en todas las regiones del planeta, desde los polos, en ambientes bajo el punto de congelación y muy secos, hasta los trópicos con temperaturas altas y con elevada precipitación pluvial. Incluyen hábitats donde las temperaturas superan los 80°C y pueden llegar hasta los 120°C , como en las fumarolas hidrotermales encontradas en las profundidades de los océanos. Otros incluyen lugares donde las temperaturas se encuentran cerca de los 0°C , aguas extremadamente ácidas con pH menor a 2, aguas alcalinas donde el pH está por encima de 10 y lagunas en que la concentración de NaCl puede llegar a ser mayor a 30% (Olembo, 1991, Gálvez, 2011, Muñoz y Bedoya, 2013). La vida de las plantas está condicionada por la existencia de esta amplia gama de microorganismos que viven asociados con ellas, los cuales pueden alterar la absorción de nutrientes por efecto directo sobre las raíces, por efecto sobre el medio y por competir directamente por los nutrientes del suelo.

Uno de los más abundantes y diversos grupos de microorganismos es el constituido por bacterias. Organismos menos evolucionados, de menor complejidad estructural, unicelulares con forma esférica, cilíndrica o en espiral,

capaces de crecer más rápidamente y poder utilizar una gran variedad de compuestos como fuentes de carbono y de nitrógeno, poseen una gran adaptabilidad, tanto fisiológica como genética. Las bacterias se localizan en la superficie de las partículas del suelo y en la materia orgánica, adheridas a las partículas de arcillas y humus, estas poseen una serie de mecanismos complejos que interactúan entre sí para establecer relaciones benéficas (Felipe, 2004; Gómez y Corlay, 2007; Camelo *et al.*, 2011).

3.8. Rizósfera

La mayoría de los microorganismos se encuentran interactuando en la rizósfera (región del suelo alrededor de la raíz de la planta influenciada por su metabolismo), donde el ambiente es distinto del resto de la zona edáfica. Uno de los fenómenos importantes que se produce en la rizósfera es la presencia de una gran variedad de sustancias orgánicas, como aminoácidos, ácidos orgánicos, carbohidratos, derivados de ácidos nucleicos, factores de crecimiento y enzimas que, directa o indirectamente, tienen influencia positiva o negativa sobre los microorganismos que ahí habitan. Se considera a la rizósfera como una zona de intensa actividad microbiana alrededor de las raíces, proporciona condiciones favorables para las poblaciones microbianas y su diversidad cuya influencia estimula el crecimiento y aumenta la densidad de microorganismos entre 10^2 a 10^3 respecto al resto del suelo. Esta zona es dinámica y cambiante, y tiene unas características físicas, químicas y biológicas diferentes del resto del suelo, es esencial para el funcionamiento de la planta, ya que ayuda a la planta en la absorción de nutrientes y ofrece protección contra el ataque de patógenos (Ferrera-Cerrato, 1995; López *et al.*, 2005; Berendsen *et al.*, 2012). Hiltner en 1904 (citado por Ferrera-Cerrato, 1995) definió la rizósfera como aquella porción de suelo en torno a las raíces, con una mayor actividad microbiana, resultante de la alta concentración de carbono y otros nutrientes existentes en esta zona. Ampliándose este concepto en la actualidad hasta considerar como rizósfera la porción de suelo influenciada por las raíces vivas, donde se identifican tres zonas:

- La ectorrizósfera: región del suelo influenciada por la raíz.

- El rizoplano: región radical que está en contacto directo con el suelo.
- La endorrizósfera: región del tejido cortical de la planta colonizada por microorganismos.

En los microambientes de la rizósfera están asentadas poblaciones microbianas asociadas a la presencia de los exudados radicales los cuales participan en la dinámica de los ciclos bioquímicos, así como en la formación de microagregados rizosféricos ricos en metabolitos microbianos (Harmann *et al.*, 2008). Las plantas liberan exudados radicales que equivalen hasta en un 20% del carbono fijado mediante la fotosíntesis; entre los compuestos liberados por la raíz se encuentran aminoácidos, ácidos grasos, nucleótidos, esteroides, azúcares, vitaminas y ácidos orgánicos (Lugtenberg y Kamilova, 2009). Se sabe que la composición de los exudados radicales está influenciada por el estado fisiológico de la planta y el sustrato, así como por la presencia de compuestos secretados por rizobacterias (Phillips *et al.*, 2004). Los microorganismos del suelo son quimiotácticamente atraídos por los exudados radicales, para después proliferar en este ambiente rico de carbono (Lugtenberg y Kamilova, 2009). Sin embargo, no sólo las plantas liberan materia orgánica en el suelo, sino que también son capaces de absorber algunos rizodepósitos, afectando así el flujo de carbono en la rizósfera. Es por esto que la raíz puede regular las poblaciones microbianas de su alrededor para hacer frente a malas hierbas y fomentar simbiosis mutualistas (Nardi *et al.*, 2000; Benizri *et al.*, 2010). En consecuencia, los microorganismos son encontrados en mayor número y diversidad en la rizósfera comparado con el suelo no rizosférico. Estas diferencias son atribuidas, a los exudados radicales, a la alteración de los niveles de O₂-CO₂, y a los cambios en la disponibilidad de nutrientes, que a su vez dependen de la especie de planta y su estado de crecimiento, de la acidez del suelo y del estrés de humedad, que comprende hasta 10¹⁰ bacterias g⁻¹ de suelo (Aciego, 2011; Gans *et al.*, 2005; Roesch *et al.*, 2007; Salt *et al.*, 1998;).

3.9. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV)

Algunos microorganismos pueden promover el crecimiento de plantas y proporcionar una mejor salud de las plantas a través de varios mecanismos directos o indirectos (Couillerot *et al.*, 2009; Richardson *et al.*, 2009). En las interacciones simbióticas planta-microorganismo los costos y los beneficios son compartidos por las plantas y los microorganismos (Odum y Barrett, 2005; Bulgarelli *et al.*, 2013). Se pueden clasificar en dos tipos principales de interacciones (Droque *et al.*, 2012). En primer lugar, las interacciones mutualistas interacciones entre microbios y una gama restringida de plantas huésped compatibles. Por lo general, conducen a la formación de una estructura dedicada específicamente a la interacción por ejemplo, los nódulos durante la simbiosis entre los rizobios y leguminosas (Parniske, 2008; Masson-Boivin *et al.*, 2009). En segundo lugar, las cooperaciones (también llamados simbiosis asociativas) corresponden a interacciones inespecíficas (Barea *et al.*, 2005; Droque *et al.*, 2012). Implican bacterias del suelo capaces de colonizar la superficie del sistema radical (y algunas veces tejidos internos) y para estimular el crecimiento y el desarrollo de la planta. Se conocen como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV, Barea *et al.*, 2005). Las RPCV son un grupo de diferentes especies de bacterias que pueden incrementar el crecimiento y productividad vegetal. Las RPCV pueden clasificarse en dos grupos: (i) Bacterias promotoras de crecimiento en plantas, donde la bacteria afecta a las plantas suprimiendo otros microorganismos. Los mecanismos que estas bacterias utilizan pueden ser a través de su propio metabolismo (solubilizando fosfatos, produciendo hormonas o fijando nitrógeno), afectando directamente el metabolismo de la planta (incrementando la toma de agua y minerales), mejorando el desarrollo radical, incrementando la actividad enzimática de la planta o “ayudando” a otros microorganismos benéficos para que actúen de mejor manera sobre las plantas (Bashan y Holguin, 1998). (ii) Bacterias promotoras de crecimiento en plantas con capacidad de control biológico, las cuales promueven el crecimiento de la planta al suprimir los fitopatógenos (Ferrera-Cerrato, 2007).

3.10 Relación Planta-RPCV

La actividad de las RPCV en general se inicia con mecanismos de quimiotaxis que están relacionados con la presencia de flagelos, quimiorreceptores y sistemas de regulación codificados genéticamente. Estos factores tienen gran importancia sobre la habilidad de colonizar la rizósfera y mantener la comunicación entre las células de la raíz con los microorganismos presentes en el suelo (Mavrodi *et al.*, 2006). También hay especies que son capaces de colonizar los espacios intracelulares superficiales de las raíces de las plantas (Mishra *et al.*, 2012). El éxito de la colonización de la raíz por la introducción de las RPCV, es un proceso complejo dependiente de las características bacterianas, exudados radicales y señalización celular entre la bacteria y la planta (Castro-Sowinski *et al.*, 2007). Estudios señalan que la bacteria tiende a concentrarse en sitios laterales de emergencia de la cápsula de la raíz, pelos radicales y punta de la raíz (Camelo, 2011).

Asimismo, la colonización de las RPCV depende de la movilidad y producción de polisacáridos (Lugtenberg 2009). En las interacciones planta-microorganismo, uno de los compuestos más estudiados han sido los lipopolisacáridos, presentes en la pared celular de las bacterias gram-negativas tanto beneficiosas como patogénicas. Los polisacáridos contribuyen al crecimiento y supervivencia de las bacterias en la planta favoreciendo la colonización, participando en el proceso de infección en la rizósfera y provocando la agregación de las células bacterianas colonizadoras (Sadasivan y Neyra, 1985, citados por Ferrera-Cerrato, 2007). La diversidad y el número de los mismos son determinadas en gran medida de la composición y concentración de los exudados por las raíces de las plantas (Wamberg *et al.*, 2003). Éstos son específicos de cada especie de planta y contienen azúcares y polisacáridos simples (tales como arabinosa, fructuosa, glucosa, maltosa, manosa y oligosacáridos), aminoácidos (tales como arginina, asparagina, cisteína y glutamina), ácidos orgánicos (tales como ácido acético, ascórbico, benzoico, ferúlico y málico) y compuestos fenólicos. De tal forma que las poblaciones bacterianas cambian de acuerdo a sus

requerimientos nutricionales y la disponibilidad de diferentes fuentes de carbono (Van Loon, 2007).

3.11. Mecanismos de acción de las RPCV

Las bacterias asociadas con la rizósfera de las plantas son capaces de generar varios mecanismos por los cuales afectan positivamente su crecimiento y desarrollo (Camelo *et al.*, 2011). Estos mecanismos pueden ser directos e indirectos para la promoción del crecimiento vegetal. Los mecanismos directos de promoción vegetal encierran varios procesos en los cuales, las bacterias alteran el desarrollo vegetal, los cuales se relacionan con la producción de fitohormonas de tipo auxinas y giberelinas o la regulación de la producción e hormonas por parte de la planta, capaces de contribuir al desarrollo y regulación de muchos parámetros fisiológicos. Además, incrementan la resistencia de las plantas a diversos factores ambientales, ya que pueden inducir o suprimir la expresión de una amplia gama de genes (Tsavkelova *et al.*, 2006). Asimismo, pueden afectar la disponibilidad de nutrientes por la intervención directa en los ciclos biogeoquímicos. Es el caso de la fijación biológica de nitrógeno y la solubilización de nutrientes tan importantes como el fósforo (Camelo *et al.*, 2011). Los efectos directos pueden evidenciarse en ausencia de otros microorganismos en estudio, mientras que los mecanismos indirectos se pueden observar en la interacción del microorganismos de interés con un fitopatógeno, mediante la cual se reducen los efectos dañinos en el vegetal (Díaz *et al.*, 2010). Los estímulos indirectos incluyen una variedad de mecanismos por los cuales la bacteria inhibe el crecimiento de fitopatógenos entre ellos la producción y secreción de sideróforos, que secuestran el hierro disponible en la rizósfera y como resultado previene que cualquier patógeno vecino prolifere debido a la falta de hierro. La producción de un amplio rango de compuestos antimicrobianos de cianuro de hidrógeno, que inhibe algunos hongos (Ongena *et al.*, 2005), hidrólisis de ácido fusárico, que es el agente causante de daños en plantas infectadas con *Fusarium* e hidrólisis de la pared celular de hongos patógenos (Lugtenberg *et al.*, 2004). Esta clasificación no ésta completamente diferenciada debido a la gran cantidad de interrelaciones entre los dos mecanismos, ya que ciertas bacterias poseen características

múltiples para promover el crecimiento de las plantas (Shaharoon et al., 2008). Una bacteria que influye en el crecimiento de plantas por la liberación de reguladores de crecimiento también puede desempeñar un papel en el control de patógenos o viceversa.

3.12. Solubilización de fosfatos

Las bacterias solubilizadoras de fosfatos pertenecen al grupo de las RPCV y son capaces de solubilizar fosfato inorgánico en diferentes formas, como son el fosfato bicálcico, fosfato tricálcico y rocas fosfóricas. Con el término “rocas fosfóricas” se conoce a los minerales que contienen P como es el caso de las apatitas, incluyendo fluorapatita, cloroapatita e hidroxiapatita. Hasta 1999 se conocían 13 géneros de bacterias con la capacidad de solubilizar fosfato: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium*, *Mesorhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Erwinia* (Rodríguez y Fraga, 1999). En la actualidad, el número de microorganismos estudiados está en aumento como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 2. Bacterias solubilizadoras de fosfatos estudiadas en los últimos años.

Bacteria solubilizadora de fosfato	Lugar de aislamiento	Referencia
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Suelos agrícolas y rizósfera de trigo	Adhikary <i>et al.</i> , 2014.
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> , <i>Brevibacillus parabrevis</i> , <i>Sphingomonas</i> sp.	Suelos agrícolas	Akbar <i>et al.</i> , 2014.
<i>Pantoea ananatis</i> , <i>Rahnella aquatilis</i> , <i>Enterobacter</i> sp.	Rizósfera de arroz	Bakhshandeh <i>et al.</i> , 2014.
<i>Paenibacillus polymyxa</i>		Eastman <i>et al.</i> 2014.
<i>Bacillus</i> sp.	Raíces de platano	Fernández <i>et al.</i> , 2014.
<i>Burkholderia thailandensis</i> , <i>Sphingomonas pituitosa</i> y <i>Burkholderia seminalis</i>	Cultivo de arroz	Panhwar <i>et al.</i> , 2014.
<i>Advenella</i> sp., <i>Cellulosimicrobium</i> sp.		Singh <i>et al.</i> , 2014.
<i>Aeromonas</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Enterobacter</i> .	Rizósfera de Tomate	Vaikuntapu <i>et al.</i> , 2104.
<i>Ochrobactrum</i> sp.	Raíces de <i>Pisum sativum</i> L.	Tariq <i>et al.</i> , 2014.
<i>Burkholderia gladioli</i> , <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	Mina de plomo y zinc	Tian <i>et al.</i> , 2014.
<i>Herbaspirillum seropedicae</i>	Raíz de arroz	Wang <i>et al.</i> , 2014.
<i>Enterobacter hormaechei</i>		Yadav <i>et al.</i> 2014.
<i>Serratia marcescens</i>		Gupta <i>et al.</i> 2012.
<i>Azotobacter chroococcum</i> , <i>A. salinestrif</i> , y <i>A. armeniacus</i>	Suelos agrícolas y no agrícolas	Panhwar <i>et al.</i> 2013.
<i>Rahnella</i> sp.	Rizósferas de cultivos en suelo calcáreo	Qiao <i>et al.</i> , 2013.
<i>Enterobacter hormaechei</i> , <i>E. asburiae</i> , <i>E. ludwigii</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i>	Huerto de mandarina	Thokchom <i>et al.</i> , 2013.
<i>Pseudomonas putida</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Klebsiella</i> sp., <i>Enterobacter asburiae</i>	Rizósfera de <i>Brassica campestris</i> (L.)	Ahemad and Khan., 2012a, Ahemad and Khan., 2012b y Ahemad and Khan., 2011a, Ahemad and Khan., 2011b.
<i>Bacillus aryabhatai</i>	Suelos ricos en fósforo	Hao <i>et al.</i> , 2012.
<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Sinorhizobium meliloti</i> y <i>B. licheniformis</i> , <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> , <i>Enterobacter agglomerans</i>	Rizósfera de <i>Taxus chinensis</i> var. mairei	Ren <i>et al.</i> 2012.
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> , <i>Rahnella aquatilis</i>	<i>Pennisetum glaucum</i>	Rokhbakhsh-Zamin <i>et al.</i> , 2011.
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Aerococcus</i> sp.	Suelos salinos	Srinivasan <i>et al.</i> , 2012.

3.13 Exudados radicales y ácidos orgánicos

La raíz excreta numerosos compuestos químicos que actúan como mediadores de diversas interacciones de las plantas en la rizósfera. Los exudados secretados incluyen azúcares, polisacáridos, aminoácidos, ácidos aromáticos, ácidos alifáticos, ácidos grasos, esteroides, compuestos fenólicos, enzimas, proteínas, reguladores del crecimiento vegetal y metabolitos secundarios (Badri *et al.*, 2009).

Los ácidos orgánicos presentes en los exudados radicales, son generalmente del tipo bajo peso molecular y éstos son liberados hacia la solución de suelo, pueden aumentar o disminuir el pH de la rizósfera dependiendo de la forma en que se liberan (Jones, 1998; Javed *et al.*, 2013). Éstos ácidos orgánicos han sido involucrados en diversos procesos del suelo, participan en la proliferación microbiana en la rizósfera (Bacilio *et al.*, 2003), han demostrado ser quimio-atrayentes de los organismos de control biológico (Hong-Ling *et al.*, 2008; Rudrappa *et al.*, 2008). Son importantes en la acidez del suelo y en el reciclaje de elementos menores (Fe, Cu, Mn, Zn). Químicamente el grupo ácido de estos compuestos puede ceder fácilmente su protón en el rango del pH de suelo. El H⁺ disociado ataca a los minerales y promueve su descomposición y el grupo COO⁻, base Lewis, forma complejos solubles con los cationes metálicos liberados del mineral, ácido de Lewis. Este tipo de reacción con los minerales hace muy eficiente el proceso de disolución mineral (Zapata, 2011). Los ácidos orgánicos incrementan la absorción nutrimental de las plantas en condiciones de alcalinidad debido a la acción de estos en la solubilización de minerales, que se atribuye a que disminuyen el pH y, más aún, a la formación de complejos estables con Ca²⁺, Mg²⁺, Fe³⁺ (Paredes, 2010). Estos ácidos tienen una vida corta en el suelo, quizás horas, pero son producidos constantemente (Zapata, 2011).

3.14. Ácidos orgánicos producidos por RPCV

Entre los ácidos orgánicos producidos por rizobacterias reportados se encuentran el ácido glucónico producido por *Gluconacetobacter diazotrophicus*

(Nieto-Peñalver *et al.*, 2014), producido por *Pseudomonas sp.* (Kaur *et al.*, 2006), *Citrobacter sp.* (Patel *et al.*, 2008) *Enterobacter intermedium* (Gómez *et al.*, 2010). Otro metabolito solubilizador de fosfato es el ácido 2-cetoglucónico, sintetizado por *Pseudomonas aeruginosa* (Rojas *et al.*, 2006), *Pseudomonas fluorescens* (Sun *et al.*, 2012) *Bacillus cereus*, *Ketogulonicigenium vulgare* (Ding *et al.*, 2014), *Bacillus megaterium* (Zhou *et al.*, 2011) y *Burkholderia cepacia* (Sopheareth *et al.*, 2013). Algunas cepas de *Pseudomonas sp.*, *Bacillus liqueniformis* (Wang *et al.*, 2011) y *Bacillus amyloliquefaciens* (John *et al.*, 2008), *Paenibacillus sp.* producen mezclas de ácidos oxálico, láctico, isovalérico, isobutírico y acético (Vyas y Gulati, 2009; Aswathy *et al.*, 2013).

El ácido glucónico y 2-cetoglucónico son los agentes más frecuentes para la solubilización de fosfatos y sales insolubles (Goldstein *et al.*, 2003; Nieto-Penalver *et al.*, 2014), Se ha encontrado que cuando el P era suministrado como Ca-P, el principal ácido orgánico producido era el ácido glucónico, mientras que cuando el P se suministró como Al-P o Fe-P, la mayor producción de ácido correspondió al ácido oxálico y no se detectó producción del ácido glucónico (Patiño, 2010). Se han descrito otros posibles mecanismos que incluyen la liberación de protones por la célula bacteriana y su intercambio por cationes (Ca^{2+} , Fe^{2+} y Al^{2+}) que están unidos al P o la producción de ácidos inorgánicos como el ácido sulfhídrico, nítrico o carbónico (Hariprasad *et al.*, 2009).

3.15. Enzimas fosfatasas

Como se ha mencionado anteriormente, las bacterias solubilizadoras de fósforo, están presentes en los suelos y desempeñan un papel importante en el suministro de P para las plantas (Singh y Satyanarayana *et al.*, 2011). Uno de estos procesos es la mineralización de fósforo orgánico (Po) a fósforo inorgánico (Pi) soluble, la cual ocurre por acción de enzimas llamadas fosfatasas, este proceso está influenciado por la temperatura, el pH, aireación, naturaleza del material orgánico y relación carbono/fósforo (Núñez, 2007). Las BSP hidrolizan el fósforo orgánico secretando fosfatasas como fitasas y fosfatasas ácidas/alcalinas (Singh y Satyanarayana *et al.*, 2011), las ácidas son producidas por

microorganismos y plantas superiores, mientras que las alcalinas son producidas principalmente por microorganismos (Gómez, 2004).

Esta clasificación se basa en el pH al cual presentan una actividad óptima por lo que las fosfatasas alcalinas que exhiben actividad óptima a pH elevado (8,3 a 9,4) y fosfatasas ácidas que presentan actividad óptima a pH bajo (4,7 a 5,5). Yoshioka *et al.*, (2006) indican que el mecanismo de acción de estas enzimas consiste en liberar los iones ortofosfato (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}) a través de la hidrólisis de enlaces ésteres y anhídridos de H_3PO_4 de compuestos orgánicos.

3.16 Efectos de la inoculación de RPCV en fresa

Algunos estudios mencionan los beneficios de inocular RPCV en el cultivo de fresa por ejemplo:

Ipek *et al.* (2014) evaluaron cepas de los géneros *Alcaligenes*, *Staphylococcus*, *Agrobacterium*, *Pantoea*, y *Bacillus*, al inocular el cultivar aroma. Encontraron que todos los tratamientos bacterianos afectaron significativamente parámetros de rendimiento y crecimiento, así mismo concluyeron que las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, hierro, cobre, manganeso, boro en tejidos vegetales se incrementaron significativamente por los tratamientos bacterianos.

Lata *et al.* (2013) encontraron que al aplicar una fertilización compuesta de una mezcla de *Azotobacter* (25 mL en 20 L) + *Azospirillum* (25 mL en 20 L) +, (50%) de una fórmula 90-75- 60 kg ha⁻¹ de NPK + composta (50 t ha⁻¹), obtuvieron diferencias en altura de la planta, número de hojas por planta, longitud de hojas y ancho de hojas de fresa cv. Chandler, en comparación con el tratamiento testigo con una dosis de fórmula de fertilización completa 90-75- 60 kg ha⁻¹ de NPK.

Karlidag *et al.*, (2013) realizaron inoculaciones con cepas de *Bacillus subtilis*, *B. atrophaeus*, *B. sphearicus*, *Staphylococcus kloosii* y *Kocuria erythromyxa* mediante el método de inmersión de raíces. Las plantas aumentaron significativamente su crecimiento, contenido de clorofila, contenido nutrimental y rendimiento de frutos de fresa en condiciones de estrés salino, en comparación con el tratamiento control donde se sumergió a las raíces en agua estéril.

Tortora *et al.* (2013) reportan que al inocular plantas de fresa con *Azospirillum brasilense* contra la antracnosis, la bacteria *A. brasilense* participa activamente en la inducción de protección sistémica en plantas de fresa contra la enfermedad antracnosis causada por *Colletotrichum acutatum*

González (2012), evaluó el efecto de la inoculación de plantas de fresa de variedades Albion y Jacona con *Bacillus subtilis*. Las rizobacterias mejoraron el crecimiento y el rendimiento en ambas variedades de fresa. El tratamiento con *B. subtilis* incrementó significativamente el peso medio de fruto en Jacona (59%) y en Albion (50%), el diámetro ecuatorial de fruto (18%), el contenido de vitamina C (18%) en Jacona y el contenido de azúcares reductores en Albión (70%) y Jacona (21%). Asimismo, se incrementó el contenido de flavonoides (2.1 veces) en la variedad Jacona. En la variedad Albion los tratamientos con rizobacterias incrementaron significativamente el contenido de compuestos fenólicos con respecto al testigo (1.3 veces). *B. subtilis* incrementó el contenido de antocianinas en frutos en 1.8 veces comparado con el testigo.

Castillejo (2011) determinó el efecto de *Azospirillum* en plantas de fresa encontrando que se incrementaba significativamente el área foliar, peso fresco y seco, y el rendimiento de fruto, en un 26%, 28%, 37% y 125%, respectivamente, en comparación con las plantas no inoculadas.

Asimismo, Esitken *et al.* (2010) evaluaron el crecimiento, rendimiento y contenido nutrimental de fresa cultivar Fern al inocular con cepas de *Pseudomonas* y *Bacillus* y obtuvieron datos a través de tres años. Encontrando que se aumentó significativamente el rendimiento de fruta, hasta un 33.2 %, y que también hubo un aumento del contenido de fósforo y zinc en hoja.

Erturk *et al.* (2010) reportan que al inocular con *Paenibacillus polymyxa* y *Bacillus sp.* el cultivar Fern, aumentaron el rendimiento un 20 y 85%, el peso promedio de fruto un 19 y 26%, respectivamente, en comparación con el testigo; asimismo, estos autores no encontraron diferencias en el área foliar al inocular con las rizobacterias

Umar *et al.* (2009) indican que con la aplicación de 25 % de nitrógeno a través de estiércol más inoculación con *Azotobacter sp.*, las plantas de fresa

estuvieron a la par con las plantas suministradas con ciento por ciento de nitrógeno en forma de urea en combinación con *Azotobacter sp.* en variables como, área foliar, tamaño del fruto y peso del fruto.

3.17 Conclusión de la revisión de literatura

Las condiciones alcalinas del suelo causan varios problemas nutricionales en las plantas debido a la incapacidad de las plantas de absorber elementos esenciales para su crecimiento.

El crecimiento de las plantas está condicionado por la existencia de una amplia gama de microorganismos que viven asociados a sus raíces, los cuales alteran la absorción de nutrientes por el denominado efecto de rizósfera. Las RPCV son un grupo de bacterias de diferentes especies que incrementan el crecimiento y productividad vegetal debido a que fijan N atmosférico, solubilizan fosfatos, producen reguladores de crecimiento, sideróforos, ácidos orgánicos y enzimas fosfatasas. Estos ácidos orgánicos excretados por las plantas tienen importancia en la acidez del suelo, incrementan la absorción nutrimental de las raíces debido a la solubilización de minerales que se encuentran en formas insolubles a pH altos y a la formación de complejos estables de Ca^{2+} , Mg^{2+} y Fe^{2+} . Las RPCV participan además en el procesos de mineralización de fósforo orgánico a través de enzimas fosfatasas al liberar los iones ortofosfato (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}) a través de la hidrólisis de enlaces ésteres y anhídridos de H_3PO_4 de compuestos orgánicos.

CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. FASE I. Crecimiento de variedades de fresa en suelos con pH contrastante

4.1.1. Localización

La investigación se realizó en un invernadero tipo capilla de 4.5 m de altura y cubierta de malla sombra con estructura de acero galvanizado, orientación nortesur. Se ubica a 19° 29' N y 98° 53' O y 2,260 m de altitud en el módulo de investigación de la LP14 Agronegocios, Agroecoturismo y Arquitectura del Paisaje en el *Campus* Montecillo del Colegio de Postgraduados. El clima es C (Wo) (W) b (y) g, descrito como templado subhúmedo con precipitación media anual de 645 mm y temperatura promedio anual de 15 °C, con heladas tempranas a final de septiembre y tardías en abril (García, 1973).

4.1.2 Material vegetal

Se cultivaron en macetas plásticas de 8 L de capacidad, plantas de fresa de las variedades CP-Zamorana, CP-Jacona, Festival, Albión, y de las líneas avanzadas CP-LE-7 y CP-06-15 del Programa de Mejoramiento del Colegio de Postgraduados, y propagadas por la empresa Planamérica S. de R.L. de C.V.

CP-Zamorana: altamente productiva de frutos grandes, de calidad y firmeza superior; producción precoz, con altos porcentajes de fruta con calidad de exportación; adecuada para consumo en fresco por su gran balance en sabor (Calderón *et al.*, 2009).

CP-Jacona: fruto grande y firme de excelente sabor, adecuado para consumo en fresco; altamente productiva con altos porcentajes de fruto con calidad de exportación; producción precoz (Calderón *et al.*, 2009).

Festival: variedad de día corto, moderadamente sensible a *Verticillium dahliae* y antracnosis del fruto. Fruto de forma cónica. El color externo es rojo oscuro y el interno rojo brillante (Sánchez *et al.*, 2013).

Albi3n: variedad de d3a neutro, frutas grandes c3nicas y alargadas con color rojo intenso, planta mediana que facilita recolecci3n de la fruta (CONAFRESA, 2011).

CP-LE-7: Selecci3n altamente productiva. Considerada fotoperi3dica de d3a corto. Planta vigorosa que produce frutos grandes de color rojo intenso brillante con casi ning3n hueco en el interior. Frutos firmes similares a la variedad Zamorana. El aspecto de la fruta es entre c3nica y cordiforme. Buena capacidad de multiplicaci3n en vivero. Estolones gruesos y fuertes. Presenta sensibilidad a enfermedades como cenicilla (*Sphaerotheca macularis*) y mancha angular (*Xanthomonas fragariae*) (S3nchez *et al.*, 2013).

CP-06-15: Selecci3n sobresaliente considerada fotoperi3dica de d3a corto; planta vigorosa con alta capacidad de producci3n de estolones gruesos y fuertes. Produce frutos grandes de interior lleno (sin hueco) de color rojo intenso y brillante. Tiende a producir frutos c3nicos y gran proporci3n de frutos aplanados. Presenta sensibilidad a enfermedades como cenicilla (*Sphaerotheca macularis*) y mancha angular (*Xanthomonas fragariae*) (S3nchez *et al.*, 2013).

4.1.3 Preparaci3n de inoculante de bacterias promotoras del crecimiento vegetal

Se utiliz3 una cepa bacteriana de la especie *Paenebacillus polymyxa*, la cual fue aislada de un suelo andosol de Mesas de Zacango, Villa de Allende, Estado de M3xico. Fue proporcionada por el laboratorio Microbiolog3a de Suelos del Colegio de Postgraduados. La bacteria se propag3 en caldo nutritivo y se incub3 a 28 °C con agitaci3n orbital (New Brunswick Scientific Edison) a 180 rpm durante cuatro d3as, hasta obtener una concentraci3n de 10^9 c3lulas mL⁻¹ del medio de cultivo de acuerdo con la escala de McFarland (McFarland, 1970).

A los 8 d3as despu3s del trasplante se inocul3 con 5 mL de una suspensi3n bacteriana con una concentraci3n de 10^9 c3lulas mL⁻¹, se realiz3 la distribuci3n del in3culo alrededor de la ra3z de la planta.

4.1.4 Tratamientos y dise1o experimental

El arreglo de los tratamientos fue factorial 3x6 en donde el primer factor es el tipo de sustrato (suelo con pH 8.6), suelo con pH 8.6 inoculado con rizobacterias, sustrato con pH 4.4, y el segundo factor son las seis variedades CP-Jacona, CP-Zamorana, Festival, Albión, Línea CP-LE-7 y Línea CP-06-15 (Cuadro 2). El diseño experimental fue completamente al azar; la unidad experimental consistió en una planta de fresa. Cada tratamiento contó con 8 repeticiones resultando un total de 144 plantas en el experimento.

Cuadro 2. Descripción de tratamientos instalados bajo malla sombra

Variedad	pH del sustrato	Inoculación de RPCV
CP Zamorana	4.4	Sin
	8.6	Sin
	8.6	Con
CP Jacona	4.4	Sin
	8.6	Sin
	8.6	Con
Festival	4.4	Sin
	8.6	Sin
	8.6	Con
Albión	4.4	Sin
	8.6	Sin
	8.6	Con
CP-LE-7	4.4	Sin
	8.6	Sin
	8.6	Con
CP-06-15	4.4	Sin
	8.6	Sin
	8.6	Con

4.1.5. Establecimiento del experimento

Manejo de plantas

Las fresas se trasplantaron a bolsas de polietileno de 8 L calibre 400 llenadas con 10 kg de una mezcla de suelo: perlita (4:1) con pH 8.6 o el mismo peso de un sustrato de pH 4.4 compuesto por un sustrato comercial (Vigoro Marca Registrada), turba (Peat Moss) y perlita, en proporción 2:2:1. Se intentó que la corona quedara a nivel del suelo/sustrato.

Las plantas fueron regadas cada tercer día con agua de pozo, en días lluviosos no se aplicó riego debido a que estas se encontraban bajo una malla sombra. El control de malezas fue de manera manual. Se realizó una aplicación de Karate 600 para controlar la mosquita blanca. Los estolones, una vez emitidos y registrados, se podaron manualmente.

4.1.6. Variables de estudio

Al final del período experimental (125 días después del trasplante, ddt) se cosecharon todas las plantas por tratamiento y por unidad experimental, y se determinaron las siguientes variables:

Producción de estolones: se realizó un conteo del número total de estolones producidos por la planta durante el periodo experimental.

Volumen radical: Se midió el volumen de la raíz y la corona utilizando una probeta de 500 mL para determinar el volumen de agua desplazado. Los datos se expresaron en cm³.

Área foliar: para la estimación del crecimiento, se determinó el área foliar, con ayuda de un integrador foliar LI-3000 (LI.COR, Nebraska, E. U. A.).

Producción total de materia seca: La planta se dividió en raíz con corona y hoja con peciolo, posteriormente las muestras de los diferentes órganos se colocaron en un horno a 70°C hasta que alcanzaron un peso constante y finalmente se pesaron en una balanza digital, los datos se expresaron en g.

Análisis nutrimental.

Determinación de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, B y Mo: se preparó el reactivo vanado-molíbdeno, el cual se obtiene al momento de utilizarse a partir de la mezcla por partes iguales de las siguientes soluciones:

- Ácido nítrico 1:2 se mezclaron 333 mL de ácido nítrico concentrado (65% p/p) con 667 mL de agua destilada.

- Vanadato de amonio 0.25 %: se disolvió 2.5 vanadato de amonio en 1 L de agua destilada.
- Molibdato de amonio a 1.5%: se disolvió 50 g de molibdato de amonio en 900 mL de agua destilada. Se calentó suavemente y se agitó para disolver los cristales se dejó enfriar y se aforó a un 1 L.

Solución patrón de 200 ppm de P. Se disolvió 0.8786 g de fosfato dihidrógeno de fosfato (KH_2PO_4), seco al horno, en agua y se diluyó a 1 L. Esta solución se guardó en frasco de plástico para evitar contaminación con arsénico.

Solución de 50 ppm. Se diluyeron 25 mL de la solución patrón en 100 mL de agua destilada.

Procedimiento

Se pesaron 0.250 g de material molido hasta que pasó por malla 30 y seco a 70° C en matraces Kjeldahl de 30 mL, se adicionaron 4 mL de ácido nítrico 65% p/p y 2 mL de ácido perclórico 70-72 % p/p. Se dejó reposar durante la noche, se adicionaron 2 gotas de kerosene para reducir la formación de espuma y 2 ó 3 perlas de vidrio para mantener una ebullición pareja. Se colocaron los frascos Kjeldahl en la unidad digestora y se calentaron a 150 °C, hasta que desaparecieron los vapores pardos del HNO_3 , este proceso toma entre 30 y 45 min. Durante esta etapa se rotaron los matraces para que se lavaran las paredes de todo el residuo orgánico. Posteriormente, se aumentó la temperatura del aparato digestor a 210° C. El ataque del ácido perclórico a la matriz orgánica residual se nota inicialmente por la aparición de vapores pardos leves y luego por la reacción viciosa con formación de espuma. Al final de la reacción aparecen vapores blancos densos, característicos del ácido perclórico. Esta etapa dura aproximadamente una hora. Después de la aparición de los vapores pesados se dejó la muestra por 5 minutos en el aparato digestor, la solución madre se llevó a volumen de 25 ml la cual fue filtrada con un filtro de calidad 41 (Whatman Inc. E.U.A.) y se leyeron los elementos P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Bo, Mo, en ICP.

Determinación de nitrógeno total. La molienda del material se llevó hasta poderlo pasar por una malla 30. Se pesó 0.1 g de material en un frasco micro-Kjeldahl, se adicionaron 4 mL de la mezcla de ácido sulfúrico con ácido salicílico, cuidando que el ácido se ponga en íntimo contacto con la muestra. Se dejó en reposo durante la noche (predigestión), se calentó cuidadosamente la muestra hasta que cesó la formación de espuma, después de 15 min se dejó enfriar la solución. Posteriormente se adicionó 1.1 de mezcla catalizadora (sulfato de potasio, sulfato de cobre y selenio negro), se volvió a digerir aumentando la temperatura hasta 360 °C para permitir la mezcla del ácido con sales, después de una hora ebullición la mezcla se aclaró, tornándose de un ligero color azulado. Cuando se alcanzó este punto, se dejó ebullición lentamente por una hora. Posteriormente se transfirió el contenido al tren de destilación micro-Kjeldahl, se colocó un matraz Erlenmeyer de 125 mL en el tubo de salida del aparato digestor conteniendo 10 mL de la solución H₃BO₃ + indicadores. Se adicionaron 10 mL de NaOH 10N de modo que la sosa se depositó en el fondo de la cámara de destilación. Se destiló hasta que el volumen alcanzó la marca de los 50 mL en el matraz Erlenmeyer (el color de la muestra es de color verde esmeralda). Luego se determina el nitrógeno amoniacal presente en el destilado titulando con el H₂SO₄ 0.05 N (el vire es de verde a rosa intenso). Finalmente, el porcentaje de N en la muestra se determina según el gasto de ácido sulfúrico con la siguiente fórmula:

$$((Vm - Vb) \times N \times 14) / (P \times 10)$$

donde:

Vm =Volumen del ácido sulfúrico empleado en titular la muestra (mL)

Vb =Volumen del ácido sulfúrico empleado en titular el blanco

N =Normalidad exacta del ácido sulfúrico

14=Peso mili-equivalente del N

P =Peso de la muestra expresado en g.

10=Factor para convertir a porcentaje

4.1.7. Análisis de datos

Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0 a los cuales se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) y se hizo una prueba de comparación de medias (Tukey, $\alpha=0.05$). Se realizó una comparación entre las medias de los tres tratamientos (sustrato pH: 4.4, suelo pH: 8.6, suelo inoculado pH: 4.4) para cada variedad. Además para las variables área foliar, materia seca total, volumen radical, número de estolones, contenido de N y P en la parte aérea se hizo una comparación de medias sólo entre los tratamientos del suelo pH 8.6 con y sin inoculación.

4.2. FASE II. Crecimiento y rendimiento de variedades de fresa en suelo alcalino

4.2.1 Localización

La investigación se realizó en el invernadero del Área de Nutrición Vegetal, el cual es de tipo cenital con diseño de media luna a 4.5 m de altura y cubierta de película plástica, estructura de acero galvanizado, orientación norte-sur, ubicado en los campos experimentales del *Campus* Montecillo del Colegio de Postgraduados a 19° 29' N y 98° 53' O y 2, 260 m de altitud.

4.2.2. Material vegetal

Se cultivaron plantas de fresa de las variedades CP-Zamorana, CP-Jacona, Festival, Sabrina, y de las líneas de investigación CP-LE-7 y CP-06-15. Las características se describen en el experimento anterior y las de la variedad Sabrina son: planta vigorosa, erecta y compacta, de hojas de color verde intenso en el haz. Buen sistema radical que regenera bien en suelos normales. Ligeramente precoz, frutos de forma cónica alargada. Estas variedades fueron propagadas por la empresa Planamérica S. de R.L. de C.V.

4.2.3. Inoculante

Se utilizaron 4 cepas bacterianas (*Pseudomonas tolassi* A46 y P61, *Paenibacillus polymyxa* BPS1.1 y *Bacillus pumilus* R-44), las cuales fueron proporcionadas por el laboratorio Microbiología de Suelos del Colegio de

Postgraduados. Las cepas se propagaron en caldo nutritivo en incubadora con agitación rotatoria (New Brunswick Scientific) a 180 rpm durante cuatro días a 28 °C, hasta obtener una concentración de 10^9 células mL⁻¹, de acuerdo con la escala de McFarland (McFarland, 1970).

Tratamiento inmersión de raíces: las raíces de fresa se sumergieron durante 5 minutos en la suspensión bacteriana antes mencionada, posteriormente fueron trasplantadas a bolsas de polietileno, tratando de que la corona quedara a nivel del suelo.

Tratamiento inoculación directa: a la semana de haber sido trasplantadas, se realizó el segundo tratamiento que consistió en inocular a la planta con 10 mL de una suspensión bacteriana con una concentración de 10^9 células mL⁻¹.

4.2.4. Diseño de tratamientos y diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar. El arreglo de los tratamientos fue factorial 3x6 en donde un factor es la inoculación con bacterias (sin inoculación, inmersión de la raíz en una suspensión de bacterias e inoculación con micropipeta), y el otro factor son seis diferentes variedades (CP-Jacona, CP-Zamorana, Festival, Sabrina, Línea CP-LE-7 y Línea CP-06-15) (Cuadro 3). La unidad experimental consistió en una planta de fresa. Cada tratamiento contó con 6 repeticiones; siendo un total de 108 plantas para todo el experimento.

Cuadro 3. Descripción de tratamientos de Fase II. Crecimiento y rendimiento de variedades de fresa en suelo alcalino.

Variedad de fresa	Tipo de Inoculación microbiana
CP Zamorana	Sin inoculación
	Inoculación por Inmersión
	Inoculación directa
CP Jacona	Sin inoculación
	Inoculación por Inmersión
	Inoculación directa
Festival	Sin inoculación
	Inoculación por Inmersión
	Inoculación directa
Sabrina	Sin inoculación
	Inoculación por Inmersión
	Inoculación directa
CP-LE-7	Sin inoculación
	Inoculación por Inmersión
	Inoculación directa
CP-06-15	Sin inoculación
	Inoculación por Inmersión
	Inoculación directa

4.2.5 Manejo del experimento

A cada maceta con la planta de fresa se le colocó una capa superficial de tezontle de 2 cm para evitar el encostramiento del suelo alcalino. Las plantas fueron regadas cada tercer día con agua de pozo, después de 87 días del trasplante (ddt) todas las plantas fueron regadas cada 15 días con solución Steiner al 50% para suministrar en forma homogénea nutrimentos. Durante el crecimiento de plantas se realizó una aplicación de Karate 600 para controlar la mosquita blanca y evitar la aparición de algunos gusanos. El control de malezas fue manual.

4.2.6. Variables de estudio

Dinámica de producción de fruto por planta. Producción mensual y producción acumulada por planta. La toma de datos inicio a los 134 ddt y culminó a los 227. Los frutos de fresa se cosecharon en estado de madurez comercial (3/4 del total de la superficie del fruto con coloración roja). Una vez que el fruto presentó el tamaño y coloración adecuados, se registró el número de frutos cosechados (se realizó cada tercer día los dos primeros meses de cosecha y dos

veces por semana el último mes de cosecha). También se registró el peso a los frutos cosechados con una balanza digital, los datos se expresaron en g.

Volumen del fruto. Esta variable se midió al momento en que los frutos presentaron una coloración de 3/4 de rojo y se realizó con un vernier electrónico marca Truper. Se midió el diámetro ecuatorial y diámetro polar y se calculó el volumen total del fruto. Los datos se expresaron en posteriormente se calculó el volumen de fruto, se sumaron los diámetros polar y ecuatorial y el resultado se dividió entre dos, este valor se le llamo diámetro X, nuevamente se dividió entre dos y se llamó radio X (rx), con este se calculó el volumen de una esfera cuya fórmula es $V=4/3*3.1416* rx$ y se expresó en cm^3 .

Firmeza en frutos. Se midió con un penetrómetro manual (Marca QA Supplies) y los datos se expresaron en unidades $g\ cm^{-2}$.

Sólidos solubles totales. Se midieron °Brix con un refractómetro manual (Marca Atago N-1a Alfa).

Lecturas SPAD. Al final del ciclo se tomó el promedio de lecturas de 4 hojas en los cuatro puntos cardinales con el SPAD 502 PLUS (Minolta).

Volumen radical. Al final del ciclo del cultivo se midió raíz y corona utilizando una probeta de 500 mL mediante desplazamiento de agua.

Al final del período experimental, a los 227 ddt, se cosecharon todas las plantas por tratamiento para la estimación de:

Área foliar. Se determinó con ayuda de un integrador de área foliar LI-3000 (LI.COR, Nebraska, EE. UU.), la cual fue registrada por planta de cada repetición.

Clorofila. Se tomó una hoja fresca y se realizó en laboratorio un análisis de clorofila a, b y total con el método de extracción en acetona (Harbone, 1973).

Se tomó una hoja de cada repetición, se pesó y posteriormente se colocó en tubos de dilución con 10 mL de acetona. Se dejó reposar durante un día. Se realizaron lecturas a 662 y 645 nm en el espectrofotómetro UV- Vis. Para el cálculo de la clorofila a, b y total se utilizaron las siguientes formulas:

$$\text{Clorofila a } (\mu\text{g mL}^{-1}) = 10.81 \text{ Abs}_{662} - 0.75 \text{ Abs}_{645}$$

$$\text{Clorofila a } (\mu\text{g mL}^{-1}) = 19.02 \text{ Abs}_{645} - 3.98 \text{ Abs}_{662}$$

$$\text{Clorofila total } (\mu\text{g mL}^{-1}) = 6.83 \text{ Abs}_{662} + 18.27 \text{ Abs}_{645}$$

Producción total de materia seca en raíz y parte aérea. Cada planta se dividió en raíz, corona y hoja con peciolo. Posteriormente las muestras de los diferentes órganos se colocaron en un horno a 70°C hasta que alcanzó un peso constante y finalmente se pesaron en una balanza digital. Los datos se expresaron en g.

Análisis nutrimental

Determinación de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, B y Mo: se preparó una mezcla del reactivo vanado-molibdico, este reactivo se preparó al momento de utilizarse a partir de la mezcla por parte iguales de las siguientes soluciones:

- Ácido nítrico 1:2. Se mezclaron 333 mL de ácido nítrico concentrado (65% p/p) con 667 mL de agua destilada.
- Vanadato de amonio al 0.25 %: se disolvió 2.5 g de vanadato de amonio en 1 L de agua destilada.
- Molibdato de amonio al 1.5%: se disolvió 50 g de molibdato de amonio en 900 mL de agua destilada. Se calentó suavemente y se agitó para disolver los cristales. Se dejó enfriar y se aforó a 1 L.
- Solución patrón de 200 ppm de P: se disolvió 0.8786 g de fosfato dihidrógeno de fosfato (KH_2PO_4), seco al horno, en agua y se diluyó a 1 L. Esta solución se guardó en frasco de plástico para evitar contaminación con arsénico.
- Solución de 50 ppm de P. Se diluyeron 25 mL de la solución patrón en 100 mL con agua destilada.

Procedimiento

Se secó el material vegetal de la parte aérea a 70° C. Se pesaron 0.250 g de material molido hasta que paso por la malla 30. Se colocó en matraces Kjeldahl

de 30 mL, se adicionaron 4 mL de ácido nítrico 65% p/p y 2 mL de ácido perclórico 70-72 % p/p. Se dejó reposar durante la noche, se adicionaron 2 gotas de kerosene para reducir la formación de espuma y 2 o 3 perlas de vidrio para mantener una ebullición homogénea. Se colocaron los frascos kjeldahl en la unidad digestora y se calentaron a 150 °C, hasta que desaparecieron los vapores pardos del HNO₃. Este proceso tomó entre 30 y 45 min. Durante esta etapa se rotaron los matraces para que se lavaran las paredes de todo el residuo orgánico. Posteriormente se aumentó la temperatura del aparato digestor a 210° C. El ataque del ácido perclórico a la matriz orgánica residual se nota inicialmente por la aparición de vapores pardos leves y luego por la reacción viciosa con formación de espuma. Al final de la reacción aparecen vapores blancos densos característicos del ácido perclórico. Esta etapa duró aproximadamente una hora. Después de la aparición de los vapores pesados se dejó la muestra por 5 minutos en el aparato digestor. La solución madre se llevó a volumen de 25 mL la cual fue filtrada con un filtro de calidad 41 (Whatman Inc.) y se leyeron los elementos P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Bo, Mo, en ICP del Laboratorio de Nutrición Vegetal.

Determinación de nitrógeno total. La molienda del material se llevó hasta pasar una malla 30. Se pesó 0.1 g de material en un frasco micro-Kjeldahl, se adicionaron 4 mL de la mezcla de ácido sulfúrico con ácido salicílico, cuidando que el ácido se ponga en íntimo contacto con la muestra. Se dejó en reposo durante la noche (pre digestión). Se calentó cuidadosamente la muestra hasta que cesó la formación de espuma. Después de 15 minutos se dejó enfriar la solución. Posteriormente, se adiciono 0.1 g de mezcla catalizadora (sulfato de potasio, sulfato de cobre y selenio). Se volvió a digerir aumentando la temperatura hasta 360 °C para permitir la mezcla del ácido con sales. Después de una hora ebullición la mezcla aclara, tornándose de un ligero color azulado. Cuando se alcanzó este punto se dejó ebullicir lentamente por una hora. Luego se transfirió el contenido al tren de destilación micro-Kjeldahl, se colocó un matraz Erlenmeyer de 125 mL en el tubo de salida del aparato digestor conteniendo 10 mL de la solución H₃BO₃ + indicadores. Se adicionaron 10 mL de NaOH 10N de modo que la sosa se depositó en el fondo de la cámara de destilación. Se destiló hasta que el volumen

alcanzó la marca de los 50 mL en el matraz Erlenmeyer (el color de la muestra fue verde esmeralda). Posteriormente, se determinó el nitrógeno amoniacal presente en el destilado titulando con el H₂SO₄ 0.05 N. El vire es de verde a rosa intenso. Finalmente, el porcentaje de N en la muestra se determinó según el gasto de ácido sulfúrico con la siguiente formula:

$$((Vm - Vb) \times N \times 14) / (P \times 10)$$

Donde:

V_m=Volumen del ácido sulfúrico empleado en titular la muestra (mL).

V_b=Volumen del ácido sulfúrico empleado en titular el blanco.

N=Normalidad exacta del ácido sulfúrico.

14=Peso mili-equivalente del N.

P=Peso de la muestra expresado en g.

10=Factor para convertir a porcentaje.

Cuantificación de la población de bacterias solubilizadoras de fosfato en rizósfera. Se cuantificó la población de bacterias usando el Pikovskaya (PVK) para bacterias solubilizadoras de fósforo. Se tomaron muestras de 0.1 g de raíz de cara repetición, la cual se molió con mortero. Se adicionaron 9.5 mL de agua estéril, esta mezcla fue llevada a un botella de dilución con 90 mL de agua destilada esterilizada. De cada botella se realizaron diluciones decimales; se tomó una alícuota de 0.1 mL de la dilución 10⁻³ y se colocó en caja Petri con los medios ya mencionados por triplicado dejándose incubar 72 h. Se contaron todas las colonias que presentaban la morfología colonial representativa de bacteria solubilizadora de fosfato (la formación de halo transparente visible alrededor y debajo de la colonia) que indica la producción de fosfatos tricálcico o actividad solubilizadora.

4.2.7. Análisis de datos

Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SYSTAD 10.2 (Systat Software Inc., California, USA) en los cuales se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) y se hizo una prueba de comparación de medias (Tukey, $\alpha=0.05$).

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

FASE I. Crecimiento de variedades de fresa en suelos con pH contrastante

5.1.1 Variables agronómicas

En el análisis de varianza se detectaron diferencias altamente significativas entre el tipo de sustrato, en el factor variedad se detectaron diferencias significativas en volumen radical y materia seca. La interacción de los factores mostró diferencias en área foliar y materia seca (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores de $Pr > F$ obtenidos en el análisis de varianza para variables agronómicas (Cuadro A1, A2, A3, A4). Diferencias estadísticas para variedad, tipo de sustrato e interacción variedad por sustrato.

Factor	Número de estolones	Volumen radical	Área foliar	Materia seca
Variedad	0.7573 ns	0.0140	0.0139 ns	0.0198
Sustrato	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Var x Sust	0.9260 ns	0.0650	0.0301	0.0111

Número de estolones

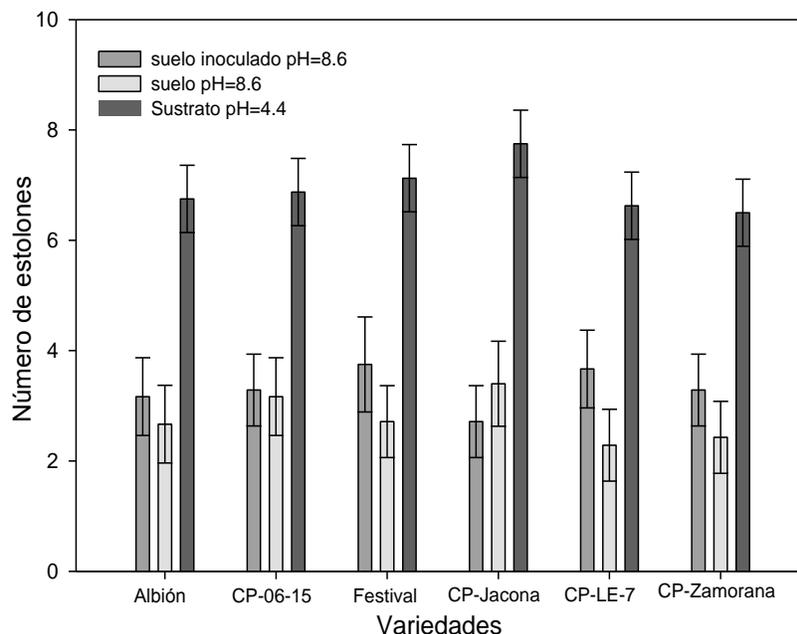


Figura 1. Producción de estolones por planta de seis variedades de fresa a los 125 días después del trasplante cultivadas en un sustrato ácido, suelo alcalino y suelo alcalino

inoculado con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Los valores indican el promedio de tratamientos y la barra vertical indica el error estándar.

El número de estolones también fue significativamente superior en el sustrato pH=4.4 en comparación con suelo pH=8.6 para todas las variedades y líneas (Figura 1). Asimismo, Durner *et al.* (1984), mencionan que los genotipos de fresa presentan diferente sensibilidad a los factores ambientales en su respuesta en crecimiento vegetativo, producción de estolones y en su posterior fructificación. Por su parte, Cárdenas *et al.* (1992) indican que las variedades presentan distinta sensibilidad genética hacia los elementos ambientales, como fotoperiodo, temperatura e intensidad luminosa y ello explica diferencias que se detectan entre variedades.

Pérez *et al.* (2013) encontraron que la producción de estolones fue superior en los sustratos a base de vermicompost en relación al sustrato con suelo mineral. Por otra parte Kepenek y Koyuncu (2002), encontraron que las plantas de fresa expuestas a la salinidad responden con una reducción en el crecimiento vegetativo expresado en términos de peso fresco y seco de la planta, número de estolones.

Volumen radical

En cuanto al volumen de raíz el sustrato de pH= 4.4 fue significativamente superior en comparación a los tratamientos que se encontraban en suelo pH=8.6 independientemente de la inoculación. Asimismo, no se observó efecto en la inoculación con *Paenebaccillus polymyxa* (Figura 2). La línea CP-06-15 presentó el mayor volumen radical.

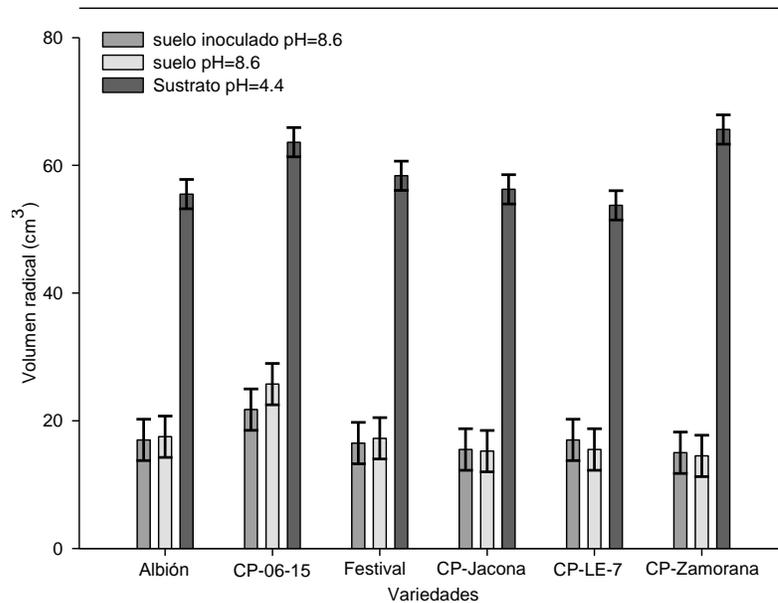


Figura 2. Volumen radical de seis variedades de fresa a los 125 días después del trasplante cultivadas en un sustrato ácido, suelo alcalino y suelo alcalino inoculado con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Los valores indican el promedio de tratamientos y la barra indica la desviación estándar

Área Foliar

La Figura 3 muestra las diferencias estadísticas entre el tipo de sustratos, donde en todas las variedades en pH ácido del sustrato favoreció el crecimiento de las plantas, en comparación con el pH de 8.6 del suelo, con y sin inoculación. Se observa además diferencias estadísticas entre variedades. La variedad que mayor área foliar presentó fue CP-Zamorana.

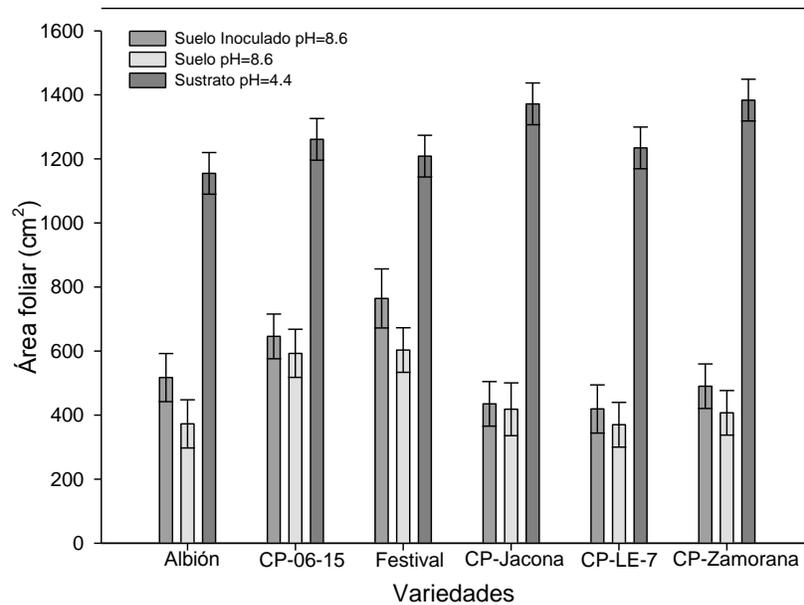


Figura 3. Producción de área foliar de seis variedades de fresa a los 125 días después del trasplante cultivadas en un sustrato ácido, suelo alcalino y suelo alcalino inoculado con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Los valores indican el promedio de tratamientos y la barra indica la desviación estándar.

Producción de materia seca

La producción de materia seca fue muy superior estadísticamente en todas las variedades en el tratamiento en el sustrato con pH=4.4 (Figura 4). Por otra parte, en el factor variedad la línea CP-06-15, mostró la mayor producción de materia seca

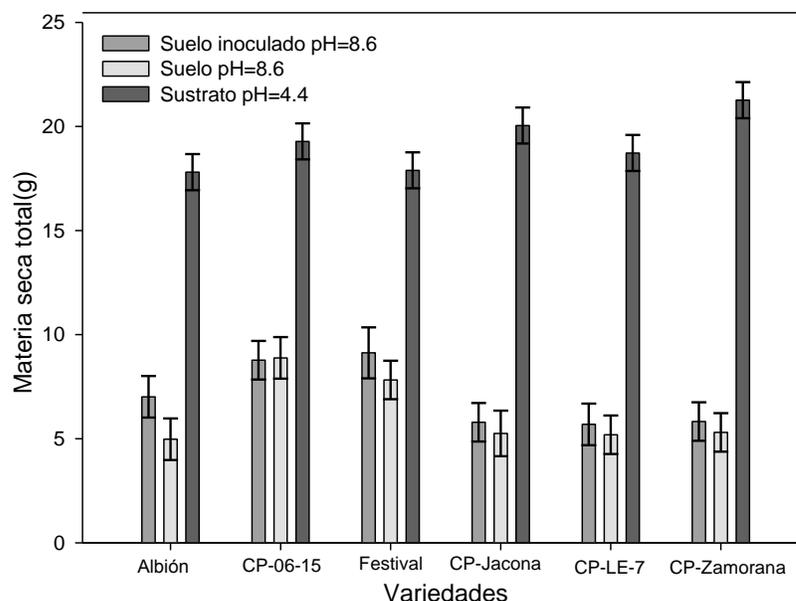


Figura 4. Materia seca total de seis variedades de fresa a los 125 d1as despu3s del trasplante cultivadas en un sustrato 1cido, suelo alcalino y suelo alcalino inoculado con rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Los valores indican el promedio de tratamientos y la barra indica el error est1andar.

En producci3n de estolones, volumen radical, 1rea foliar y materia seca el pH 1cido del sustrato favoreci3 significativamente el crecimiento de las plantas, en comparaci3n con el pH de 8.6 del suelo, con y sin inoculaci3n. Esto concuerda con Niskanen y Dris (2002), quienes indican que el m1s favorable pH para la producci3n de fresa es de entre 4.6 y 6.5. Cieslinski *et al.* (2004) determinaron que el pH 5.1 y pH 6.8 ten1an diferentes efectos el desarrollo de la planta y el rendimiento de la fresa.

Por otra parte, el sustrato de pH bajo consisti3 en una mezcla de turba y tierra de hoja, por lo que se conoce que muchos de los efectos biol3gicos de los sustratos org1nicos son directamente atribuibles a los 1cidos h1micos y f1lvicos. 1stos estimulan el crecimiento general de la planta, ayudan a mejorar la estructura del suelo al favorecer la formaci3n de agregados y la reproducci3n exponencial de microorganismos. As1 mismo, las sustancias h1micas act1an como transportadoras de los micronutrientes para las plantas (Talavera *et al.*, 2013). Se conoce adem1s la existencia de actividad aux1nica en los estratos de muchos materiales org1nicos as1 como propiedades supresivas de agentes fitopat3genos

debido a la microflora. La tierra de hoja, presenta una buena aireación, elevada capacidad de intercambio catiónico. La turba, además, presenta un efecto estimulador sobre el crecimiento y el desarrollo vegetal, lo que se ha atribuido a la presencia de activadores del crecimiento como compuestos de naturaleza hormonal y sustancias húmicas (Abad *et al.*, 2014). En el presente trabajo, los principales factores que determinaron el crecimiento de las plantas y la acumulación de nutrientes en la parte aérea fue el pH del suelo sustrato.

En el factor tipo de sustrato en lo que respecta a la inoculación con *Paenibacillus polymyxa* (Cuadro 4) no se mostraron diferencias significativas. Contrario a lo obtenido por Ipet *et al.* (2014) que al inocular fresa en suelos alcalinos estas incrementaron el área foliar. Asimismo González (2012) y Castillejo (2011) al inocular con rizobacterias plantas de fresa también observaron un incremento en el área foliar. No se observan diferencias significativas, debido probablemente a la pobre adaptación de las cepas bacteriana a este tipo de suelo; ya que éstas son originarias de un suelo andosol de origen volcánico y con un pH ácido (Ortiz, 1987). Lo anterior también pudo influir en la colonización de la rizósfera por parte de las bacterias.

No se dispone de un conocimiento exacto sobre los mecanismos de colonización de la zona radical, se aceptan dos etapas: una por mecanismos inespecíficos, como fuerzas electrostáticas, y específicos, donde participan glucoproteínas de la superficie de la raíz y exopolisacáridos bacterianos, las rizobacterias se adhieren a las raíces. La segunda etapa, donde las bacterias se multiplican y crean micro colonias en zonas ricas en nutrientes (Do Santos, 2002). Asimismo, Kosdroj *et al.*, (2004) afirma que la competencia de las bacterias del inoculante se establece en dos etapas: primero deben competir por nutrientes con microflora libre del suelo para poder sobrevivir y proliferar ante que se forme la raíz de la planta y después, cuando colonizan la raíz, deben competir con bacterias rizosféricas por los exudados.

El suelo influye en la colonización microbiana, ya sea por su naturaleza físico-química o por la comunidad bacteriana existente asociada al suelo; algunos

factores que favorecen el proceso de colonización, son humedad del suelo, temperatura, O₂, pH, textura del suelo, materia orgánica, disponibilidad de carbono y nutrientes, predación por protozoarios, antagonismo microbiano y competencia, estado fisiológico en el que se introduce la bacteria (Pérez *et al.*, 2010; Nihorimbere *et al.*, 2012; Compant *et al.*, 2010).

Un mecanismo asociado con el movimiento de las bacterias inoculadas y su distribución en las partes de la rizósfera es la quimiotaxis, mecanismo por el cual la bacteria responde eficientemente y rápidamente a cambios en la composición química en su ambiente. Otro mecanismo que se ha asociado con el movimiento de las bacterias inoculadas y su distribución es la competencia con otros microorganismos (Loredo-Osti *et al.*, 2004; Mowery *et al.*, 2008).

5.1.2 Concentración nutrimental

En el análisis de varianza se detectaron diferencias significativas únicamente en los niveles del factor tipo de sustrato, pero no en el factor variedad. La interacción de los factores no fue significativa (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores de $Pr > F$ obtenidos en el Análisis de varianza de macronutrientos (Cuadro A5, A6, A7, A8, A9). Diferencias estadísticas en el análisis para variedad, tipo de sustrato e interacción variedad por sustrato.

Factor	N	P	K	Ca	Mg
Variedad	0.1988 ns	0.1483 ns	0.8600 ns	0.0787 ns	0.3156 ns
Sustrato	0.1195 ns	<.0001	<.0001	0.21 ns	0.0030
Var x Sust	0.9858 ns	0.1151 ns	0.1222 ns	0.7725 ns	0.7933 ns

Las diferencias entre el tipo de suelo, se observaron en las variables concentración de fósforo, potasio y magnesio. Por otra parte, no hubo diferencia significativas entre el tipo de sustrato en las variables nitrógeno y calcio (Cuadro 6).

Cuadro 6. Diferencias estadísticas de macronutrientos en diferentes tipos de sustrato.

Tipo de sustrato	N	P	K	Ca	Mg
			g kg ⁻¹		
Suelo pH=8.6	13.01 a	1.72 b	4.54 b	6.51 a	4.04 b
Suelo pH=8.6 inoculado con RPCV	13.49 a	1.78 b	5.23 b	7.20 a	4.62 b
Sustrato pH=4.4	15.26 a	2.56 a	6.59 a	7.36 a	5.80 a

En la concentración nutrimental y en específico en nitrógeno, el análisis estadístico, mostró que no hubo diferencias estadísticas por variedad, tipo de sustrato ni en la interacción variedad: tipo de sustrato (Cuadro 6). El movimiento de nutrientes en la planta depende de la capacidad de absorción y de la demanda del nutriente, de tal manera que este movimiento envuelve diferentes procesos metabólicos interconectados como son: la liberación del suelo a la solución del mismo, el transporte hacia las raíces para su absorción y la translocación y utilización dentro de la planta. El transporte de nutrientes hacia la raíz, la absorción y translocación de los mismos ocurre simultáneamente. Por esta

razón, si se produce un cambio en uno de estos procesos se afectarán los demás, en otras palabras, si un proceso se vuelve lento, este será un factor limitante en la toma y translocación de nutrimentos en la planta (Salas, 2002).

En la concentración de fósforo se observa diferencias estadísticas altamente significativas el factor tipo de sustrato (Cuadro 6). Lo que indica que la adsorción del fósforo es lenta en suelos alcalinos debido a que se puede reducir la disponibilidad del (H_2PO_4^-) porque puede haber precipitación de sales de fósforo al reaccionar con cationes como el calcio (Ca^{2+}) o magnesio (Mg^{2+}) y formarse fosfatos poco solubles (FAO, 2000). Por otra parte, los resultados muestran que el tratamiento con sustrato formado por tierra de hoja y turba, el cual contiene mayor cantidad de materia orgánica en comparación al suelo alcalino, presenta mayor cantidad de fósforo lo que concuerda con Núñez (2007), que dice que los abonos orgánicos aumentan la aprovechabilidad del fósforo por los efectos de síntesis de complejos fosfoquímicos aprovechables, intercambio de radicales orgánicos por fosfatos, cubrimiento de los sesquióxidos de hierro y aluminio con humus, impidiendo la fijación de fósforo en ellos. En muchos suelos, la absorción del fósforo puede estar severamente limitada por la casi nula solubilidad de compuestos en forma orgánica del fósforo. No obstante, diferencias genéticas de desarrollo radical entre las diferentes variedades pueden presentar plasticidad morfológica y fisiológica. Esta capacidad de realizar ajustes ante los cambios locales del ambiente suelo; ventajas de la plasticidad pueden ser consideradas en los términos de cuanto más nutriente como fósforo adicional es absorbido por las raíces. Modificaciones en el patrón de crecimiento de las raíces y en la absorción de fosfato puede en parte compensar el suministro deficiente de fosfato del resto del sistema radical (Martin, 2012).

En el potasio se observa que este presenta diferencias estadísticas en el tipo de sustrato (cuadro 6), siendo el sustrato orgánico con $\text{pH}=4.4$ el que supera estadísticamente al suelo de $\text{pH}=8.6$ y a este mismo inoculado con RPCV, lo cual se puede deber a que en el suelo alcalino se presentan altos valores de Ca^{2+} , las altas concentraciones de calcio disminuyen la disponibilidad y absorción de K^+ al

establecer una inhibición competitiva entre ellos, generando una condición de desventaja al ion que este en inferioridad relativa, por lo que la saturación del suelo con Ca^{2+} limita la absorción de K^+ . También se ha encontrado que la materia orgánica aumenta el contenido de potasio. Así por ejemplo, Pinamonti (1998) usando compost en viñedos, encontró un incremento potasio en la materia orgánica donde las plantas de vid mostraron un aumento en la concentración de potasio en hojas.

En Mg, no se observaron diferencias estadísticas significativas en cuanto a la variedad, pero si en el factor tipo de sustrato (Cuadro 6); donde las plantas cultivadas en el sustrato ácido, mostraron mayor concentración de este nutrimento en su parte aérea. Lo que se puede deber a que este elemento presenta antagonismo con el Ca. En México se reportan deficiencias de magnesio en huertos de cítricos en suelos calcáreos de Nuevo León debido a una alta relación calcio/magnesio (Nuñez, 2007).

Niskanen y Dris (2002) indican que el pH más favorable para la producción de fresa esta entre 4.6 y 6.5. Treder y Cieslinski (2005) determinaron que el pH entre 5.1 y 6.8 tenían diferentes efectos sobre el desarrollo de la planta y el rendimiento de la fresa, esto se refleja directamente en la absorción nutrimental como se muestra en el (Cuadro 6).

Los procesos y factores que contribuyen a la transferencia de los nutrimentos del suelo a las plantas son variados e involucran a la raíz (longitud, desarrollo, morfología), la concentración de los iones en la rizósfera, exudados radicales, pH de la solución del suelo y el ambiente y actividad de los microorganismos del suelo (Rodríguez *et al*, 2007).

En la absorción de los nutrimentos como el fósforo, potasio, magnesio, se observan diferencias significativas en el sustrato en comparación con el suelo, lo cual puede deberse además a las características químicas y físicas del sustrato orgánico conformado por tierra de hoja y turba, permitiendo un mejor control del medio ambiente radical, particularmente de los aspectos relacionados con el suministro de agua y nutrientes. Las plantas pueden sobrevivir en un amplio

intervalo de pH del sustrato sin sufrir desordenes fisiológicos aparentes, siempre y cuando todos los nutrientes se suministren en forma asimilable. No obstante, el crecimiento y el desarrollo de las plantas, se ven reducidos de modo marcado en condiciones alcalinidad extrema (Abad *et al.*, 2004). Muchos de los efectos benéficos de los sustratos orgánicos son directamente atribuibles a los ácidos húmicos y fúlvicos, estimulan el crecimiento general de la planta, ayudan a mejorar la estructura del suelo al favorecer la formación de agregados y la reproducción exponencial de microorganismos así mismo las sustancias húmicas actúan, como transportadoras de los micronutrientes para las plantas (Talavera *et al.*, 2013). Se conoce además la existencia de actividad auxínica en los estratos de muchos materiales orgánicos, así como propiedades supresivas de agentes fitopatógenos debido a la microflora presente en dichos sustratos. La tierra de hoja, presenta una buena aireación, elevada capacidad de intercambio catiónico. La turba, además, presenta un efecto estimulador sobre el crecimiento y el desarrollo vegetal, lo que se ha atribuido a la presencia de activadores del crecimiento como los compuestos de naturaleza hormonal y sustancias húmicas (Abad *et al.*, 2014).

En el análisis de varianza para micronutrientes, se detectaron diferencias significativas en los niveles del factor tipo de sustrato, pero no en el factor variedad. La interacción de los factores solo fue significativa en zinc (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores de Pr > F obtenidos en el Análisis de varianza de micronutrientes (Cuadro A10, A11, A12, A13, A14). Diferencias estadísticas en el análisis para variedad, tipo de sustrato e interacción variedad por sustrato.

Factor	Fe	Cu	Zn	Bo	Mo
Variedad	0.0304	0.6657 ns	0.0722 ns	0.2378 ns	0.5256 ns
Sustrato	0.0376	0.0550 ns	0.1580 ns	0.0093	0.2643 ns
Var x Sust	0.0830 ns	0.3337 ns	0.0147	0.4966 ns	0.1493 ns

Las diferencias entre el tipo de sustrato, se observaron en las variables concentración de hierro y boro. Por otra parte, no hubo diferencia significativas entre el tipo de sustrato en las variables cobre, zinc y molibdeno (Cuadro 8).

Cuadro 8. Diferencias estadísticas en la concentración de micronutrientos en factor tipo de sustrato.

Tipo de sustrato	Fe	Cu	Zn	Bo	Mo
			ppm		
Suelo pH=8.6	312.44 b	3.085 a	47.86 a	34.21 b	4.65 a
Suelo pH=8.6 inoculado con RPCV	343.87 ab	3.093 a	44.93 a	38.41 ab	5.59 a
Sustrato pH=4.4	372.58 a	3.875 a	50.54 a	43.07 a	7.09 a

El análisis estadístico muestra diferencias (Cuadro 8) en hierro en el tipo de sustrato, donde el sustrato ácido superó al alcalino con y sin rizobacterias y en la variedad donde la línea CP-06-15 superó estadísticamente a todas las demás. Las diferencias de hierro en el sustrato ácido sobre el alcalino (Cuadro 8). Se puede deber a que a que su disponibilidad decrece a medida que se eleva el pH del suelo. Asimismo, éste contenía alta cantidad de materia orgánica al estar formado por turba y tierra de hoja. Navarro (2003) menciona que un contenido apropiado de materia orgánica en el suelo actúa favorablemente en el aprovechamiento del hierro, no solo por sus características reductoras y acidificantes, sino también por la capacidad que determinadas sustancias húmicas presentan para formar quelatos con el hierro en condiciones adversas de pH. Se ha comprobado que los ácidos húmicos pueden originar, con relativa facilidad, hidrosoles férrico-húmicos con el óxido férrico y con ellos favorecer su conservación en forma más asimilable. La diferencia de hierro en la variedad se puede deber a la habilidad de esta variedad para acidificar el medio a través de la liberación de iones hidronio por las raíces o por excretar reductores (Nuñez, 2007).

En zinc no muestra diferencias estadísticas en variedades ni en tipo de sustrato; sin embargo, si en la interacción variedad-tratamiento (Cuadro 8), la variedad CP- zamorana presentó valores bajos en suelo alcalino en comparación con todas las interacciones entre el tipo de sustrato y las variedades. Lo cual, puede deberse a diferencias entre las variedades para absorber este elemento. Al respecto, Núñez (2007) menciona que diferentes variedades de una misma especie vegetal pueden exhibir capacidades distintas para absorber y movilizar un

nutrimento, como lo reportaron Shukla y Raj (1987) con el zinc en ocho genotipos de maíz.

En boro se observan diferencias en el tipo de sustrato donde el sustrato ácido superó al suelo con pH alcalino (Cuadro 8), lo cual se puede deber al contenido de materia orgánica. Núñez (2007) menciona que la materia orgánica es normalmente la fuente principal de boro aprovechable en el suelo. Los grupos hidroxilo de la sustancias húmicas pueden condensarse con el ácido bórico. Asimismo, aunque la solubilidad de los boratos no depende directamente del pH del suelo, los requerimientos de boro por las plantas aumentan al elevarse el pH. La posible influencia del calcio en la adsorción del boro, está orientada, en primer lugar, al aumento de pH que se produce si la sal de calcio que existe es carbonato; en segundo lugar, hay que considerar que la adsorción del boro se lleve a cabo a través del calcio como intermediario, particularmente cuando este se encuentra adsorbido en una proporción elevada a los coloides del suelo (Navarro, 2003).

FASE II. Crecimiento y rendimiento de variedades de fresa en suelo alcalino

5.2.1 Variables de rendimiento

En el análisis de varianza se detectaron diferencias significativas únicamente en los niveles del factor variedades pero no entre tipos de inoculación. La interacción de los factores no fue significativa (Cuadro 9).

Cuadro 9. Valores de $Pr > F$ obtenidos en el Análisis de varianza de variables de rendimiento (Cuadro A15, A16, A17, A18, A19). Diferencias estadística para variedad, tipo de inoculación e interacción variedad por tipo de inoculación.

Factor	Frutos/p	Rendimiento/pl	Volumen Frt.	Resist.a penetración	Sólidos solubles
Variedad	0.0047 ns	0.0038	0.0782 ns	<.0001	0.0007
Tipo de Inoc	0.5463 ns	0.9862 ns	0.5279 ns	0.2526 ns	0.3388 ns
Var x tipo de inoc	0.9610 ns	0.9178 ns	0.8808 ns	0.7556 ns	0.6418 ns

Las diferencias entre variedades se observaron en las variables frutos por planta, rendimiento por planta, firmeza de los frutos (resistencia a la penetración) y contenido de sólidos solubles totales. Pero no hubo diferencia significativa entre variedades para volumen del fruto (Cuadro 10).

Cuadro 10. Diferencias estadísticas en variables rendimiento y calidad de seis variedades de fresa en suelo alcalino con dos tipos de inoculación.

Variedad	Frutos	Rendimiento	Volumen del fruto	Resistencia a penetración	Sólidos solubles
	planta ⁻¹	g planta ⁻¹	cm ³	g cm ⁻²	°Brix
CP-Jacona	9.06 a	93.35 a	15.81 a	195.05 b	8.86 b
Festival	9.06 a	84.69 ab	14.92 a	192.19 b	9.87 a
CP-06-15	8.67 a	83.30 ab	17.27 a	196.11 b	9.87 a
CP-Zamorana	8.34 a	83.17 ab	14.36 a	200.74 b	9.38 ab
Sabrina	6.28 a	63.73 ab	14.66 a	217.17 a	9.21 ab
CP-LE-7	6.23 a	55.15 b	12.89 a	213.77 a	9.04 b

No se encontraron diferencias significativas en el rendimiento en cuanto al tipo de inoculación (Cuadro 10). Sin embargo, la tendencia en la mayoría de las variedades fue que el tratamiento sin inoculación superara a los inoculados. En este trabajo como en otros, se entendió que el rendimiento es la variable principal para la producción de cualquier cultivo (Datta *et al.* 2011) y la de mayor importancia para determinar el efecto de los tratamientos. Al respecto, González (2012) observó que la inoculación con *Bacillus subtilis*, mostraba un efecto significativo en la producción de frutos de las variedades Jacona con 54 % y Albión con 35 % mas que el testigo sin inocular. Por otra parte, este mismo autor no encontró diferencias en cuanto al rendimiento entre variedades. Asimismo, Castillejo (2011) observó al inocular con un consorcio de *Azospirillum*, el rendimiento de fresa aumentaba significativamente en comparación al tratamiento testigo. También, este tratamiento aumentaba 111% el rendimiento en comparación al tratamiento de fertilización química. Asimismo, es de notar la bajísima producción de fruto en este trabajo, esto se puede deber al efecto del pH alcalino del suelo y a la alta correlación de la producción de frutos con las variables de crecimiento de la planta de fresa, como son el área foliar, peso seco y fresco de la parte aérea (Vázquez *et al.*, 2000). Esitken *et al.* (2010), manejaron el cultivo bajo un sistema orgánico y utilizaron tres inoculantes de BPCV (*Pseudomonas* BA-8, *Bacillus* OSU-142 y *Bacillus* M-3), mostraron que la combinación incrementó el rendimiento en un 33.2% en comparación al testigo, mientras que en otro estudio los resultados fueron similares ya que la inoculación de BPCV en plantas de fresa incrementaron significativamente el rendimiento (1.98-20.85%), comparado con el control (Erturk *et al.*, 2012). En un cultivo orgánico de frambuesa la inoculación de un consorcio de bacterias del género *Bacillus* incrementó del 33.9% en el año 2003 a un 74.9% para el año 2005 comparado con el control (Orhan *et al.* 2006).

Para el rendimiento, la variedad CP-Jacona superó estadísticamente a todas las variedades. No se observan diferencias significativas en el factor variedad para el número de fruto, tampoco en el factor tipo de inoculación (Cuadro 10). En este sentido, González (2012) no encontró diferencias significativas

respecto a la inoculación en esta variable, pero resultados contrarios se presentaron en otros estudios con fresa (Esitken *et al.*, 2010), frambuesa (Orhan *et al.* 2006) y chile (Datta *et al.*, 2011), en los cuales los tratamientos de rizobacterias aumentaron el número de fruto. Esto puede deberse a la asociación que estos microorganismos tienen con los diferentes cultivos en los que son aplicados. También, las condiciones de cultivo determinan si el efecto de inoculación es positivo, negativo o neutro.

En resistencia a la penetración la variedad Sabrina y CP-LE-7 presentaron mayor resistencia superando estadísticamente las demás variedades (Cuadro 10). De acuerdo con Glick *et al.* (1998), el etileno, la fitohormona que influencia el crecimiento y el desarrollo de las plantas, está implicado en los mecanismos de acción de algunas BPCV que producen 1- aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) deaminasa, una enzima que actúa sobre el ACC, el precursor inmediato del etileno en la ruta biosintética de esta hormona en las plantas. El etileno regula la maduración del fruto (Alexander y Grierson, 2002), en ese sentido Mena y Olalde (2007) reportaron los efectos positivos de la cepa promotora de crecimiento vegetal *Bacillus subtilis* BEB-13bs sobre la calidad de frutos de tomates, en particular sobre el tamaño y la textura. En ese sentido, Morales (2013) encontró al inocular con *Bacillus sp* que éstas aumentaban significativamente el grosor del pericarpio en comparación al testigo sin inocular. La inoculación de las raíces con BPCV fomenta una disminución significativa de actividad poligalacturonasa, principal enzima de la pared celular involucrada en el ablandamiento del fruto. Esto fue evidente en los frutos en los estadios tardíos de maduración al compararlos con los provenientes de plantas no inoculadas. Sin embargo, en este trabajo no se observan diferencias significativas en la firmeza de frutos debido a la inoculación (Mena y Olalde 2007).

En el presente trabajo se encontraron diferencias significativas en los valores de sólidos solubles totales entre variedades (Cuadro 10), siendo las variedades Festival y CP-06-15 las que presentaron valores más altos. Lo anterior concuerda con Sharma y Thakur (2008) que encontraron diferencias significativas

en sólidos solubles totales, evaluando diferentes cultivares de fresa. En ese sentido, Martínez *et al.* (2008) no encontraron diferencias significativas entre las variedades mexicanas y extranjeras evaluadas en su estudio. En cuanto al tipo de inoculación, no se observan diferencias, esto concuerda con González (2012) donde el consorcio de cepas de *Bacillus subtilis* incrementó el porcentaje del contenido de sólidos solubles totales en las variedades Albión y Jacona. También, se ha reportado previamente que las BPCV han tenido un efecto positivo al aumentar el contenido de sólidos solubles totales en fresa (Erturk *et al.*, 2012). Mientras que en otros estudios no se han visto diferencias significativas con las BPCV en fresa (Esitken *et al.*, 2010). Castillejo (2011) no observó diferencias significativas en la inoculación con el consorcio de *Azospirillum*, sin embargo, también obtuvo una tendencia en los tratamientos de inoculación a aumentar los °Brix en la variedad Albión.

5.2.2 Variables agronómicas

En el análisis de varianza se detectaron diferencias significativas únicamente en los niveles del factor variedades pero no entre tipos de inoculación. La interacción de los factores no fue significativa (Cuadro 11).

Cuadro 11. Valores de $Pr > F$ obtenidos en el Análisis de varianza de variables agronómicas (Cuadro A20, A21, A22, A23, A24), diferencias estadísticas para variedad, tipo de inoculación e interacción variedad por tipo de inoculación.

Factor	Lecturas SPAD	Volumen radical	Área foliar	Clorofila	Materia seca
Variedad	<.0001	<.0001	<.0001	0.6697 ns	<.0001
Tipo de inoc.	0.8539 ns	0.5798 ns	0.1982 ns	0.1062 ns	0.2706 ns
Var x tipo de inoc	0.9815 ns	0.8591 ns	0.9655 ns	0.4207 ns	0.9558 ns

En general, los resultados no muestran diferencias estadísticas en cuanto al tipo de inoculación (Cuadro 11), lo que posiblemente se debe a problemas con la colonización de raíces de fresa por microorganismos. A diferencia de las bacterias simbióticas que pueden localizarse en espacios intracelulares, intercelulares o en

el tejido vascular, el primer paso de la interacción entre rizobacterias y la planta implica un proceso de colonización, siendo éste el modo natural de su distribución a lo largo de la rizósfera. Los beneficios que la bacteria pueda producir en la planta, no son significativos si ésta no es capaz de alcanzar un número suficiente como para poder llevar a cabo su acción. De hecho, se ha demostrado que la colonización es un paso limitante y esencial para que se lleve a cabo un biocontrol efectivo. Además, el proceso de colonización ha de estar ligado a la competición con otros microorganismos capaces de utilizar los mismos nutrientes disponibles en la rizósfera y que por tanto ocupan el mismo nicho. Otra posible causa es que las bacterias tienen una actividad fisiológica puntual, la solubilización de fosfatos, actividad que muy probablemente no se relaciona con las principales limitantes del crecimiento de las variedades de fresa evaluadas. Es decir, la principal limitante para las plantas cultivadas en este suelo con pH alcalino (8.6) fue el estrés salino, no el estrés nutrimental. Por lo que, cualquier beneficio en absorción de P que pudiesen representar las bacterias inoculadas, estará sujeto a que la planta logre desarrollarse primero en el ambiente estresante por salinidad.

Las bacterias que colonizan la rizósfera presentan un comportamiento condicionado por muy diversos rasgos y factores ambientales como son movilidad y adherencia, integridad de la membrana y la envuelta celular, adaptaciones metabólicas y a compuestos tóxicos, reorganización genética, estilos de vida móvil/sésil (Martin *et al.*, 2011). Las bacterias fueron aisladas de suelos con características opuestas a las presentes del experimento aunque, en estudios previos, demostraron adaptarse a distintos valores de pH (Almaraz-Suárez, comunicación prsonal). Otra limitante es la fisiología de la planta, la que causa un cambio en la comunidad microbiana de la rizósfera, por los exudados radicales que la propia planta libera; por ello el sistema radical no es colonizado de forma uniforme sino que varía. La mayoría de bacterias de la rizósfera son altamente dependientes de las asociaciones con las plantas que están claramente reguladas por exudados de las raíces (Bonfante y Anca, 2009).

Las plantas liberan exudados radicales que equivalen hasta en un 20% del carbono fijado mediante la fotosíntesis; entre los compuestos liberados por la raíz se encuentran principalmente azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos, ácidos grasos, vitaminas, enzimas, flavonoides y purinas (Lugtenberg y Kamilova, 2009; Dennis *et al.*, 2010). Se sabe que la composición de los exudados radicales está influenciada por el estado fisiológico de la planta y el sustrato, así como por la presencia de compuestos secretados por rizobacterias (Phillips *et al.*, 2004). Estos compuestos crean un medio selectivo para la existencia de grandes poblaciones microbianas heterótrofas, que establecen diferentes interacciones con la planta, tanto positivas, negativas y neutras (Whipps *et al.*, 2001). Para proliferar y establecerse en la rizósfera, las bacterias deben ser capaces de utilizar los rizodepósitos, efectivamente colonizar raíz o rizósfera la superficie del suelo, y ser capaz de competir con otros organismos (Dennis *et al.*, 2010). Otro rasgo que es importante en la colonización de la raíz efectiva por bacterias es su tasa de crecimiento, que depende de su capacidad para obtener los componentes, esenciales para el crecimiento y/o mantenimiento. La tasa de crecimiento se ha relacionado con los genes implicados en la absorción de nutrientes, capacidad de sintetizar aminoácidos, vitaminas y para utilizar los ácidos orgánicos (De Weert *et al.*, 2006).

La asociación entre microorganismos y el sistema radical de las especies vegetales está determinada por la interacción de factores abióticos (precipitación, humedad, temperatura, aireación, textura y estructura edáfica, entre otros) y bióticos (orgánicos e inorgánicos), densidad radical, zona de influencia radical; los cuales, en conjunto inciden en el mantenimiento, multiplicación y actividad microbiana, al ejercer un efecto selectivo sobre la composición de los grupos funcionales de microorganismo que allí proliferan. Asimismo, la capacidad de las bacterias para metabolizar y competir por fuentes de carbono influye en la estructura de las comunidades microbianas y en los efectos que pudiesen tener en las plantas (Marschner *et al.*, 2001; Dennis *et al.*, 2010).

Las unidades SPAD no mostraron diferencias estadísticas en cuanto a la inoculación (Cuadro 12). Al respecto Diaz-Zorita *et al.*, (2010) obtuvieron que la concentración de N en las hojas superiores fue mayor en los tratamientos inoculados que en los no inoculados. Apaes *et al.* (2014) mencionan que la actividad biológica de las bacterias, favorecieron el contenido de clorofilas y la absorción de N. Por otro lado Rodríguez *et al.*, (2013) obtuvieron que las plantas mostraron valores muy similares entre las inoculadas con RPCV y el testigo. Del mismo modo, Bécquer *et al.*, (2010) concluyeron que la inoculación combinada de la cepas (*Sinorhizobium meliloti*, *Azospirillum zea*), fue la de mayor influencia positiva en el contenido de clorofila de las plantas.

Para volumen radical no se encontraron diferencias estadísticas significativas, entre el tipo de inoculación, pero si existe diferencia significativa entre variedades siendo mejor el material CP-06-15 el que presentó los más altos valores en estas variables (Cuadro 12). Ésto concuerda con lo reportado por Carrillo (2000) al inocular plantas de jitomate en invernadero con *Pseudomonas fluorescens*, que mostró que ninguna de las plantas inoculadas tuvieron mayor volumen radical promedio que las plantas testigo e, incluso, éstas plantas tuvieron valores menores en relación con las plantas testigo. Lo anterior, a pesar de que se ha demostrado que las cuatro especies de microorganismos usadas durante su ensayo producen ácido indolacético. Asimismo consideraron que el desarrollo radical deficiente de estas plantas por el efecto de la inoculación, ha sido compensado por otra u otras actividades de los microorganismos que se tradujeron en incrementos de los rendimientos del cultivo. En este sentido, Diaz *et al.* (2001) mostraron que la inoculación en lechuga con algunas cepas *Hafnia alvei* no mostraron efectos benéficos en el desarrollo de las raíces, donde el volumen radical y el peso seco de raíz fueron superados por el testigo. Comentando que es un indicio de la posible especificidad de las cepas bacterianas.

Para área foliar, no se encontraron diferencias estadísticas significativas, entre el tipo de inoculación, pero si existe diferencia significativa entre variedades. Siendo el mejor el material CP-06-15 que presentó los valores más altos en esta

variable (Cuadro 12). A diferencia de lo mencionado por Ipek *et al.* (2014) donde la cepa de *Alcaligenes* presentó la mayor área foliar. De la misma forma, Lata *et al.* (2013) encontró mayor número de hojas cuando se inoculaba con *Azotobacter* y *Azospirillum* mas fertilización química. Castillejo (2011) encontró que la aplicación de un consorcio bacteriano a base de *Azospirillum sp.*, aumentaba el área foliar en comparación al tratamiento testigo donde solo utilizó agua. Sin embargo, se tuvieron valores inferiores a los tratamientos donde se aplicaba fertilización química. Asimismo, Esitken *et al.* (2010) y Erturk *et al.* (2012) no encontraron diferencias significativas al inocular variedades de fresa entra tratamientos inoculados con *Bacillus sp.* y el testigo. Por lo que se sugiere que el efecto de estos microorganismos en el área foliar depende del cultivar con el que se apliquen y a las cepas inoculadas. Pero también a factores abióticos que influyen en la supervivencia de los microorganismos en el suelo cuando éstos son inoculados, como: la humedad del suelo, el régimen de temperatura, el pH, la textura, el O₂, y la disponibilidad de nutrimentos. Dentro de los factores bióticos se encuentran: densidad radical, zona de influencia radical, disponibilidad de exudados radicales orgánicos e inorgánicos, la predación por protozoarios, el antagonismo microbiano y la competencia, así como el estado fisiológico en el que se introduce la bacteria (Loredo *et al.*, 2004).

Para materia seca no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el tipo de inoculación, pero si existe diferencia significativa entre variedades, siendo mejor el material CP-06-15, que presentó los más altos valores en esta variable (Cuadro 12). La acumulación de materia seca, considerada como indicador de los procesos bioquímicos y fisiológicos que se dan en el interior de cada planta en respuesta a las condiciones de producción prevalecientes en el ciclo de vida de la misma (Curiel *et al.*, 2007), no presentó efecto significativo al tipo de inoculación; sin embargo, hubo tendencias notorias en cuatro de las seis variedades, donde los tratamientos inoculados superan al testigo. Lo cual, no concuerda con González (2012) que obtuvo un incremento por la inoculación de BPCV respecto al testigo sin inocular en variedades distintas a las del presente trabajo, Albión y Jacona. Castillejo (2011) en estudios con fresa obtuvo que al

inocular con un consorcio de *Azospirillum* como fijadora de nitrógeno atmosférico, no encontró diferencias significativas pero si un aumento en la biomasa fresca y seca a comparación al testigo sin inocular en la variedad Albión. Al respecto, Sánchez (2011) en tomate observó un efecto positivo en la inoculación con cepas de *Pseudomonas sp.* y *Bacillus sp.* en comparación del testigo sin inocular. En pepino se vió un efecto estadísticamente significativo, aumentando el peso seco con la presencia de las RPCV (Dursun *et al.* 2010). Mientras que Díaz-Vargas *et al.* (2001) obtuvieron una mayor estimulación del crecimiento vegetal, incrementando el peso fresco y seco en lechuga con la aplicación de cepas de *P. fluorescens* y *Beijerinckia indica*. Faggioli *et al.* (2003) en ensayos en maíz al inocular con *Azospirillum* no encontró efectos significativos en la biomasa seca en maíz pero si un aumento en comparación al tratamiento sin inoculación.

Cuadro 12. Diferencias estadísticas de variables agronómicas de seis variedades de fresa en suelo alcalino con dos tipos de inoculación de RPCV.

Variedad	Unidades SPAD	Volumen radical cm ³	Área foliar cm ²	Clorofila mg g ⁻¹ de hoja	Materia seca g
CP-Jacona	36.45 b	15.33 bc	412.12 bc	2.80 a	7.95 bc
Festival	35.30 b	16.89 ab	541.91 b	3.06 a	10.10 ab
CP-06-15	43.64 a	21.73 a	740.81 a	3.09 a	12.43 a
CP-Zamorana	36.87 b	14.93 bc	392.65 bc	2.41 a	7.84 bc
Sabrina	31.08 bc	15.22 bc	393.67 bc	2.32 a	7.76 bc
CP-LE-7	28.72 c	11.77 c	247.22 c	2.78 a	5.55 c

La mayor área foliar, materia seca, volumen radical, así como lecturas SPAD en la línea CP-06-15 (Cuadro 12), se puede deber a que los genotipos difieren en su capacidad de adaptación a estrés salino y para captar y usar los nutrientes, lo cual repercute en la producción de frutos y crecimiento (Carbajal *et al.* 2012). La morfología de la planta y el aspecto que en conjunto presentan son una manera en que se distinguen los cultivares (Estrada, 2011). En este sentido, Crespo *et al.* (2010) evaluaron diferentes variedades de fresa presentando diferencias significativas en el área foliar, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este trabajo en el que hubo diferencias entre variedades en la promoción de área foliar. Así mismo Durner *et al.* (1984) mencionaron que los genotipos de fresa presentan diferente sensibilidad a los factores ambientales en su respuesta en crecimiento vegetativo, producción de estolones y en su posterior fructificación. Por su parte, Cárdenas *et al.* (1992) indican que las variedades presentan distinta sensibilidad genética hacia los elementos ambientales, como pH del suelo, fotoperiodo, temperatura e intensidad luminosa y ello explica diferencias que se detectan entre variedades. Al respecto, Crespo *et al.* (2010) obtuvieron que el perfil de antocianinas es genéticamente heredada, en lugar de ser afectada por factores ambientales externos. Carbone *et al.* (2009) cuando se comparó la composición de flavonoides de diferentes genotipos de fresa cultivadas encontró que la variación general de antocianinas en fresa frutas maduras se vio afectada en gran medida por su genética en lugar de por factores ambientales.

5.2.3 Concentración nutrimental

En el análisis de varianza se detectaron diferencias significativas únicamente en los niveles del factor variedad, pero no en el factor inoculación. La interacción de los factores no fue significativa (Cuadro 13).

Cuadro 13. Valores de $Pr > F$ obtenidos en el análisis de varianza de micronutrientos (Cuadro A25, A26, A27, A28, A29), diferencias estadísticas para variedad, tipo de inoculación e interacción variedad por tipo de inoculación.

Factor	N	P	K mg kg ⁻¹	Ca	Mg
Variedad	0.0018	0.0120	0.0044 ns	0.5960 ns	0.2911 ns
Tipo de Inoc	0.4796 ns	0.1905 ns	0.0977 ns	0.2251 ns	0.0959 ns
Var x inoc	0.3785 ns	0.3347 ns	0.6879 ns	0.0875 ns	0.1303 ns

El nitrógeno es un elemento esencial y determinante en la producción vegetal, pues se usa para la producción de proteínas, ácidos nucleicos y coenzimas (Demirsoy *et al.*, 2012). Este estudio no muestra diferencias significativas en N a los tratamientos aplicados (Cuadro 13), en este sentido Castillejo, (2011) no encontró diferencias significativas a los tratamientos inoculados con el consorcio de *Azospirillum* y el testigo, pero superados con el tratamiento de fertilización química. Por otro lado, González (2012) obtuvo un incremento significativo de N en las hojas de la variedades Albión y Jacona promovido por *Bacillus subtilis*. Así mismo Orhan *et al.* (2006) reportaron que las BPCV incrementan el contenido de N en hojas de frambuesa. Por otro lado, la inoculación de BPCV en manzana disminuyó el contenido de N en las hojas (Karakurt y Aslantas, 2010).

Cuadro 14. Concentración de macronutrientes de seis variedades de fresa en suelo alcalino.

Variedad	N	P	K g kg ⁻¹	Ca	Mg
CP-Jacona	14.2 b	1.61 b	6.10 b	12.21 a	6.92 a
Festival	17.3 a	1.61 b	6.08 b	14.80 a	8.26 a
CP-06-15	16.5 ab	2.44 a	8.58 a	12.98 a	7.83 a
CP-Zamorana	14.3 b	1.73 ab	6.68 ab	14.13 a	8.04 a
Sabrina	14.0 b	1.46 b	5.62 b	13.49 a	8.20 a
CP-LE-7	13.8 b	1.79 ab	6.06 b	14.38 a	7.34a

Finalmente, se observan diferencias estadísticas en el factor variedad donde la línea CP-06-15 superó a todas las demás (Cuadro 14). Al respecto, de las diferencias en variedades en la absorción de N, Sandoval (2012) encontró que la diferencia en las variedades se debe a la información genética de cada variedad. Además pueden existir diferencias entre las variedades debido a que existe una variabilidad genética no solo en el contenido del mismo en las hojas, sino también para la capacidad de absorción de N. Asimismo Pino y Buneder (1996) mencionan que el porcentaje de N en las plantas depende de la variedad. También Cid (2014) mostró que diferentes genotipos de maíz absorbían diferente cantidad de N.

En P se obtuvieron diferencias significativas en el factor variedad, siendo la variedad CP-06-15 la que presentó valores más altos en la acumulación de este elemento (Cuadro 14). Se ha documentado que el P es un macronutriente esencial requerido por las plantas siendo componente de ácidos nucleicos, fosfoproteínas, fosfolípidos como lecitinas, constituyentes de las membranas citoplasmáticas, así como enzimas y proteínas. Este elemento interviene en varias coenzimas, incluidos los nicotin-adenosin-dinucleotido fosfato (NADP), fundamentales en los procesos fotosintéticos y transferencia de energía a través de los compuestos adenosin-difosfato (ADP) y adenosin-trifosfato (ATP). Es parte integral del ciclo reproductivo, al ser uno de los componentes del ARN y ADN. Interviene, asimismo, en el transporte de electrones en reacciones de óxido-reducción,

igualmente, ejerce un papel regulador en la formación y translocación de sustancias como azúcares y almidón (Sánchez, 2004). En cuanto a las diferencias en variedades Maske *et al.* (2001) informaron que la mayor eficiencia en el uso del P en diferentes variedades en ambientes con deficiencias se asoció con una mayor eficiencia de absorción de este elemento. De igual forma, Criollo (2013) menciona que no todos los materiales de maíz responden por igual al P en el suelo. Por otra parte, no se observan diferencias de este elemento en el tipo de inoculación. La actividad microbiana inducida mediante inoculantes a base de solubilizadores de fosfatos, puede contribuir considerablemente en la absorción de P en las plantas. Entre los microorganismos altamente eficaces para aumentar el P disponible se encuentran las rizobacterias solubilizadoras de P que promueven el crecimiento y rendimiento de varios de los cultivos de interés agrícola (Awasthi *et al.*, 2011). La inoculación de RPCV en algunos cultivos se ha visto un incremento de P, como por ejemplo: en la planta de maíz y tomate (Biari *et al.*, 2008; Turan *et al.*, 2012), en frutos de pepino y pimiento (Pérez, 2010; Dursun *et al.*, 2010; Islan *et al.*, 2013; Han *et al.* 2006), en hojas de fresa, frambuesa, (Esitken *et al.*, 2010; González, 2012; Castillejo, 2011; Orhan *et al.*, 2006); el albaricoque (Esitken *et al.*, 2003) y cereza dulce (Esitken *et al.*, 2006).

En acumulación de K en la parte aérea, se obtuvieron diferencias en el factor variedad, siendo la variedad CP-06-15 la que estadísticamente mostró valores más altos (Cuadro 14). La concentración de K varía ampliamente, no solo entre especies diferentes sino también entre los diversos órganos de la planta. Una vez que las hojas más viejas de la planta han alcanzado sus concentraciones específicas de K, el flujo neto de K desde las raíces satisface solo las cantidades necesarias para el desarrollo y crecimiento de nuevas raíces, no obstante los requerimientos de K cambian según el tipo de planta, la especie y los cultivares (Kant y Kafkafi, 2000). Al respecto Fortes *et al.* (2014) encontraron diferencias en el contenido de K entre variedades de *Pennisetum purpureum*. En este mismo sentido Sánchez y Calvache (2002) mostraron que en tres variedades de rosas, presentaron diferentes curvas y velocidad de absorción de nutrimentos.

En el análisis de varianza de micronutrientos, se detectaron diferencias significativas en los niveles del factor tipo de inoculación, pero no en el factor variedad. La interacción de los factores solo fue significativa en zinc y cobre (Cuadro 15).

Cuadro 15. Valores de Pr > F obtenidos en el análisis de varianza de micronutrientos (Cuadro A30, A31, A32, A33, A34), diferencias estadísticas para variedad, tipo de inoculación e interacción variedad por tipo de inoculación.

Factor	Fe	Cu	Zn	Bo	Mo
Variedad	0.3273 ns	0.0560 ns	0.0064	0.9336 ns	0.3889 ns
Tipo de inoc.	0.0154	0.0005	0.0462	0.1231 ns	0.1144 ns
Var x Inoc.	0.1701 ns	0.0197	0.0259	0.0912 ns	0.2093 ns

Las diferencias entre el tipo de inoculación se observaron en las variables concentración de Fe, Cu y Zn. Por otra parte, no hubo diferencia significativas entre el tipo de inoculación en las variables contenido de B y Mo (Cuadro 16).

Cuadro 16. Concentración de micronutrientos de seis variedades de fresa en suelo alcalino con dos tipos de inoculación.

Tipo de inoculación	Fe	Cu	Zn	Bo	Mo
	mg kg ⁻¹ de materia seca				
Suelo alcalino inoc. Directa	245.91 a	15.34 a	15.82 a	245.61 a	7.88 a
Suelo alcalino inoc. Por inmersión	176.28 b	7.15 b	13.25 ab	225.42 a	11.94 a
Suelo alcalino sin inocular	214.79 ab	6.29 b	11.29 b	256.22 a	7.83 a

En acumulación de Fe se obtuvieron diferencias estadísticas en tratamientos donde el tratamiento de inoculación directa presentó los mayores valores (Cuadro 16). El hierro es el elemento esencial para la síntesis de la molécula de clorofila, está implicado en la fijación de nitrógeno, fosfolípidos y transferencias de electrones, participa en reacciones de óxido-reducción, es también un componente estructural de otras sustancias implicadas en estas reacciones, como la reducción de O₂ a H₂O durante la respiración. Forma parte del grupo prostético de ciertas proteínas, en especial de citocromos, peroxidasas y algunas deshidrogenasas (Sánchez, 2004). El Fe incrementó significativamente en las hojas de las líneas CP-06-15 y CP-LE-7 por la estimulación de las

rizobacterias. Castillejo (2011) y González (2012) encontraron diferencias en el contenido de Fe al inocular con *Pseudomonas* sp. y *Bacillus* sp. Esitken *et al.*, (2010) inocularon *Azospirillum* en fresa obteniendo resultados similares, así mismo en frambuesa (Orhan *et al.*, 2006), en albaricoque (Esitken *et al.*, 2003). Dursun *et al.* (2010) visualizaron que las RPCV incrementaron el Fe en frutos de pepino y tomate.

En acumulación de Cu en la parte aérea, se presentaron diferencias significativas en el tipo de inoculación, ya que el tratamiento de inoculación directa superó al tratamiento de inoculación por inmersión y al tratamiento sin inoculación (Cuadro 16). En la interacción tipo de inoculación x variedad, el tratamiento de inoculación directa en la variedad CP-LE-7, CP-Zamorana y CP-06-15 presentó los valores más altos. El Cu es el componente de algunas enzimas metabólicas, está implicado en la formación de la pared celular, en el transporte electrónico y reacciones de oxidación, influye en la formación y composición química de la pared celular. También estabiliza la clorofila y participa en el metabolismo de las proteínas y de los carbohidratos (Sánchez, 2004). La inoculación con las cepas bacterianas incrementaron el contenido de Cu en fresa, lo que concuerda con los resultados obtenidos por con Ipek *et al.* (2014), Esitken *et al.*, (2010) y González (2012).

El Zn está implicado en la síntesis del triptófano, precursor clave de las auxinas. Estimula diversas actividades enzimáticas en los vegetales (fosfatasa, decarboxilasas, etc), el metabolismo del N y la formación de pigmentos flavonoides y del ácido ascórbico (Valagro, 2004). En los resultados se observó que la variedad CP-06-15 estadísticamente mostró mayor concentración de este elemento en su parte aérea, también se evidenció que los tratamientos con rizobacterias incrementan el contenido de Zn con respecto al testigo (Cuadro 16). Lo cual concuerda con el incremento de Zn en fresa reportado por Ipek *et al.* (2014), González (2011) y Esitken *et al.* (2010). Asimismo se ha observado en varios cultivos tendencias similares, como en la absorción de nutrientes por las

plantas de maíz (Biari *et al.*, 2008), tomate y pepino (Kourosh *et al.*, 2010; Dursun *et al.*, 2010).

En Ca, Mg, B y Mo no existen diferencias estadísticas en variedad, tipo de inoculación y tampoco en la interacción variedad x tipo de inoculación.

5.2.4. Cuantificación de la población bacteriana de la rizósfera de fresa

En el análisis microbiológico sobre la cuantificación de bacterias solubilizadoras de fosfatos a los 227 días después de la trasplante se encontraron diferencias significativas en el factor variedad, pero no en el factor tipo de inoculación. De igual forma, la interacción de los factores fue significativa (Cuadro 17).

Cuadro 17. Valores de Pr > F obtenidos en el Análisis de varianza de población de bacterias solubilizadoras de fosfato (Cuadro A35), diferencias estadísticas para variedad, tipo de inoculación e interacción variedad por tipo de inoculación.

Factor	Población de bacterias solubilizadoras de fosfatos
Variedad	0.0075
Tipo de inoculación	0.1704 ns
Var x tipo de inoc.	0.0126

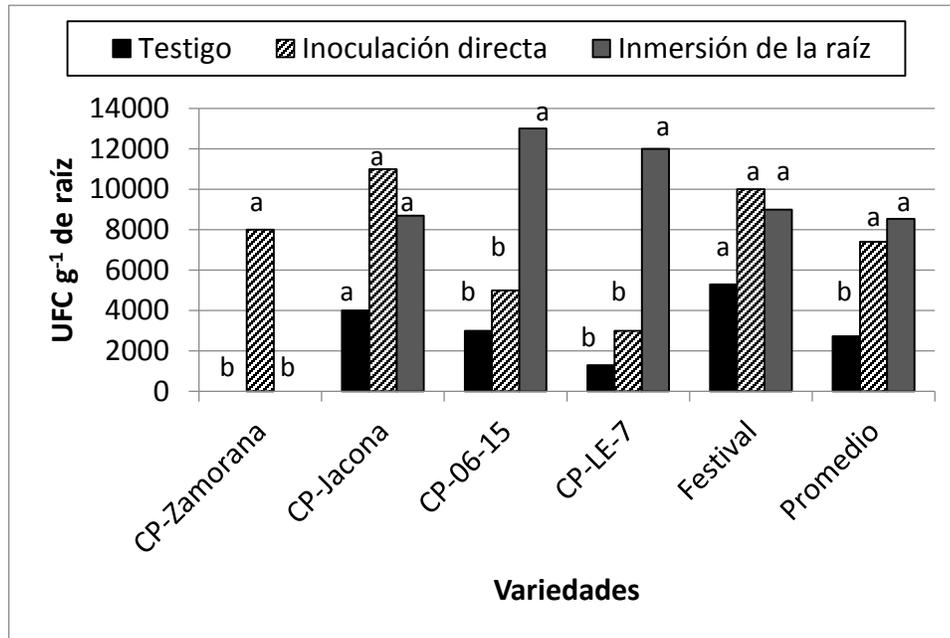
Cuadro 18. Variable población de bacterias solubilizadoras de fosfato de seis variedades de fresa en suelo alcalino con dos tipos de inoculación de RPCV.

Variedad	Población de bacterias solubilizadoras de fosfato (UFC g ⁻¹ de raíz)
CP-Jacona	7.89 ab
Festival	8.11 ab
CP-06-15	12.67 a
CP-Zamorana	2.67 b
Sabrina	11.11 a
CP-LE-7	5.44 ab

En el análisis microbiológico no muestra efecto significativo entre el tipo de inoculación, pero si entre variedades, siendo la línea CP-06-15 la que superó estadísticamente a todas las variedades (Cuadro 18). Asimismo, en la interacción

de los factores en la variedad CP-06-15 y Sabrina el tratamiento testigo mostró estadísticamente los valores más altos, lo que se pueden deber a que la composición microbiana del suelo depende de los exudados radicales que libera la planta o la variedad (Mazzola, 2004) y de la disponibilidad de nutriente.

Figura 5. Tamaño de la población de bacterias solubilizadoras de fosfatos en la raíz de cinco



variedades de fresa con tres métodos de inoculación de RPCV. Columnas testadas con la misma letra para la misma variedad o para el promedio de todas las variedades son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Las raíces de CP-Zamorana presentaron mayor colonización por bacterias solubilizadoras de fosfatos en el tratamiento inoculado por aplicación directa en comparación con el testigo y las inoculadas por el método de inmersión de la raíz. En CP-Jacona no se presentaron diferencias en la población de estas bacterias entre los tres tratamientos (Figura 5). Lo anterior indica que las bacterias inoculadas a la variedad CP-Zamorana se establecieron en las raíces, pero en lugar de favorecer la mejor nutrición de las plantas provocaron reducción en su nutrición, lo que se puede asociar a que se comportaron como competidoras por nutrientes. En este sentido, los microorganismos necesitan de condiciones favorables edáficas y ambientales para colonizar la rizósfera y estos cambios

tienen impactos directos e indirectos sobre los microorganismos (Castro *et al.*, 2010). Las condiciones ambientales (suelo, clima, fertilización) y las características de los microorganismos nativos e introducidos son factores determinantes para la sobrevivencia y actividad en la rizósfera (Bacilio *et al.*, 2001; Kozdroj *et al.*, 2004). Un prerequisite indispensable para el éxito de la inoculación es la proliferación de las bacterias en la rizósfera (Edge y Wyndham, 2002).

La incapacidad de los inoculantes para mejorar el rendimiento de los cultivos, se atribuye a la ineficiencia de estas bacterias para colonizar consistentemente la rizósfera, cuando se inocula en condiciones asépticas, las bacterias no tienen competencia, por lo cual la densidad de su población en la rizósfera está determinada sólo por la disponibilidad de carbono de los exudados. Por otra parte, en condiciones naturales, la competencia por los exudados entre los microorganismos es intensa. Si una determinada población bacteriana es alta, las bacterias estarán presentes en un mayor número de raíces, tendrán mayor disponibilidad de exudados que aquéllas con baja densidad (Loredo-Osti *et al.*, 2004; Senechkin *et al.*, 2010).

Por otra parte, ciertas sustancias presentes en los exudados radicales actúan como moléculas de señalización, que activan la expresión de aquellos genes que les confieren mejor desempeño en la rizósfera en *Pseudomonas* por ejemplo, son un grupo importante de bacterias promotoras del crecimiento vegetal algunos genes se expresan en niveles altos cuando la bacteria coloniza la rizósfera, la activación de estos genes mejora el desempeño de la bacteria en la rizósfera. Se desconocen las señales que activan la expresión de estos genes, pero podrían ser moléculas presentes en los exudados; así por ejemplo, la prolina, aminoácido muy abundante en exudados del maíz, activa la expresión de los genes *put* en la bacteria promotora del crecimiento vegetal *Pseudomonas putida*. Estos genes son importantes para la bacteria, porque le permiten utilizar la prolina. Es probable que la habilidad para utilizar este aminoácido le confiera ventaja a *P. putida* sobre otras bacterias para colonizar las raíces (Bashan y Holguin, 2008).

Algunas RPCV que actúan directamente, y cuyo uso lleva a un incremento en el crecimiento vegetal bajo condiciones controladas de laboratorio o invernadero, pueden parecer poco efectivas en situaciones de invernadero o campo donde no son competitivas frente a otros microorganismos del suelo que pueden estar presentes (De-Bashan *et al.*, 2007).

El éxito en la promoción del crecimiento de las plantas está condicionado por los factores que modifican el componente numérico de la población introducida, de un establecimiento oportuno y de su persistencia durante la estación de crecimiento de la raíz, así como de RPCV compatibles, del cultivo vegetal y la condición ecológica del suelo (Loredo-Osti *et al.*, 2004; Bailey y Lazarovits, 2003). De acuerdo a la Figura 5, se observó que al analizar el promedio de todas las variedades, ambos métodos de inoculación provocan que las bacterias colonicen exitosamente las raíces de fresa en comparación con el testigo sin inocular. Lo anterior indica que las plantas de fresa inoculadas por ambos métodos fueron colonizadas por las bacterias solubilizadoras de fosfatos aplicadas, pero éstas no favorecieron el número y peso de los frutos, por lo contrario, las aplicadas por el método de inmersión provocaron reducción en estas variables productivas.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Bajo condiciones de acidas pH 4.4, se obtiene una mayor respuesta en producción de estolones, volumen radical, área foliar y materia seca, así como, la absorción de fósforo, potasio, magnesio, hierro y boro en plantas de fresa, que en condiciones alcalinas pH 8.6.

La inoculación con las cepas de rizobacterias solubilizadoras de fosfato no incrementan la eficiencia de absorción de macronutrientes en la planta en suelo alcalino, independientemente del tipo de inoculación, sin embargo, la inoculación directa tiende a aumentar la concentración de hierro, cobre y zinc en fresa en condiciones de alcalinidad.

Bajo condiciones alcalinas del suelo pH 8.6, la variedad CP-Jacona presentó mayor producción de fruto, Sabrina y CP-Le-7 presentaron mayor resistencia a la penetración, mientras que la línea CP-06-15 mostró mayor cantidad de sólidos solubles totales (°Brix).

La línea CP-06-15, en condiciones de alcalinidad del suelo obtuvo área foliar, materia seca, concentración de fósforo y potasio y zinc.

La línea CP-06-15, posiblemente puede representar una alternativa con potencial de crecimiento y producción de biomasa en un pH alcalino, pero más bajo que el 8.6 de este trabajo. Sin embargo, cabe señalar que hacen falta estudios de campo para corroborar estos resultados en esta variedad.

CAPÍTULO 7. LITERATURA CITADA

- Abad, M., P. Noguera, C. Carrión. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. Tratado de cultivo sin suelo. Urrestarazu G. M. Tratado de cultivo sin suelo. Ediciones Mundi-Prensa. Pp. 113-158.
- Aciego J. 2011. Efecto rizósfera del cultivo maíz sobre algunas poblaciones microbianas y características químicas de un suelo tropical. *Venesuelos*, 6(1): 39-45.
- Adhikary H. P. B. Sanghavi, S. R. Macwan, G. Archana, N Kuma G. 2014. Artificial Citrate Operon Confers Mineral Phosphate Solubilization Ability to Diverse Fluorescent *Pseudomonads*. *PloS one* 9(9):e107554.
- Aguilar C. C. 2014. Calidad de rendimiento de maíz en función del tipo de fertilización en ambientes contrastantes. Tesis de Maestría Colegio d Postgraduados. 150 p.
- Ahemad, M., M.S. Khan. 2012a. Effect of fungicides on plant growth promoting activities of phosphate solubilizing *Pseudomonas putida* isolated from mustard (*Brassica compestris*) rhizosphere, *Annals of microbiology*, 62(4): 1531-1540.
- Ahemad, M., M.S. Khan. 2012b. Evaluation of plant-growth-promoting activities of rhizobacterium *Pseudomonas putida* under herbicide stress. *Annals of microbiology*, 62(4): 1531-1540.
- Ahemad, M., M.S. Khan. 2011a. Effects of insecticides on plant-growth-promoting activities of phosphate solubilizing rhizobacterium *Klebsiella sp.* strain PS19. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 100(1):51-56.
- Ahemad, M., M.S. Khan. 2011b. Assessment of plant growth promoting activities of rhizobacterium *Pseudomonas putida* under insecticide-stress. *Microbiol. Journal* 1(2): 54-64.
- Ahmad, F. I. Ahmad, M. Khan. 2006. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*. 36:1-9.
- Alexander, L., and D. Grierson. 2002. Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climateric fruit ripening. *J. Experimental Botany*. 53(377): 2039-2055
- Akbar S., S. Sultan, M. Kertesz. 2014. Determination of Cypermethrin Degradation Potential of Soil Bacteria Along with Plant Growth-Promoting Characteristics. *Current microbiology*: 1-10
- Aswathy, A. J., B. Jasim, M. Jyothis, E. K. Radhakrishnan. 2013. Identification of two strains of *Paenibacillus sp.* as indole 3 acetic acid-producing rhizome-associated endophytic bacteria from *Curcuma longa*. *3 Biotech*, 3(3): 219-224.
- Bacilio J. M. S Aguilar F.; M. Del Valle V., A. Perez, A. Zepeda y E. Zenteno. 2001. Endophytic bacteria in rice seeds inhibit early colonization of roots by *Azospirillum brasilense*. *Soil Biology and Biochemistry*. 33:167-172.

- Bacilio, M.J., S. Aguilar, E. Ventura, E. Pérez, S. Bouquelet, E. Zenteno. 2003. Chemical characterization of root exudates from rice (*Oryza sativa*) and their effects on the chemotactic response of endophytic bacteria. *Plant and Soil*, 249: 271-277
- Badri DV, Weir TL, van der Lelie D, Vivanco JM. 2009. Rhizosphere chemical dialogues: plant-microbe interactions. *Current Opinion in Biotechnology* 20: 642- 650.
- Bakhshandeh E, H. Rahimian, H. Pirdashti, G. A. Nematzadeh. Phosphate solubilization potential and modeling of stress tolerance of rhizobacteria from rice paddy soil in northern Iran. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30:2437-2447.
- Banik, S., & B. K. Dey. 1982. Available phosphate content of an alluvial soil as influenced by inoculation of some isolated phosphate-solubilizing microorganisms. *Plant and Soil*, 69(3):353-364.
- Barea, J. M., M. Pozo, R. Azcon, C. Azcon-Aguilar. 2005. Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of experimental botany*, 56(417): 1761-1778.
- Barahona, M., E. Sancho. 1998. Manzana, Melocotón, fresa y mora. *Fruticultura especializada. Fruticultura II. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica*, 97-108.
- Bashan, Y. y G. Holguin, 1998. A proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-plant growth-promoting bacteria and plant growth-promoting bacteria. *Soil Biology and Biochemistry* 30: 1225-1228
- Baudillo J., 1969. *Como cultivar fresas, fresones y tomates*. Editorial AEDOS. Barcelona, España. 207 p.
- Bécquer G C., G.Lazarovits, L. Nielsen, M. Quintan, M. Adesina, L. Quigley, I. Lalin, C. Ibbotson. 2012. Efecto de la inoculación con bacterias rizosféricas en dos variedades de trigo. Fase II: invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(5): 985-997.
- Benizri, E., E. Baudoin, A. Guckert. 2001. Root colonization by inoculated plant growth-promoting rhizobacteria. *Biocontrol Science and Technology*, 11(5): 557-574.
- Berendsen, R. L., C. Pieterse, P. Bakker. 2012. The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in plant science*, 17(8), 478-486.
- Bhatti, A. R., Alvi A., W. Satish.G. Chaudhry R. 2002 pH-Dependent Modulation of Alkaline Phosphatase Activity in *Serratia marcescens*. *Current Microbiology* 45: 245-249
- Bianchi P.G. 1999. *Guía completa del cultivo de fresas*. 2ª ed. Editorial de Vecchi, España. 94 p.
- Biari, A., A. Gholami, y H. Rahmani. 2008. Growth promoting and enhanced nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid region of Iran. *Journal of Biological Sciences*. 8(6):1015-1020.
- Bonfante P, Anca I. 2009. Plants, mycorrhizal fungi, and bacteria: a network of interactions. *Annual Rev. Microbiol.*, 63:363-383

- Bradford, E., J. F. Hancock, R. M. Warner. 2010. Interactions of temperature and photoperiod determine expression of repeat flowering in strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 135(2): 102-107
- Bulgarelli, D., K. Schlaeppi, S. Spaepen, E. V. van Themaat, P. Schulze-Lefert. 2013. Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annual review of plant biology*, 64, 807-838
- Calderón, Z. G. y R. Vega del R. 2009. Variedades Mexicanas y Cultivares Comerciales Extranjeros de Fresa. Pp. 56-60. In: Cano, M. R., A. E. Becerril- Román, G. Calderón Z., A. López J. y C. Saucedo V. (Editores). 2009. II Simposium Nacional de Producción Forzada de Frutales y I Curso Nacional de Producción Forzada de Durazno y Frutillas. Colegio de Postgraduados. México, 147 p.
- Camelo M., P. Vera, S., y Bonilla, R. R. 2011. Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12 (2):159-166
- Carbone, F., A. Preuss, R. C. De Vos, G. Perrotta, A. G. Bovy, C. Rosati. 2009. Developmental, genetic and environmental factors affect the expression of flavonoid genes, enzymes and metabolites in strawberry fruits. *Plant, cell & environment*, 32(8): 1117-1131.
- Cardenas N. R., A. Manzo G., A. Muratalla L. 1991. Propagación de siete cultivares de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) en el valenciano, Ixtlán de los Hervores, Michoacán, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 78: 110–113.
- Carrillo C. G., J. Juárez M., J., D. Ruiz L., y R. Müller G. 2000. Aumento del rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cuando la raíz se desarrolla colonizada por microorganismos. *Biotechnología aplicada*, 17: 171-176.
- Carvajal P. L. M., E. Hadi Y., R. Cartagena, C. Pelaez, C. A. Gaviria, B. A. Rojano. Capacidad antioxidante de dos variedades de *Fragaria x ananassa* (Weston) Duchesne (fresa) sometidas a variaciones en la nutrición vegetal. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 17:37-53
- Castillo A. L. E. 2011. Aplicación de azospirillum y su efecto en la calidad y rendimiento de fresa (*Fragaria x ananassa*) Var. Albion cultivada en invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias de Producción Agrícola Sustentable
- Castro-Sowinki, S., Y. Herschkovitz., Y. Okon and J. Eurkevitch. 2007. Effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria on resident rhizosphere microorganisms. *FEMS Microbiology Letters* 276: 1-11.
- Chapman, H. 1960. Leaf and soil analysis in citrus orchards. Manual 25. Agricultural Experimental Station, University of California. Berkeley, CA
- Chouliaras, V., I. Therios, A. Molassiotis, A. Patakas, and G. Diamantidis. 2004. Effect of iron deficiency on gas exchange and catalase and peroxidase activity in citrus. *J. Plant Nutr.* 27: 2085-2099
- Cieslinski G, G.H. Neilsen and E.I. Hogue. 2004. Effect of soil cadmium application and pH on growth and cadmium accumulation in roots, leaves and fruit of strawberry plants (*Fragaria X ananassa* Duch.). *Plant and Soil* 180: 267-276.

- Coleman, D.C., D.A.J. Crossley, P.F. Hendrix. 2004. Fundamentals of soil ecology. Amsterdam. The Netherlands. Boston, MA, USA: Elsevier Academic Press
- Conafresa. 2011. Plan rector nacional. 43 pp.[En línea]. <http://conafresa.com/index.php?option=com_content&task=view&id=16&Itemid=32>.
- Couillerot, O., C. Prigent-Combaret, J. Caballero-Mellado, Y. Moënne-Loccoz. 2009. *Pseudomonas fluorescens* and closely-related fluorescent pseudomonads as biocontrol agents of soil-borne phytopathogens. Letters in applied microbiology, 48(5): 505-512.
- Compant, S., B. Duffy., J. Nowak., C. Clément and E. A. Barka. 2005. Use of Plant growthpromoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanism of action, and future prospects. Applied and Environmental Microbiology 71: 4951-4959
- Crespo, P., J. Bordonaba, L. Terry, y C. Carlen. 2010. Characterisation of major taste and health-related compounds of four strawberry genotypes grown at different swiss production sites. Food Chemistry. 122:16-24.
- Criollo, H., T. C. Lagos, R. Paredes, & A. Benavides, A. 2013. Comportamiento de materiales mejorados de maíz bajo diferentes niveles de boro y fósforo. Revista de Ciencias Agrícolas, 19(1 y 2).
- Curiel R. A., J. Espinoza E., J. Cruz H. y G. Almaguer V. 2007. Modelos de regresión para estimar área de la hoja y biomasa de órganos en árboles jóvenes de manzano. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 13(2):171-177.
- Datta, M., R. Palit, C. Sengupta, M. Kumar, y S. Banerjee. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria enhance growth and yield of chilli (*Capsicum annuum* L.) under field conditions. Australian Journal of Crop Science. 5(5):531-536.
- de-Bashan, L.E., G. Holguin, B. Glick R. and Bashan, Y. 2007. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas para propositos agricolas y ambientales. In: Microbiologia agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biologico, planta-microorganismo. (Eds.) Ferrera-Cerrato, R., and Alarcon, A. Trillas, pp. 170-224.
- Del campillo, M. C. y J. Torrent. 1994. La clorosis ferrica, predicción a a partir de propiedades edaficas. Departamento de ciuancia y recursos agrícolas y forestales. Universidad e cordoba p.59-62.
- De Weert S, Dekkers LC, Bitter W, Tuinman S, Wijfjes AHM, van Boxtel R & Lugtenberg BJJ (2006) The two-component Colr/s system of *Pseudomonas fluorescens* WCS365 plays a role in rhizosphere competence through maintaining the structure and function of the outer membrane. FEMS Microbiology Ecology 58:205-213.
- Demirsoy, L., H. Demirsoy, y G. Balci. 2012. Different growing conditions affect nutrient content, fruit yield and growth in strawberry. Pakistan Journal of Botany. 44(1): 125-129.
- Dennis, P. G., A. J. Miller, P. R. Hirsch. 2010. Are root exudates more important than other sources of rhizodeposits in structuring rhizosphere bacterial communities?. FEMS microbiology ecology, 72(3): 313-327.

- Díaz V. P., R. Ferrera C., J. Almaraz S., y G. Alcántar G. 2001. Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en lechuga. *Terra Latinoamericana*. 19(4):327-335.
- Ding, M. Z., Y. Zou, H. Song, Y. J. Yuan. 2014. Metabolomic Analysis of Cooperative Adaptation between Co-Cultured *Bacillus cereus* and *Ketogulonicigenium vulgare*. *PloS one*, 9(4): e94889.
- Dirección General de Desarrollo Económico de Irapuato. 2003. Panorama de la fresa en el entorno mundial, nacional y local. 47 p.
- Dos Santos M. E. 2002 Hidroponía y promoción del crecimiento de plántulas de tomate inoculadas con bacterias PGPR. Fundación Antorchas Programa de Becas para Jóvenes Destacados del Polimodal, 65.
- Dobbelaere, S., A Croonenborghs, A. Thys, D. Ptacek, Y. Okon and J. Vanderleyden. 2002. Effect of inoculation with wild type *Azospirillum brasilense* and *A. irakense* strains on development and nitrogen uptake of spring wheat and grain maize. *Biology and Fertility of Soils* 36: 284-297
- Drogue, B., H. Doré, S. Borland, F. Wisniewski-Dyé, C. Prigent-Combaret. 2012. Which specificity in cooperation between phytostimulating rhizobacteria and plants?. *Research in microbiology*, 163(8): 500-510.
- Durner, E. F.J. Barden A., D. Hilmelrick G, E. Poling B. 1984. Photoperiod and temperature effects on flower and runner development in day-neutral, June-bearing and ever-bearing strawberries. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109: 396-400.
- Dursun, A., M. Ekinci, y M. Dönmez. 2010. Effects of foliar application of plant growth promoting bacterium on chemical contents, yield and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum L.*) and cucumber (*Cucumis sativus L.*). *Pakistan Journal of botany*. 42(5):3349-3356.
- Eastman, A.W., D. Heinrichs E, Z. C Yuan. Comparative and genetic analysis of the four sequenced *Paenibacillus polymyxa* genomes reveals a diverse metabolism and conservation of genes relevant to plant-growth promotion and competitiveness. *BMC genomics*, 15(1):851.
- Edge, T. A. and R.C. Wyndham. 2002. Predicting survival of a genetically engineered microorganism, *Pseudomonas chlororaphis* 3732RN-L11, in soil and wheat rhizosphere across Canada with linear multiple regression models. *Can. Journal Microbiological* 48: 717-727.
- Esitken, A., H. E. Yildiz, S. Ercisli, M. Figen, M. Turan, y A. Gunes. 2010. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*. 124(1):62-66.
- Esitken, A., H. Karlidag, S. Ercisli, M. Turan, F. Sahin. 2003. The effect of spraying a growth promoting bacterium on the yield, growth and nutrient element composition of leaves of apricot (*Prunus armeniaca L. cv. Hacihaliloglu*). *Crop and Pasture Science*, 54(4): 377-380.
- Erturk, Y., Ercisli, S. y Cakmakci R. 2012. Yield and growth response of strawberry to plant growth-promoting rhizobacteria inoculation. *Journal of plant nutrition*. 35(6):817-826.

- Estrada N. C. 2011. Caracterización fisiológica y productiva de dos variedades mexicanas de fresa (*Fragaria x Ananassa*) para el subtrópico. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. 103 p.
- Etchevers-Barra J.D. 1988. Manual de métodos de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y agua de la FAO. 220 p
- Faggioli V. S. R. Cazorla C., A. Vigna y M. Berti F. 2003. Fertilizantes biológicos en maíz Ensayo de inoculación con cepas de *Azospirillum brasilense* y *Pseudomonas fluorescens*. Córdoba, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 4 p
- Felici C., L. Vettori, E. Giraldi, L. M. C. Forino, A. Toffanin, A. M. Tagliasacchi and M. Nuti. 2008. Single and co-inoculation of *Bacillus subtilis* and *Azospirillum brasilense* on *Lycopersicon esculentum*: Effects on plant growth and rhizosphere microbial community. *Applied Soil Ecology* 40: 260-270.
- Felipe M. D. 2004. Interacciones microorganismos-suelo-planta en la preservación del medio ambiente y la salud. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 70, 743-77.
- Fernandez A. L., de Zousa G. L. O. D., S. Nietsche, A. Aparecida X., M. Regina C., A. M. Santos C., M. C. Toledo P., D. F. Silva P. analysis of the abilities of endophytic bacteria associated with banana tree roots to promote plant growth. *Journal of Microbiology*, 52(1):27-34.
- Ferrera-Cerrato, R. 1995. Efecto de rizósfera. In: R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez M. (eds.). *Agromicrobiología. Elemento útil en la agricultura*. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. pp 36-53
- Ferrera-Cerrato, R. 2007. *Microbiología agrícola: Hongos, bacterias, Micro y Macrofauna, control biológico y planta-microorganismo*. Ed Trillas. 568 p.
- Finn, C. E., J. B. Retamales, G. A. Lobos, J. F. Hancock. 2013. The Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*): Over 1000 years of domestication. *HortScience*, 48(4): 418-421.
- Fortes, D., R. S. Herrera, M. García, A. M. Cruz, & A. Romero. 2014. Análisis del crecimiento del *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 en la tecnología de banco de biomasa. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 48(2):167-172.
- Galicia J. M. M., C. Sandoval C., R Rojas H. H Magaña S. 2011. Quimiotaxis bacteriana y flavonoides: perspectivas para el uso de probióticos. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(3): 891-900.
- Gálvez P. A. 2011. La complejidad de las relaciones de los microorganismos con organismos superiores. *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental*, (24): 33-43.
- Gans, J., M. Wolinsky, J. Dunbar. 2005. Computational improvements reveal great bacterial diversity and high metal toxicity in soil. *Science*, 309(5739):1387-1390.
- García, E. 1973. Instituto de Geografía. UNAM. México, D. F. 217 p.
- Glick, B. R., D. M. Penrose, and J. Li. 1998. A model for the lowering of plant ethylene concentrations by plant growthpromoting bacteria. *Journal of Theoretical Biology*. Biol. 190: 63-68.

- Goldstein, A. H. 1986. Bacterial solubilization of mineral phosphates: historical perspective and future prospects. *American Journal of Alternative Agriculture* 1: 51-57
- Goldstein, A., T. Lester, and J. Brown. 2003. Research on the metabolic engineering of the direct oxidation pathway for extraction of phosphate from ore has generated preliminary evidence for PQQ biosynthesis in *Escherichia coli* as well as a possible role for the highly conserved region of quinoprotein dehydrogenases. *Biochimica et Biophysica Acta Proteins and Proteomics* 1647: 266-271.
- Gómez, Y. 2004. Actividad de las fosfatasas ácidas y alcalinas extracelulares e intracelulares en hongos de la rizósfera de *Arachis hypogaea* (*Papilionaceae*). *Revista de Biología Tropical* 52(1): 287-295.
- Gómez, W., L. Buela, L. T. Castro, V. Chaparro, M. M. Ball, L. A. Yarzabal. 2010. Evidence for gluconic acid production by *Enterobacter intermedius* as an efficient strategy to avoid protozoan grazing. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(5): 822-830.
- Gómez, C. y Corlay, L. 2007. Microbiota edáfica y su importancia en la agricultura. In: Ferrera-Cerrato R. y Alarcón, A. pp 39-55. *Microbiología Agrícola* (Eds) trillas.
- Gonzalez U, M. A. 2012 *Bacillus subtilis* como promotora del rendimiento y calidad de fresa. Tesis de maestro en ciencias en producción agrícola sustentable. Instituto Politécnico Nacional.
- Gulen, A., A. Eris. 2004. Effect of heat stress on peroxidase activity and total protein content in strawberry plants. *Plant Science* 166(3): 739-744
- Güneş, A., N. Ataoğlu, M. Turan, A. Eşitken, Q. M. Ketterings. 2009. Effects of phosphate-solubilizing microorganisms on strawberry yield and nutrient concentrations. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(3): 385-392
- Gupta M., S Kiran, A. Gulati, B. Singh, R. Tewari. 2012. Isolation and identification of phosphate solubilizing bacteria able to enhance the growth and aloin-A biosynthesis of *Aloe barbadensis* Miller. *Microbiological research*, 167(6):358-363.
- Hao Y. E., P. X. Yang, M. H. Chen, X. P. Shu, Q. Chen, C. Li, F.X. Yang, M. H. Mo. Hao, Y. E., Yang, P. X. 2012. Chen, M. H., Shu, X. P., Chen, Q., Li, C. & Mo, M. H. 2012. Phylogenetic diversity of soil chemotactic bacteria in a phosphorous-rich area around Dianchi Lake of Yunnan Province, Southwest China. *Ying yong sheng tai xue bao= The journal of applied ecology* 23(7):1985-1991.
- Halder, A. K., A. K. Mishra, P. Bhattacharya, P. K. Chakrabarty. 1990. Solubilization of rock phosphate by *Rhizobium* and *Bradyrhizobium*. *Journal of General Applied Microbiology* 36(8): 1-92
- Han, H. S., K. D. Lee. 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. *Plant soil and Environment*, 52(3):130.
- Hancock, J. F., C. E. Finn, J. J. Luby, A. Dale, P. W. Callow, S. Serçe, S. 2010. Reconstruction of the Strawberry, *Fragaria x ananassa*, Using Genotypes of *F. virginiana* and *F. chiloensis*. *HortScience*, 45(7), 1006-1013.

- Harborne, J. 1973. Phytochemical methods, a guide to modern techniques of plant analysis, JB Harborne.
- Hariprasad, P., & S. R. Niranjana. 2009. Isolation and characterization of phosphate solubilizing rhizobacteria to improve plant health of tomato. *Plant and soil*, 316(2):13-24.
- Hartmann, A., M. Rothballer., M. Schmid. 2008. Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizosphere microbial ecology and soil bacteriology research. *Plant and Soil* 312: 7-14.
- Hasan, S. M. Z., I. Al-Madhagi, A. Ahmad, W. A. B. Yusoff. 2011. Effect of photoperiod on propagation of Strawberry (*Fragaria ananassa Duch.*). *Journal of Horticulture and Forestry*, 3(8): 259-263.
- Henry B., F.C. Correa R., y J. Nieves, S. 2005. Incidencia de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en la vegetación del páramo El Granizo. Estrategias adaptativas de plantas del páramo y del bosque altoandino en la Cordillera Oriental de Colombia, 151 p.
- Hernández, T, 1995. 50 Cultivos de exportación no tradicionales. Ediciones Fundación Desde el Surco. Quito, Ecuador. 1995. 119 p
- Hong-ling, Q., W. S. Gao., Y. C. Ma., L. Ma., C.M. Yin., Z.Chen and C. Chen. 2008. Effects of subsoiling on soil moisture under No-tillage for two years. *Agricultural Sciences in China* 7: 88-95.
- Ipek, M., L. Pirlak, A. Esitken, D. M. Figen, M. Turan, F. Sahin. 2014. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (Pgpr) Increase Yield, Growth And Nutrition Of Strawberry Under High-Calcareous Soil Conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 37(7): 990-1001.
- Islam, M., T. Sultana, M. M, Joe, W. Yim, J. C. Cho, T. Sa. 2013. Nitrogen-fixing bacteria with multiple plant growth-promoting activities enhance growth of tomato and red pepper. *Journal of basic microbiology*, 53(12): 1004-1015.
- Javed, M. T., E. Stoltz, S. Lindberg, M. Greger. 2013. Changes in pH and organic acids in mucilage of *Eriophorum angustifolium* roots after exposure to elevated concentrations of toxic elements. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(3): 1876-1880.
- Jones, D.L. 1998. Organic acids in the rhizosphere—a critical review. *Plant and Soil*, 25: 25-44.
- John, R. P., D. Gangadharan, K. M. Nampoothiri. 2008. Genome shuffling of *Lactobacillus delbrueckii* mutant and *Bacillus amyloliquefaciens* through protoplasmic fusion for l-lactic acid production from starchy wastes. *Bioresource technology*, 99(17): 8008-8015.
- Jones, D. L. 1998. Organic acids in the rhizosphere—a critical review. *Plant and soil*, 205(1), 25-44.
- Kant S. and Kafkafi U. 2000. Absorción de potasio por los cultivos en distintos estadios fisiológicos The Hebrew University of Jerusalem, Faculty of Agricultural, Food and Environmental Quality Sciences, Rehovot, Israel. 1-54p.
- Karlidag, H., E. Yildirim, M.Turan, M. Pehlivan, F. Donmez. 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria mitigate deleterious effects of salt stress on strawberry plants (*Fragaria ananassa*). *HortScience*, 48(5): 563-567.

- Kaur, G., M.S. Reddy. 2013. Phosphate solubilizing rhizobacteria from an organic farm and their influence on the growth and yield of maize (*Zea mays* L.). The Journal of General and Applied Microbiology 59 (4):295-303.
- Kaur, R., J. Macleod, W. Foley, M. Nayudu. 2006. Gluconic acid: An antifungal agent produced by *Pseudomonas* species in biological control of take-all. Phytochemistry, 67(6): 595-604.
- Karakurt, H. y R. Aslantas. 2010. Effects of some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) strains on plant growth and leaf nutrient content of apple. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 18(1): 101-110.
- Kepenek, K. and F. Koyuncu. 2002. Effect of salt expression of resistance in some domestic foreign strawberry cultivars. Acta Horticulturae. 573:289-295
- Kessel D. A., R. M. Lara R., M. M. Hernández E., O. Coto A. 2014. Polimorfismo bioquímico en cultivares de fresa (*Fragaria ananassa* Duch.). Cultivos Tropicales, 35(4): 60-67.
- Khoury, E. A. 2005. Dinámica del fósforo en suelos cálcicos de áreas mediterráneas: trabajo experimental (Vol. 1). Universidad de Oviedo.
- Kourosch, O., K. Kazem, M Abdolamir, & R. Farhad. 2010. Influence of PGPR and AMF on antioxidant activity, lycopene and potassium contents in tomato. African Journal of Agricultural Research, 5(10):1108-1116.
- Kozdroj, J; JT Trevor & JD Van Elsas. 2004. Influence of introduced potential biocontrol agents on maize seedling growth and bacterial community structure in the rhizosphere. Soil Biology Biochemistry 36:1775-1784
- Kucharik, CH.J, J. Norman M., T. Gower S. 1998. Measurements of branch area and adjusting leaf area index to indirect measurements. Agricultural and Forest Meteorology. 91:69-88
- Larson, D. K. 2000. Comportamiento y manejo de la fresa: desarrollo de programas para máxima calidad y rendimiento en México. In: Memoria del simposio Internacional de Fresa. J.Z. Castellanos y F.Guerra O. Hart (Editores). Zamora Michoacán, Mexico. pp 7-21.
- Lata, R., H. Dwivedi, R. B. Ram, M. L. Meena, M. Babu. 2013. Impact of integrated nutrient management on growth parameters of strawberry cv. chandler under sub-tropical conditions of lucknow. International Journal of Advanced Biological Research, 3(3): 418-421
- Liu, S. T., L. Y.Lee, C. Y. Tai, C. H. Hung, Y. S. Chang, J. H. Wolfram, & A. H. Goldstein.1992. Cloning of an *Erwinia herbicola* gene necessary for gluconic acid production and enhanced mineral phosphate solubilization in *Escherichia coli* HB101: nucleotide sequence and probable involvement in biosynthesis of the coenzyme pyrroloquinoline quinone. Journal of bacteriology, 174(18):5814-5819.
- López M. S., M. E. Gallegos M., L Pérez F., R. Gutiérrez M. 2005. Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. Int. Contam. Ambient, 21(2): 91-100.
- Loredo O. C., L. López R. y D. Espinosa V. 2004. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: una revisión. Terra Latinoamericana 22: 225-239
- Lugtenberg, B and F. Kamilova. 2009. Plant-growth-promoting rhizobacteria. Annual Review of Microbiology 63: 541-56.

- Lugtenberg, B., G. Bloemberg, A. Bolwerk, D. van den Broek, F. Cazorla-lopez, T. Chin-A-Woeng, K. Eijkemans, F. Kamilova, I. Kuiper, I. Mulders. 2004. International Society for Molecular Plant-Microbe Interactions, St Paul, Minnesota, USA. p. 305-309.
- McFarland, J. 1970. The nephelometer: An instrument for estimating the number of bacteria in suspensions used for calculating the opsonic index and for vaccines. pp. 435-437. In: H.D. Campbell, S.J. Garvey, E.N. Cremer y H.D. Sussdorf (Eds.). Methods in immunology. Benjamin. New York.
- Manske, G. G. B., Ortiz-Monasterio J. I., Van Ginke M., R. M. González, R.A. Fischer, S. Rajaram, & P. L. G. Vlek. 2001. Importance of P uptake efficiency versus P utilization for wheat yield in acid and calcareous soils in Mexico. *European Journal of Agronomy*, 14(4):261-274.
- Maroto J. V. 1983. Precocidad y productividad en el cultivo del fresón. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, (11):33-53.
- Maroto J. V. y G. Lopez, 1988. Producción de fresas y fresones. Ediciones. Mundi-Prensa. Madrid, España 119 p.
- Martín, V. J. 2012. La relación raíz-raíz en pasturas consociadas. Adaptando la planta al suelo en la competencia por el fósforo.
- Martín M, F. Martínez G., R. Rivilla. 2011. Colonización de la rizósfera por *Pseudomonas*. En: Fundamentos y aplicaciones agroambientales de las interacciones beneficiosas plantas-microorganismos. Sociedad Española de Fijación de Nitrógeno (SEFIN), Eds: M. Megías, R. Rivilla, M.J. Soto, M. J. Delgado, E. González, P. F. Mateos, M. León, B. Rodelas y E. J. Bedmar pp.333-344.
- Martínez-Bolaños, M., D. Nieto-Angel, D. Téliz-Ortiz, J. Rodríguez-Alcazar, M. Martínez-Damian, H. Vaquera-Huerta, y O. Carrillo-Mendoza O. 2008. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 14(2):113-119
- Marschner, P., Yang, C. H., Lieberei, R., & Crowley, D. E. 2001. Soil and plant specific effects on bacterial community composition in the rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry* 33(11):1437-1445.
- Masson-Boivin, C., E. Giraud, X. Perret, J. Batut. 2009. Establishing nitrogen-fixing symbiosis with legumes: how many rhizobium recipes?. *Trends in microbiology*, 17(10):458-466.
- Matiru, V. N. y F. Dakora. 2004. Potential use of rhizobial bacteria as promoters of plant growth for increased yield in landraces of African cereal crops. *African Journal of Biotechnology* 3(1): 1-7.
- Mavrodi, OV, D. Mavrodi, A. Park, D. Weller y L. Thomashow. 2006. The role of *dsbA* in colonization of the wheat rhizosphere by *Pseudomonas fluorescens*. *Microbiology* 152(3): 863-872
- Mazzola, M. 2004. Assessment and management of soil microbial community structure for disease suppression. *Annual Review of Phytopathology* 42:35–59.

- Mena, V. H. G., and V. Olalde P. 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growthpromoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Scientia Horticulturae* 113: 103-106.
- Mehnaz S, Baig D. N, Lazarovits G. 2010. Genetic and phenotypic diversity of plant growth promoting rhizobacteria isolated from sugarcane plants growing in pakistan. *Journal of microbiology and biotechnology*, 20(12):1614-1623.
- Mishra, A., K. Prasad and G. Rai. 2010. Effect of bio-fertilizer inoculations on growth and yield of dwarf field pea (*Pisum sativum L.*) in conjunction with different doses of chemical fertilizers. *Journal of Agronomy* 9: 163-168
- Morales G. J. 2013. Evaluación de la Producción y Calidad de Pimiento (*Capsicum annum L.*) cv Cannon obtenido mediante biofertilización. Tesis de Maestro en Ciencias y Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Querétaro. 84 p.
- Muñoz Gómez, S. A., & Ospina Bedoya, M. (2013). La vida microbiana: el mundo al que dejamos de pertenecer. *Unipluriversidad*, 12, 20-28.
- Mowery P., J. B. Ostler, J. S. Parkinson. 2008. Different signaling roles of two conserved residues in the cytoplasmic hairpin tip of Tsr, the *Escherichia coli* serine chemoreceptor. *Journal of Bacteriology*. 190:8065-8074.
- Navarro G. G. 2003. Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal.
- Navarro G. M. 2010. Nutrición y fertirrigación del tomate en suelos calcareos. *Producción de Tomate en el Norte de México*, p. 85.
- Nardi, S, Concheri G, Pizzeghello D, Sturaro A, Rella R, Parvoli G. 2000. Soil organic matter mobilization by root exudates. *Chemosphere* 41(5): 653-658.
- Nieto-Peñalver, C. G., M. J. Savino, E. V. Bertini, L. A. Sánchez, L. I. de Figueroa. 2014. Gluconic acid produced by *Gluconacetobacter diazotrophicus* Pal5 possesses antimicrobial properties. *Research in microbiology*, 165(7): 549-558.
- Nihorimbere, V., H. Cawoy, A. Seyer, A. Brunelle, P. Thonart, M. Ongena. 2012. Impact of rhizosphere factors on cyclic lipopeptide signature from the plant beneficial strain *Bacillus amyloliquefaciens*S499. *FEMS microbiology ecology*, 79(1): 176-191.
- Nihorimbere, V., M. Ongena, M. Smargiassi, M. OThonart. 2011. Beneficial effect of the rhizosphere microbial community for plant growth and health. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 15(2): 327-337.
- Niskanen, R. and R. Dris. 2002. Nutritional status of strawberry fields. *Acta Horticulturae* 2:439-442.
- Noriega G. L. A., R. E. Preciado O., E. Andrio Enríquez, A. D. Terrón I. J. Covarrubias P. 2011. Fenología, crecimiento y sincronía floral de los progenitores del híbrido de maíz QPM H-374C. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(4):489-500.
- Núñez, E.R. 2007. El suelo como medio natural en la nutrición de los cultivos. In: Alcántar, G.G. and Trejo-Téllez, L.I. (coord.). *Nutrición de cultivos*. Mundi Prensa. Colegio de Postgraduados, México. p. 94-157
- Odum, E.P., G. Barrett. 2005. *Fundamentals of Ecology*. 5th ed. Thomson Brooks/Cole, Belmont

- Olembo, R. 1991. Importance of microorganisms and invertebrates as components of biodiversity. pp. 7-15. In: D.L. Hawksworth (ed.). The biodiversity of microorganisms and invertebrates: Its role in sustainable agriculture. Redwood Press, Melksham, UK. pp. 7-15
- Ongena, M.; F. Duby, E. Jourdan, T. Beaudry, V. Jadin, J. Dommès, and P. Thonart, 2005. *Bacillus subtilis* M4 decreases plant susceptibility towards fungal pathogens by increasing root resistance associated with differential gene expression. Applied Microbiology and Biotechnology. 67:692- 698
- Orhan, E., A. Esitken, S. Ercisli, M. Turan, y F. Sahin. 2006. Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. Scientia Horticulturae. 111(1):38–43.
- Ortiz S., C. A. 1987. Elementos de Agrometeorología Cuantitativa con aplicaciones en la República Mexicana. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 327 p
- Palencia, P., Martínez, F., Medina, J. J., López-Medina, J. 2013. Strawberry yield efficiency and its correlation with temperature and solar radiation. Horticultura Brasileira, 31(1): 93-99.
- Panhwar Q. A., U. Aminun N., S Jusop M, R. Othman, Md Abdul L., M. Razi I. 2014. Biochemical and molecular characterization of potential phosphate-solubilizing bacteria in Acid sulfate soils and their beneficial effects on rice growth. PloS one, 9(10):e97241
- Panhwar Q. A., S Jusop, U Aminun N., R. Othman, M. Razi I. 2013. Application of potential phosphate-solubilizing bacteria and organic acids on phosphate solubilization from phosphate rock in aerobic rice. The Scientific World Journal, 2013 (2013)
- Paredes M., M. 2010. Aislamiento y caracterización bioquímica de metabolitos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfato. Una revisión crítica. Terra Latinoamericana, 28:61-70
- Parniske, M. 2008. Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses. Nature Reviews Microbiology 6(10): 763-775.
- Patel, D. K., G. Archana, y N. Kumar, G. 2008. Variation in the nature of organic acid secretion and mineral phosphate solubilization by *Citrobacter* sp. DHRSS in the presence of different sugars. Current microbiology. 56(2), 168-174.
- Patiño T., C. O. 2010. Solubilización de fosfatos por poblaciones bacterianas aisladas de un suelo del Valle del Cauca: estudio de biodiversidad y eficiencia. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. 133 p.
- Peix, A., Rivas R., I. Santa-Regina, P. F. Mateos, E. Martínez-Molina, C. Rodríguez-Barrueco, & E. Velázquez. 2004. *Pseudomonas lutea* sp. nov., a novel phosphate-solubilizing bacterium isolated from the rhizosphere of grasses. International journal of systematic and evolutionary microbiology. 54(3): 847-850.
- Perez de C., M., M. Ojeda, N. Mogollón, A. Giménez. 2013. Efecto de diferentes sustratos y ácido giberélico sobre el crecimiento, producción y calidad de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch) cv. Camarosa. Bioagro, 25(1):31-38.

- Pérez, F. R., R. C. Santana, Y. A. Capó, Y. B. D. Martín, R. T. Gutiérrez. 2010. Efecto de aislados endófitos sobre el cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) en condiciones controladas. *Centro Agrícola*, 37(4): 41-50.
- Phillips, D, T Fox, M.D. King, T.V. Bhuvanewari, L.R. Teuber. 2004. Microbial products trigger amino acid exudation from plant roots. *Plant Physiology* 136:2887-94
- Pinamonti, F. 1998. Compost mulch effects on soil fertility, nutritional status and performance of grapevine. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51(3):239-248.
- Pino I. P. A., y M. Buneder 1996. Evaluación de fuentes nitrogenadas (15N) en tres variedades de trigo, en un Andisol y un Ultisol de la IX Region. II Parámetros isotópicos y uso eficiente de los fertilizantes. *Agricultura Técnica* 56:187-192.
- Qiao ZW, J.P. Hong, Y. H. Xie, L. X. Li 2013. Screening, identification and phosphate-solubilizing characteristics of *Rahnella* sp. phosphate-solubilizing bacteria in calcareous soil. *Ying yong sheng tai xue bao= The journal of applied ecology/Zhongguo sheng tai xue xue hui, Zhongguo ke xue yuan Shenyang ying yong sheng tai yan jiu suo zhu ban*, 24(8):2294-2300.
- Ren J., H. Liu, X Wu, Q Wang, Y Ren, Y Liu, Y Feng. 2012. Screening, identification, and promoting effect of phosphate-solubilizing bacteria in rhizosphere of *Taxus chinensis* var. *mairei*. *Wei sheng wu xue bao= Acta microbiologica Sinica* 52(3): 295-303.
- Reyes, I., A. Valery and Z. Valduz. 2007. Phosphate-solubilizing microorganisms isolated from rhizospheric and bulk soils of colonizer plants at an abandoned rock phosphate mine. In: E. Velázquez and C. Rodríguez-Barrueco (eds.), *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization*. pp. 69-75.
- Ryan, J., Ibrikci, H., Delgado, A., Torrent, J., Sommer, R., Rashid, A., (2012). 3 Significance of Phosphorus for Agriculture and the Environment in the West Asia and North Africa Region. *Advances in Agronomy*. 114, 91.
- Richardson, A.E, J.M. Barea. A.M. McNeill, C. Prigent-Combaret. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant Soil* 321:305-339
- Rodríguez, H. and R. Fraga. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology. Advances*. 17: 319-339
- Rodríguez M M. N., R S. Miguel-Chávez, J. L. García C., A Benavides M. 2013. Inoculación de bacterias promotoras de crecimiento en el cultivo de melón (*Cucumis melo*). *Interciencia*, 38(12): 857-862.
- Rodríguez M. N., Trejo-Téllez L. I., y Alcántara G. 2007. Acceso, absorción y transporte nutrimental. In: G. Alcántara y L. I. Trejo-Téllez (Eds.), *Nutrición de cultivos* (pp. 159– 200). México Mundi-Prensa.
- Rokhbakhsh-Zamin F., D. Sachdev, N. Kazemi-Pour, A. Engineer, K.R. Pardesi, S. Zinjarde, P.K. Dhakephalkar, B.A. 2011. Chopade Characterization of plant-growth-promoting traits of *Acinetobacter* species isolated from rhizosphere of *Pennisetum glaucum* J. *Microbiology Biotechnology* 21 (6): 556–566
- Rowell, D. L. 1994. *Soil science: Methods and Applications*. Longman Group UK. London, UK

- Rubio I., A. 2011. Caracterización de ácidos orgánicos de bajo peso molecular presentes en exudados radiculares de *Zea mays*: aplicaciones para la remediación de suelos contaminados por metales pesados. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias, Universidad Autónoma de Nuevo León. 108 p.
- Rudrappa, T., M. L. Biedrzycki, and H. P. Bais. 2008. Causes and consequences of plant-associated biofilms. *FEMS Microbiology Ecology*. 64: 153-166.
- Roesch, L. F., R. Fulthorpe, A. Riva, G. Casella, A. K. Hadwin, A. D. Kent E. Triplett. 2007. Pyrosequencing enumerates and contrasts soil microbial diversity. *The ISME journal*, 1(4): 283-290.
- Rodríguez-Bautista, G., G Calderón Z., D. Jaen y A. Curiel. 2012. Capacidad de propagación y calidad de planta de variedades mexicanas y extranjeras de fresa. México. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 18(1):113-123
- Rojas, R O., J. Villafaña R., O. González, J. Nungaray A. 2006. Análisis de rutas metabólicas en *Pseudomonas aeruginosa* para la producción de polihidroxicanoatos a partir de glucosa usando modos elementales. *e-Gnosis*, (4):1-29
- Salas R. 2002. Herramientas de diagnóstico para definir recomendaciones de fertilización foliar in *Fertilización foliar: principios y aplicaciones*. Meléndez G y Molina E (eds.) comps, 146 p.
- Salt, D.E., R.D. Smith, I. Raskin. 1998. Phytoremediation. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 49: 643–68.
- Sánchez G. E. A., B Bernal V., M. C. Espíndola B., P. U. Ramírez G. J. S. Sánchez Z. 2013. Variedades de fresa con potencial de Producción en el Estado de México. *Sistema de información de fundaciones produce*. 29 p.
- Sánchez L. D. B. 2011. Efecto de la inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal sobre el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* var. sofía) bajo invernadero. Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Javeriana. 77 p.
- Sánchez P. A. 2004. Análisis y diagnóstico nutricional en los cultivos sin suelo. *Tratado de cultivo sin suelo* 3ra. Ed. Ediciones Mundi-Presa. Madrid, España. pp. 49-78
- Sánchez, P., y M. Calvache 2002. Determinación de la acumulación y exportación de nutrientes en tres variedades de rosas bajo invernadero. Checa–Pichincha. In *VII. Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Portoviejo: Universidad Técnica de Manabí p. 7.
- Sandoval C. C. A. 2002. Determinación del efecto de tres densidades y tres niveles de nitrógeno sobre dos variedades de frijol. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano*. 34 p.
- Saubidet, I. M., N. Fatta y A Barneix J. 2002. The effect of inoculation with *Azospirillum brasilense* on growth and nitrogen utilization by wheat plants. *Plant Soil* 245:215-222
- Schreiter, S., M. Sandmann, K Smalla. R. Grosch 2014. Soil type dependent rhizosphere competence and biocontrol of two bacterial inoculant strains and their effects on the rhizosphere microbial community of field-grown lettuce. *PLOS ONE*. 9 (8): e103726

- Siap, 2013 <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (consultado 04 de febrero 2014)
- Singh, P., Kumar, V., S. Agrawal, 2014. Evaluation of phytase producing bacteria for their plant growth promoting activities. International journal of microbiology, 2014. , Article ID 841353.
- Singh, B., T. Satyanarayana. 2011. Microbial phytases in phosphorus acquisition and plant growth promotion. Physiology and Molecular Biology of Plants, 17(2): 93-103.
- Senechkin, I. V., A. G. Speksnijder, A. M. Semenov, A. H. Van Bruggen, L. S. Van Overbeek, 2010. Isolation and partial characterization of bacterial strains on low organic carbon medium from soils fertilized with different organic amendments. Microbial ecology, 60(4): 829-839.
- Shaharoon, B, M. Naveed, M. Arshad, Z. A. Zahir, 2008. Fertilizer-dependent efficiency of Pseudomonads for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). Applied Microbiology Biotechnology 79: 147-155.
- Sharma, G. y M. Thakur. 2008. Evaluation of different strawberry cultivars for yield and quality characters in himachal Pradesh. Agricultural Science Digest. 28(3): 213-215.
- Somers, E, J. Vanderleyden, M. Srinivasan. 2004. Rhizosphere bacterial signalling: a love parade beneath our feet. Critical Reviews in Microbiology 30(4): 205-235.
- Sopheareth, M., K. W. Naing, H. N. Hyun, K. Y. Kim, 2013. Biocontrol of late blight (*Phytophthora capsici*) disease and growth promotion of pepper by *Burkholderia cepacia* MPC-7. The Plant Pathology Journal, 29(1): 67-76.
- Srinivasan, R., MS. Yandigeri, S. Kashyap, A. R. Alagawadi. 2012. Effect of salt on survival and P-solubilization potential of phosphate solubilizing microorganisms from salt affected soils. Saudi Journal of Biological Sciences 19(4):427-34
- Sun, W. J., C. F. Liu, L. Yu, F. J. Cui, Q. Zhou, S. L. Yu, L. Sun. 2012. A novel bacteriophage KSL-1 of 2-Keto-gluconic acid producer *Pseudomonas fluorescens* K1005: isolation, characterization and its remedial action. BMC microbiology, 12(1), 127.
- Talavera, M. D. C. P., G. G. Cervantes, M. A.V, Valle, H. M. Rodríguez. 2013. efecto del ácido fulvico en la extracción nutrimental y rendimiento del cultivo de melon en bioespacio. Agrofaz, 13(2):23-19
- Tariq, M., Hameed S., Yasmeen T., Zahid M., Zafar M. 2014. Molecular characterization and identification of plant growth promoting endophytic bacteria isolated from the root nodules of pea (*Pisum sativum* L.). World Journal of Microbiology and Biotechnology, 30(2): 719-725.
- Thokchom, E., M. Chandra K, N. Chandra T. 2013. Isolation, screening, characterization, and selection of superior rhizobacterial strains as bioinoculants for seedling emergence and growth promotion of Mandarin orange (*Citrus reticulata* Blanco). Canadian journal of microbiology, 60(2): 85-92.

- Tian, L., Jiang Y., Chen C., Zhang G., Li. T., Tong B., Xu P. 2014. Screening and identification of an endophytic bacterium with 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase activity from *Panax ginseng* and its effect on host growth. *Wei sheng wu xue bao= Acta microbiologica Sinica* 54 (7):760-769.
- Toro, M., R. Azcon, and J. M. Barea. 1997. Improvement of arbuscular mycorrhiza development by inoculation of soil with phosphate-solubilizing rhizobacteria to improve rock phosphate bioavailability (32P) and nutrient cycling. *Applied and Environmental Microbiology* 63(11): 4408-4412.
- Tortora, M. L., J. C. Díaz-Ricci, R. Pedraza O. 2012. Protection of strawberry plants (*Fragaria ananassa Duch.*) against anthracnose disease induced by *Azospirillum brasilense*. *Plant and soil*, 356(1-2): 279-290.
- Tsavkelova E. A., S. Y. Klimova, T. A. Cherdyntseva, A. I. Netrusov. 2006. Microbial producers of plant growth stimulators and their practical use: a review. *Applied Biochemical Microbiology* 42(2):117-126.
- Turan, M., M. Gulluce, N. Von Wirén, F. Sahin. 2012. Yield promotion and phosphorus solubilization by plant growth-promoting rhizobacteria in extensive wheat production in Turkey. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 175(6): 818-826.
- Turner BL. 2006. Plant Utilization of Inositol Phosphates. En: Turner BL, Richardson AE, Mullaney EJ. (eds) *Inositol phosphates: linking agriculture and the environment*. CABI, Wallingford, UK
- Treder, W., & Cieslinski, G. 2005. Effect of silicon application on cadmium uptake and distribution in strawberry plants grown on contaminated soils. *Journal of plant nutrition*, 28(6):917-929.
- Valagro. 2004. *Los microelementos en la nutrición vegetal*. Ed. META srl, Italia. 72pp.
- Van Loon, L. C. 2007. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. *Eurean Journal Plant Pathology* 119(3): 243-254.
- Vaikuntapu, P. R. , S. Dutta, R. Samudrala B., V.Rao R., S. Kalam , A. Podile R. 2014. Preferential Promotion of *Lycopersicon esculentum* (Tomato) Growth by Plant Growth Promoting Bacteria Associated with Tomato. *Indian Journal of Microbiology*, 54(4):403-412
- Vázquez G. G. M Livera M., V. González H. y A. Muratalla L. 2000. Efecto de la eliminación de órganos sobre la producción y calidad de frutos de fresa (*Fragaria x ananassa Duch.*) cv Fern. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 23(2):355-366.
- Viana Rivera, J. P. 2010. Efecto de seis niveles de sedimento extraído de la Laguna de “Yahuarcocha” en el rendimiento de cultivo de fresa (*fragaria spp.*). Tesis previa a la obtención del título de ingeniero agropecuario. Facultad de ingeniería en ciencias agropecuarias y ambientales. Universidad técnica del norte. 110 p.
- Vyas, P., A. Gulati, A. 2009. Organic acid production in vitro and plant growth promotion in maize under controlled environment by phosphate-solubilizing fluorescent *Pseudomonas*. *BMC microbiology*, 9(1):174.

- Wang X., Y. Cao, X. Tang, X Ma, J. Gao, X. Zhang. 2014. Rice endogenous nitrogen fixing and growth promoting bacterium *Herbaspirillum seropedicae* DX35. *Wei sheng wu xue bao= Acta microbiologica Sinica*, 54(3), 292-298. 54(3):292-298
- Wamberg, C., S. Christensen, I. Jakobsen, A. K. Muller, S. J. Sorosen. 2003. The mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) affects microbial activity in the rhizosphere of pea plants (*Pisum sativum*). *Soil Biology and Biochemistry* 35(10): 1349–1357.
- Wang, Q., X. Zhao, J. Chamu, K. Shanmugam. 2011. Isolation, characterization and evolution of a new thermophilic *Bacillus licheniformis* for lactic acid production in mineral salts medium. *Bioresource technology*, 102(17): 8152-8158.
- Whipps, J. M. 2001 Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 52:487-511.
- Yadav K., Kumar C, Archana G, G. Kumar N2014. Artificial citrate operon and *Vitreoscilla* hemoglobin gene enhanced mineral phosphate solubilizing ability of *Enterobacter hormaechei* DHRSS. *Applied microbiology and biotechnology*, 98(19), 8327-8336.
- Yoshioka T. I. C., M. Sánchez P., M. M. Bolaños B. 2006. Actividad de fosfatasas ácida y alcalina en suelo cultivado con plátano en tres sistemas de manejo *Acta Agronómica* 55(2):1-20
- Zapata, H. R, (2006). Origen de la acidez en el suelo. *bdigital.unal*. en <http://www.bdigital.unal.edu.co/1735/3/9583367125.3.pdf>. Consultado el 11 de febrero del 2011
- Zhu F, Q. L. Hoong X, X. Sun. 2011a. Isolation and Characterization of a Phosphate-Solubilizing *Halophilic* Bacterium *Kushneria* sp. YCWA18 from Daqiao Saltern on the Coast of Yellow Sea of China *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, (2011).
- Zhou, J., Q. Ma, H. Yi, L. Wang, H. Song, Y. Yuan. 2011b. Metabolome profiling reveals metabolic cooperation between *Bacillus megaterium* and *Ketogulonicigenium vulgare* during induced swarm motility. *Applied and environmental microbiology*, 77(19): 7023-7030.
- Zribi, K. 2002. Effect of bicarbonate on growth and iron nutrition of pea. *J. Plant Nutr.* 25: 2143-2149.

CAPITULO 8. APENDICE

Cuadro A1. Análisis de varianza para producción de estolones fase 1

Variable dependiente: PE

Fuente	Suma de DF	Cuadrado de cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	476.8198897	28.0482288	9.45	<.0001
Error	105	311.7654762	2.9691950		
Total correcto	122	788.5853659			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PE Media
0.604652	37.98309	1.723135	4.536585

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	7.7856962	1.5571392	0.52	0.7573
trat	2	456.1033680	228.0516840	76.81	<.0001
var*trat	10	12.9308254	1.2930825	0.44	0.9260

Cuadro A2. Análisis de varianza para volumen radical fase 1

Variable dependiente: VR

Fuente	Suma de DF	Cuadrado de cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	84913.70520	4994.92384	126.78	<.0001
Error	105	4136.89643	39.39901		
Total correcto	122	89050.60163			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	VR Media
0.953544	17.30287	6.276863	36.27642

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	593.20922	118.64184	3.01	0.0140
trat	2	83601.72794	41800.86397	1060.96	<.0001
var*trat	10	718.76804	71.87680	1.82	0.0650

Cuadro A3. Análisis de varianza para área foliar fase 1

Variable dependiente: AF

Fuente	Suma de DF	Cuadrado de cuadrados	la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	18750789.52	1102987.62	32.51	<.0001
Error	105	3562327.08	33926.92		
Total correcto	122	22313116.60			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PS Media
0.840348	23.08624	184.1926	797.8459

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	511664.34	102332.87	3.02	0.0139
trat	2	17524531.79	8762265.89	258.27	<.0001
var*trat	10	714593.39	71459.34	2.11	0.0301

Cuadro A4. Análisis de varianza para materia seca fase 1

Variable dependiente: MS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	4880.212276	287.071310	47.90	<.0001
Error	105	629.246841	5.992827		
Total correcto	122	5509.459117			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	MS Media	
	0.885788	21.30796	2.448025	11.48878	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	84.463669	16.892734	2.82	0.0198
trat	2	4648.342029	2324.171015	387.83	<.0001
var*trat	10	147.406578	14.740658	2.46	0.0111

Cuadro A5. Análisis de varianza para concentración de Nitrógeno fase 1

Variable dependiente: N

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	1.02126617	0.06007448	0.90	0.5822
Error	21	1.40099983	0.06671428		
Total correcto	38	2.42226600			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	N Media	
	0.421616	18.54207	0.258291	1.393000	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	0.53983650	0.10796730	1.62	0.1988
trat	2	0.31418276	0.15709138	2.35	0.1195
var*trat	10	0.16724690	0.01672469	0.25	0.9858

Cuadro A6. Análisis de varianza para concentración de fósforo fase 1

Variable dependiente: P

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	10041994.28	590705.55	3.45	0.0041
Error	21	3591664.05	171031.62		
Total correcto	38	13633658.33			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	P Media	
	0.736559	20.47097	413.5597	2020.225	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	1574247.654	314849.531	1.84	0.1483
trat	2	5322536.256	2661268.128	15.56	<.0001
var*trat	10	3145210.372	314521.037	1.84	0.1151

Cuadro A7. Análisis de varianza para concentración de Potasio fase 1

Variable dependiente: K

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	46338612.79	2725800.75	2.94	0.0104
Error	21	19468847.44	927087.97		
Total correcto	38	65807460.23			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	K Media	
	0.704154	17.64604	962.8541	5456.488	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	1739222.91	347844.58	0.38	0.8600
trat	2	27867910.94	13933955.47	15.03	<.0001
var*trat	10	16731478.94	1673147.89	1.80	0.1222

Cuadro A8. Análisis de varianza para concentración de Calcio fase 1

Variable dependiente: Ca

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	36705258.97	2159132.88	1.25	0.3115
Error	21	36329863.45	1729993.50		
Total correcto	38	73035122.42			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Ca Media	
	0.502570	18.87239	1315.292	6969.400	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	20134010.21	4026802.04	2.33	0.0787
trat	2	5679483.48	2839741.74	1.64	0.2176
var*trat	10	10891765.28	1089176.53	0.63	0.7725

Cuadro A9. Análisis de varianza para concentración de Magnesio fase 1

Variable dependiente: Mg

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	37687911.11	2216935.95	1.64	0.1402
Error	21	28369267.32	1350917.49		
Total correcto	38	66057178.43			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Mg Media	
	0.570535	24.09765	1162.290	4823.249	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	8544801.77	1708960.35	1.27	0.3156
trat	2	20985865.84	10492932.92	7.77	0.0030
var*trat	10	8157243.50	815724.35	0.60	0.7933

Cuadro A10. Análisis de varianza para concentración de Hierro fase 1

Variable dependiente: Fe

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	132436.4100	7790.3771	2.55	0.0218
Error	21	64070.3391	3050.9685		
Total correcto	38	196506.7491			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Fe Media	
	0.673953	16.10535	55.23557	342.9642	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	47103.71306	9420.74261	3.09	0.0304
trat	2	23502.36350	11751.18175	3.85	0.0376
var*trat	10	61830.33345	6183.03334	2.03	0.0830

Cuadro A11. Análisis de varianza para concentración de Cobre fase 1

Variable dependiente: Cu

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	16.93201540	0.99600091	1.33	0.2659
Error	21	15.74820650	0.74991460		
Total correcto	38	32.68022190			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Cu Media	
	0.518112	25.85557	0.865976	3.349282	
Fuente	DF	Tipo III SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	2.43185704	0.48637141	0.65	0.6657
trat	2	5.01075006	2.50537503	3.34	0.0550
var*trat	10	9.15372842	0.91537284	1.22	0.3337

Cuadro A12. Análisis de varianza para concentración de Zinc fase 1

Variable dependiente: Zn

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	3067.801446	180.458909	2.74	0.0151
Error	21	1381.140589	65.768599		
Total correcto	38	4448.942035			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Zn Media	
	0.689558	16.97554	8.109784	47.77336	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	787.484671	157.496934	2.39	0.0722
trat	2	265.308822	132.654411	2.02	0.1580
var*trat	10	2015.007953	201.500795	3.06	0.0147

Cuadro A13. Análisis de varianza para concentración de Boro fase 1

Variable dependiente: Bo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	1217.064023	71.592001	1.70	0.1241
Error	21	884.500705	42.119081		
Total correcto	38	2101.564728			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Bo Media	
	0.579123	16.82927	6.489922	38.56331	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	312.1215405	62.4243081	1.48	0.2378
trat	2	496.6807016	248.3403508	5.90	0.0093
var*trat	10	408.2617810	40.8261781	0.97	0.4966

Cuadro A14. Análisis de varianza para concentración de Molibdeno fase 1

Variable dependiente: Mo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	359.2044386	21.1296729	1.41	0.2240
Error	21	313.9767027	14.9512716		
Total correcto	38	673.1811412			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Mo Media	
	0.533593	66.92532	3.866687	5.777615	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	64.0752611	12.8150522	0.86	0.5256
trat	2	42.4212452	21.2106226	1.42	0.2643
var*trat	10	252.7079322	25.2707932	1.69	0.1493

Cuadro A15. Análisis de varianza para número de fruto fase 2

Variable dependiente: NF

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	179.5895833	10.5640931	1.37	0.1748
Error	78	601.4000000	7.7102564		
Total correcto	95	780.9895833			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	NF Media	
	0.229951	34.75444	2.776735	7.989583	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	142.6342720	28.5268544	3.70	0.0047
trat	2	9.3956685	4.6978342	0.61	0.5463
var*trat	10	27.5596429	2.7559643	0.36	0.9610

Cuadro A16. Análisis de varianza para rendimiento por planta fase 2

Variable dependiente: RD

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	20149.73034	1185.27826	1.39	0.1663
Error	78	66669.67431	854.73941		
Total correcto	95	86819.40465			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	RD Media	
	0.232088	37.50901	29.23593	77.94375	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	16299.08909	3259.81782	3.81	0.0038
trat	2	23.72951	11.86475	0.01	0.9862
var*trat	10	3826.91174	382.69117	0.45	0.9178

Cuadro A17. Análisis de varianza para volumen de fruto fase 2

Variable dependiente: VF

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	229.697055	13.511591	0.98	0.4865
Error	78	1073.202196	13.759003		
Total correcto	95	1302.899251			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	VF Media	
	0.176297	24.87515	3.709313	14.91172	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	142.3111477	28.4622295	2.07	0.0782
trat	2	17.7255111	8.8627555	0.64	0.5279
var*trat	10	69.6603962	6.9660396	0.51	0.8808

Cuadro A18. Análisis de varianza para resistencia a la penetración fase 2

Variable dependiente: RP

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	10493.54799	617.26753	4.12	<.0001
Error	78	11687.59862	149.84101		
Total correcto	95	22181.14661			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	RP Media	
	0.473084	6.054129	12.24096	202.1918	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	9081.484843	1816.296969	12.12	<.0001
trat	2	419.732117	209.866058	1.40	0.2526
var*trat	10	992.331034	99.233103	0.66	0.7556

Cuadro A19. Análisis de varianza para solidos solubles totales fase 2

Variable dependiente: SST

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	21.15462801	1.24438988	2.01	0.0207
Error	78	48.38971168	0.62038092		
Total correcto	95	69.54433969			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	SST Media	
	0.304189	8.402860	0.787643	9.373507	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	14.91567133	2.98313427	4.81	0.0007
trat	2	1.36159053	0.68079527	1.10	0.3388
var*trat	10	4.87736615	0.48773661	0.79	0.6418

Cuadro A20. Análisis de varianza para lecturas SPAD fase 2

Variable dependiente: spad

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	2092.929265	123.113486	3.70	<.0001
Error	79	2630.177333	33.293384		
Total correcto	96	4723.106598			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	PS Media	
	0.443126	16.30810	5.770042	35.38144	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	1985.684188	397.136838	11.93	<.0001
trat	2	10.540857	5.270428	0.16	0.8539
var*trat	10	96.704220	9.670422	0.29	0.9815

Cuadro A21. Análisis de varianza para volumen radical fase 2

Variable dependiente: VR

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	922.658935	54.274055	2.39	0.0050
Error	79	1796.083333	22.735232		
Total correcto	96	2718.742268			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	VR Media	
	0.339370	29.70522	4.768148	16.05155	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	775.6790202	155.1358040	6.82	<.0001
trat	2	24.9589333	12.4794667	0.55	0.5798
var*trat	10	122.0209812	12.2020981	0.54	0.8591

Cuadro A22. Análisis de varianza para número de fruto fase 2

Variable dependiente: AF

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	2269021.350	133471.844	4.78	<.0001
Error	79	2204846.272	27909.446		
Total correcto	96	4473867.622			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	AF Media	
	0.507172	36.43656	167.0612	458.4989	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	2080478.002	416095.600	14.91	<.0001
trat	2	92221.331	46110.665	1.65	0.1982
var*trat	10	96322.017	9632.202	0.35	0.9655

Cuadro A23. Análisis de varianza para clorofila fase 2

Variable dependiente: CF

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	59.9202407	3.5247200	1.07	0.3972
Error	79	260.2587846	3.2944150		
Total correcto	96	320.1790252			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	CF Media	
	0.187146	67.96270	1.815052	2.670659	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	10.54516330	2.10903266	0.64	0.6697
trat	2	15.20303811	7.60151906	2.31	0.1062
var*trat	10	34.17203928	3.41720393	1.04	0.4207

Cuadro A24. Análisis de varianza para materia seca fase 2

Variable dependiente: MS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	461.5951934	27.1526584	4.27	<.0001
Error	79	502.5728890	6.3616821		
Total correcto	96	964.1680824			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	MS Media	
	0.478750	29.04548	2.522238	8.683753	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	421.1104376	84.2220875	13.24	<.0001
trat	2	16.9068024	8.4534012	1.33	0.2706
var*trat	10	23.5779535	2.3577954	0.37	0.9558

Cuadro A25. Análisis de varianza para concentración de Nitrógeno fase 2

Variable dependiente: N

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	1.49286667	0.08781569	2.16	0.0257
Error	36	1.46346667	0.04065185		
Total correcto	53	2.95633333			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	N Media	
	0.504972	13.43159	0.201623	1.501111	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	0.97891111	0.19578222	4.82	0.0018
trat	2	0.06097778	0.03048889	0.75	0.4796
var*trat	10	0.45297778	0.04529778	1.11	0.3785

Cuadro A26. Análisis de varianza para concentración de Fósforo para fase 2

Variable dependiente: P

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	10222308.39	601312.26	1.91	0.0502
Error	36	11309727.24	314159.09		
Total correcto	53	21532035.64			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	P Media	
	0.474749	31.58221	560.4990	1774.730	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	5418515.284	1083703.057	3.45	0.0120
trat	2	1091315.963	545657.981	1.74	0.1905
var*trat	10	3712477.147	371247.715	1.18	0.3347

Cuadro A27. Análisis de varianza para concentración de Potasio fase 2

Variable dependiente: K

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	81847467.2	4814556.9	1.87	0.0570
Error	36	92835639.4	2578767.8		
Total correcto	53	174683106.6			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	K Media	
	0.468548	24.64272	1605.854	6516.545	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	50111266.41	10022253.28	3.89	0.0064
trat	2	12804740.59	6402370.30	2.48	0.0977
var*trat	10	18931460.15	1893146.02	0.73	0.6879

Cuadro A28. Análisis de varianza para concentración de Calcio fase 2

Variable dependiente: Ca

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	283569816.8	16680577.5	1.49	0.1555
Error	36	403911464.4	11219762.9		
Total correcto	53	687481281.1			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Ca Media	
	0.412476	24.50422	3349.591	13669.45	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	41719556.3	8343911.3	0.74	0.5960
trat	2	34891482.5	17445741.2	1.55	0.2251
var*trat	10	206958778.0	20695877.8	1.84	0.0875

Cuadro A29. Análisis de varianza para concentración de magnesio fase 2

Variable dependiente: Mg

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	55324713.4	3254394.9	1.65	0.1025
Error	36	71138585.0	1976071.8		
Total correcto	53	126463298.5			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Mg Media	
	0.437476	18.10276	1405.728	7765.269	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	12713675.65	2542735.13	1.29	0.2911
trat	2	9895595.18	4947797.59	2.50	0.0959
var*trat	10	32715442.57	3271544.26	1.66	0.1303

Cuadro A30. Análisis de varianza para concentración de Hierro fase 2

Variable dependiente: Fe

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	143115.2307	8418.5430	1.80	0.0675
Error	36	167986.6588	4666.2961		
Total correcto	53	311101.8895			
	R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Fe Media	
	0.460027	32.17261	68.31029	212.3244	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	28076.23441	5615.24688	1.20	0.3273
trat	2	43798.37374	21899.18687	4.69	0.0154
var*trat	10	71240.62251	7124.06225	1.53	0.1701

Cuadro A31. Análisis de varianza para concentración de Cobre fase 2

Variable dependiente: Cu

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	2642.472263	155.439545	3.33	0.0012
Error	36	1679.491671	46.652546		
Total correcto	53	4321.963935			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Cu Media
0.611405	71.18033	6.830267	9.595722

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	560.099852	112.019970	2.40	0.0560
trat	2	897.482774	448.741387	9.62	0.0005
var*trat	10	1184.889638	118.488964	2.54	0.0197

Cuadro A32. Análisis de varianza para concentración de Zinc fase 2

Variable dependiente: Zn

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	1378.423055	81.083709	2.96	0.0031
Error	36	987.304438	27.425123		
Total correcto	53	2365.727493			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Zn Media
0.582663	38.93670	5.236900	13.44978

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	533.0442524	106.6088505	3.89	0.0064
trat	2	183.9652403	91.9826202	3.35	0.0462
var*trat	10	661.4135626	66.1413563	2.41	0.0259

Cuadro A33. Análisis de varianza para concentración de Boro fase 2

Variable dependiente: Bo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	47547.5642	2796.9155	1.41	0.1886
Error	36	71394.8415	1983.1900		
Total correcto	53	118942.4057			

R-cuadrado	Coef Var	Raiz MSE	Bo Media
0.399753	18.37022	44.53302	242.4196

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	2544.94390	508.98878	0.26	0.9336
trat	2	8813.11022	4406.55511	2.22	0.1231
var*trat	10	36189.51003	3618.95100	1.82	0.0912

Cuadro A34. Análisis de varianza para concentración de Molibdeno fase 2

Variable dependiente: Mo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	709.574920	41.739701	1.47	0.1906
Error	23	651.167192	28.311617		
Total correcto	40	1360.742112			

R-cuadrado	0.521462	Coef Var	58.80948	Raiz MSE	5.320866	Mo Media	9.047634
------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	155.2722048	31.0544410	1.10	0.3889
trat	2	135.0698332	67.5349166	2.39	0.1144
var*trat	10	419.2328820	41.9232882	1.48	0.2093

Cuadro A35. Análisis de varianza para población de bacterias solubilizadoras de fosfato fase 2

Variable dependiente: PB

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	1587.648148	93.391068	2.95	0.0032
Error	36	1141.333333	31.703704		
Total correcto	53	2728.981481			

R-cuadrado	0.581773	Coef Var	70.54585	Raiz MSE	5.630604	PB Media	7.981481
------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
var	5	598.0925926	119.6185185	3.77	0.0075
trat	2	117.9259259	58.9629630	1.86	0.1704
var*trat	10	871.6296296	87.1629630	2.75	0.0126