



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

EVALUACIÓN DEL DESARROLLO DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) EN DOS TIPOS DE SUELO CON INTERACCIÓN DE CEPAS BACTERIANAS Y VERMICOMPOSTA

OSCAR EDUARDO HERNÁNDEZ TORRES

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

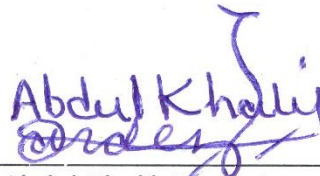
2017

La presente tesis titulada: **Evaluación del desarrollo de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) en dos tipos de suelo con interacción de cepas bacterianas y vermicomposta**, realizada por el alumno: **Oscar Eduardo Hernández Torres**, 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
HIDROCIENCIAS


CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)



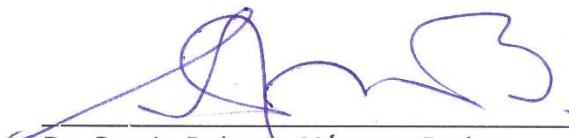
Dr. Abdul Khalil Gardezi

ASESOR (A)



Dr. Guillermo Carrillo Castañeda

ASESOR (A)



Dr. Sergio Roberto Márquez Berber

ASESOR (A)



Dr. Héctor Flores Magdaleno

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2017

EVALUACIÓN DEL DESARROLLO DE JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) EN DOS TIPOS DE SUELO CON INTERACCIÓN DE CEPAS BACTERIANAS Y VERMICOMPOSTA

Oscar Eduardo Hernández Torres, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de cepas bacterianas y vermicomposta en el crecimiento de dos variedades de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivadas con dos suelos. Esta investigación se realizó en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con un arreglo factorial (4x3x2). Las variables evaluadas fueron: porcentaje de emergencia, altura de planta, número de hojas, diámetro del tallo, contenido de clorofila, área foliar, volumen radical, peso de materia fresca y seca de la parte aérea y raíces, número de cáliz por planta, peso de materia fresca y seca de cáliz y días a floración. Los efectos del factor suelo mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en suelo regado con agua residual sobre las características agronómicas del cultivo, satisfaciendo los requerimientos nutricionales. El uso de vermicomposta incremento significativamente el porcentaje de emergencia, altura, número de hojas y diámetro de tallo durante las primeras semanas de crecimiento, presentando importantes resultados en variedad Criolla. La inoculación de las cepas A9m y A7 favoreció significativamente la estimulación del crecimiento de la planta, logrando diferentes resultados en las características del cultivo.

Palabras clave: suelo contaminado, microorganismos, materia orgánica, consorcios.

EVALUATION OF THE DEVELOPMENT OF JAMAICA (*Hibiscus sabdariffa* L.) IN TWO TYPES OF SOIL WITH INTERACTION OF BACTERIAL STRAINS AND VERMICOMPOST

Oscar Eduardo Hernández Torres, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of the addition of bacterial and vermicompost strains on the growth of two varieties of Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivated with two soils. This research was carried out in the facilities of the College of Postgraduates, Campillo Montecillo, Mexico. The experimental design was completely randomized blocks with a factorial arrangement (4x3x2). The variables evaluated were: emergence percentage, plant height, leaf number, stem diameter, chlorophyll content, leaf area, root volume, fresh and dry matter weight of shoots and roots, calyx number per plant, weight of fresh and dry matter of calyx and days to flowering. The effects of the soil factor showed significant differences ($p \leq 0.05$) in soil irrigated with residual water on the agronomic characteristics of the crop, satisfying the nutritional requirements. The use of vermicompost increased significantly the emergence percentage, height, number of leaves and stem diameter during the first weeks of growth, presenting important results in Criolla variety. The inoculation of the A9m and A7 strains favored plant growth stimulation significantly, achieving different results in the crop characteristics.

Index words: contaminated soil, microorganisms, organic matter, consortium.

DEDICATORIAS

A mis abuelos Humberto Torres (†) y Aida Cuevas por creer en mí, compartir experiencias y acompañarme en cada momento de mi vida. Beto Torres ahora sé que sigues y guías mis pasos desde el cielo para que todo salga bien.

A mi madre Angélica Torres por traerme al mundo, cuidarme y tratar de hacerme una persona de bien, gracias por lo que me enseñaste, por tu paciencia y comprensión, sin ti no sería quien soy actualmente, todo te lo debo a ti.

A mi hermana Dhana que me alegra cada día con su cariño y amor, siempre pasando momentos increíbles a tu lado, eres una persona muy especial.

A mi familia que ha sido la base de mi formación, aportando grandes cosas a mi vida, soy afortunado por tenerlos a mi lado. Con afecto para ustedes: Oscar Hernández, Nelson, Verónica, Ramón, Nacho, Oscar, Julieta, Darío, Nelsy, Silvia.

A Susana Rodríguez por brindarme cariño, alegría y compañía, soportando momentos difíciles para guiarme por el mejor camino, eres una gran mujer, gracias por todo tu apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el financiamiento que permitió la finalización de mis estudios de posgrado.

Al Colegio de Postgraduados especialmente al postgrado de Hidrociencias por la oportunidad otorgada para realizar mis estudios de maestría, así como las facilidades brindadas de parte de su personal técnico y administrativo.

Al Dr. Abdul Khalil Gardezi por la atención dedicada en mi estancia y compartir sus conocimientos durante el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Guillermo Carillo Castañeda, Dr. Sergio R. Márquez Berber y Dr. Héctor Flores Magdaleno por formar parte de mi consejo, enriqueciendo con sus aportaciones, correcciones y recomendaciones en este documento de tesis.

A los profesores que me formaron académicamente a través de los cursos de maestría.

A mis compañeros y amigos involucrados en el trabajo, ya que con su ayuda resultó posible la realización del mismo.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO GENERAL	3
2.1 Objetivos específicos	3
III. MARCO TEÓRICO	4
3.1 Cultivo de Jamaica	4
3.1.1 Origen de la Jamaica y descripción botánica	4
3.1.2 Clasificación taxonómica	4
3.1.3 Importancia económica	5
3.1.4 Requerimientos edafoclimáticos	5
3.2 Agua residual	6
3.2.1 Usos en suelos agrícolas	6
3.3 Vermicomposta	7
3.3.1 Descripción	7
3.3.2 Vermicomposta como abono orgánico	7
3.4 Microorganismos benéficos para la agricultura	8
3.4.1 Generalidades	8
3.4.2 Mecanismo de acción de los microorganismos	9
3.4.3 Microorganismos fijadores del nitrógeno	10
3.4.4 Bacterias que solubilizan fosfato	11
3.4.5 Bacterias antagonistas de fitopatógenos	12
3.4.6 Biofertilizantes	13
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	15
4.1 Sitio experimental	15
4.2 Características del invernadero	15
4.3 Material vegetal y sustrato	16
4.4 Vermicomposta	17
4.5 Cepas bacterianas	17
4.6 Tratamientos	18
4.7 Análisis de datos	19
4.8 Manejo del experimento	20
4.8.1 Solarización del suelo	20
4.8.2 Inoculación de cepas	20
4.8.3 Siembra	20

4.8.4 Incorporación de materia orgánica.....	20
4.8.5 Riego.....	20
4.8.6 Aclareo de plantas	21
4.8.7 Control de malezas	21
4.8.8 Cosecha.....	21
4.9 Variables evaluadas	22
4.9.1 Porcentaje de emergencia	22
4.9.2 Altura de planta	22
4.9.3 Número de hojas.....	23
4.9.4 Diámetro del tallo	23
4.9.5 Contenido de clorofila	24
4.9.6 Área foliar.....	24
4.9.7 Volumen radical	24
4.9.8 Peso de materia fresca y seca de la parte aérea y raíces	25
4.9.9 Número cáliz por planta	25
4.9.10 Peso de materia fresca y seca de cáliz.....	25
4.9.11 Días a floración	25
V. RESULTADOS	26
5.1 Caracterización del suelo	26
5.2 Variables evaluadas	27
5.2.1 Porcentaje de emergencia	27
5.2.2 Altura de planta	28
5.2.3 Número de hojas.....	31
5.2.4 Diámetro de tallo	32
5.2.5 Contenido de clorofila	34
5.2.6 Área foliar.....	35
5.2.7 Volumen radical	37
5.2.8 Peso de materia fresca de la parte aérea y raíz.....	38
5.2.9 Peso de materia seca de la parte aérea y raíz.....	40
5.2.10 Número de cáliz por planta	41
5.2.11 Peso de materia fresca y seca del cáliz	41
5.2.12 Días a floración	45
VI. DISCUSIÓN	47
6.1 Caracterización del suelo	47

6.2 Variables evaluadas	47
6.2.1 Factor suelo	47
6.2.3 Factor materia orgánica.	48
6.2.2 Factor cepa bacteriana.	49
VII. CONCLUSIONES	52
VIII. RECOMENDACIONES	53
IX. LITERATURA CITADA	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Invernadero ubicado en el Colegio de Postgraduados.....	15
Figura 2. Suelo regado con agua residual (Muestreo 1); suelo regado con agua limpia (Muestreo 2).....	17
Figura 3. Estado de madurez en el momento de la cosecha.....	21
Figura 4. Medida altura de planta.....	22
Figura 5. Conteo de hojas	23
Figura 6. Medición del diámetro de tallo.....	23
Figura 7. Contenido de clorofila con SPAD	24
Figura 8. Efecto sobre el porcentaje de emergencia por la adición de materia orgánica en dos variedades de Jamaica.....	28
Figura 9. Variedad H1038 (H) y Criolla (C) a 80 DDS	28
Figura 10. Variedad H1038 (H) y Criolla (C) a 120 DDS	29
Figura 11. Variedad H1038 (H) y Criolla (C) a 180 DDS	29
Figura 12. Cáliz en variedad H1038 a 180 DDS. (a: suelo limpio sin inoculación, b: suelo regado con agua residual y c: inoculado con cepa bacteriana)	43
Figura 13. Cáliz en variedad criolla a 180 DDS. (a: suelo limpio y sin inoculación, b: suelo regado con agua residual y c: inoculado con cepa bacteriana)	44
Figura 14. Flor de variedad H1038.....	46
Figura 15. Flor de variedad Criolla	46

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Determinación de las propiedades físico-químicas del suelo.	16
Cuadro 2. Identificación de tratamientos.	18
Cuadro 3. Distribución aleatoria de tratamientos en sitio experimental en variedad H1038 y Criolla.	19
Cuadro 4. Análisis en dos tipos de suelos: regados con aguas limpias y residuales.	26
Cuadro 5. Evaluación del porcentaje de emergencia en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.	27
Cuadro 6. Evaluación de la altura en dos variedades del cultivo de Jamaica a distinto tiempo, con diferentes factores y niveles.	30
Cuadro 7. Evaluación del incremento en número de hojas en dos variedades del cultivo de Jamaica a distinto tiempo, con diferentes factores y niveles.	31
Cuadro 8. Evaluación del incremento en diámetro de tallo en dos variedades del cultivo de Jamaica a distinto tiempo, con diferentes factores y niveles.	33
Cuadro 9. Evaluación del incremento en unidades SPAD en dos variedades del cultivo de Jamaica a distinto tiempo, con diferentes factores y niveles.	34
Cuadro 10. Área foliar en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.	36
Cuadro 11. Volumen radical en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.	38
Cuadro 12. Peso de materia fresca de la parte aérea y raíz en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.	39
Cuadro 13. Peso de materia seca de la parte aérea y raíz en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.	40
Cuadro 14. Número de cálices en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.	41
Cuadro 15. Peso de materia fresca y seca del cáliz en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.	42

Cuadro 16. Días a floración en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles..... 45

I.INTRODUCCIÓN

La Jamaica o rosa de Jamaica, es una planta a la que se le atribuyen en principio propiedades medicinales respaldadas por estudios científicos, sin embargo se ha empleado como colorante en alimentos, bebidas refrescantes, jarabes, entre otros productos.

En el estado de Guerrero es de gran importancia, permaneciendo en primer lugar a nivel nacional de superficie cosechada y producción de cáliz, seguido de Oaxaca, Michoacán y ocho estados más (SIAP, 2015).

Para acrecentar la producción en las cosechas los agricultores utilizan fertilizantes químicos que aumenta el costo de producción y aguas residuales que incrementa la productividad por su contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo (Jiménez *et al.*, 2005) pero con alta carga de contaminantes (Gil *et al.*, 2013); lo anterior, ha traído como consecuencia una disminución en la productividad del suelo, el aumento de concentraciones de elementos tóxicos afectando directamente a los ecosistemas, la calidad de vida y el desarrollo económico y social (Sosa *et al.*, 2013).

En la actualidad se promueve la implementación de estrategias que disminuyan los efectos antrópicos. Especialmente se considera el uso de microorganismos (bacterias de vida libre y hongos micorrícicos arbusculares) que consiguen aumentar la absorción de elementos nutritivos e incrementan la eficiencia de abonos en los cultivos (Quiñones *et al.*, 2012).

Las bacterias de vida libre, establecen asociaciones importantes con las plantas incrementando el crecimiento y productividad vegetal. En base al efecto que producen se clasifican en: benéficas, neutras y patógenas (Beneduzi *et al.*, 2012), siendo las benéficas de mejor aprovechamiento. La asociación se inicia con mecanismos de quimiotaxis relacionado con quimiorreceptores y sistemas de regulación codificados genéticamente para mantener la comunicación entre células de raíz y microorganismos

del suelo (Landa *et al.*, 2002; Mavrodi *et al.*, 2006). Durante la asociación se producen sustancias orgánicas, fijación de nitrógeno, fósforo, y otros elementos (Ahmad *et al.*, 2006) lo que le confiere a la planta la capacidad de absorber nutrientes pobremente solubles. De igual manera incrementa la resistencia de las plantas a diversos factores ambientales, mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo (Requena, 2001; Bronick and Lal, 2004) generando nutrición biológica más eficiente y económica.

Otra de las soluciones más rentables es el uso de vermicomposta, que es el subproducto de la transformación de residuos orgánicos consumidos por lombrices de tierra. Se ha estudiado que los fertilizantes orgánicos protege y desarrolla la vida de los microorganismos mejorando la estructura del suelo, permitiendo el reciclado de materia orgánica en el mismo (Ruiz, 2011). Por otra parte la vermicomposta almacena principalmente nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y micronutrientes de liberación prolongada (García, 2011; Varela y Martínez, 2013), usados en el incremento del desarrollo vegetativo bajo condiciones de invernadero (Gardezi *et al.*, 2008), aumenta la carga microbiana y hormonas de crecimiento vegetal, resaltando una agricultura sostenible que evita la degradación de suelos con abonos inorgánicos.

Actualmente existe escasa información sobre el aprovechamiento de los biofertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de Jamaica, así como también de la acumulación en partes comestibles de la planta por elementos tóxicos presentes en el suelo, por consiguiente ésta investigación consistió en evaluar el desarrollo de Jamaica en dos tipos de suelo con interacción de cepas bacterianas y vermicomposta, de tal manera que el agricultor tenga opciones de fertilización reduciendo sus costos de producción, disminuya la contaminación y adquiera nuevas tecnologías amigables al ecosistema.

II. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la adición de cepas bacterianas y vermicomposta en el crecimiento de dos variedades de Jamaica cultivadas con dos suelos.

2.1 Objetivos específicos

- Demostrar si la utilización de suelos regados con aguas residuales tiene efectos positivos en el desarrollo del cultivo de Jamaica.
- Determinar el efecto de la agregación de vermicomposta en el desarrollo del cultivo de Jamaica.
- Estimar el efecto de dos cepas bacterianas en el crecimiento y otras características morfológicas del cultivo de Jamaica.
- Señalar la variedad con mejor respuesta en sus características agronómicas evaluadas.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Cultivo de Jamaica

3.1.1 Origen de la Jamaica y descripción botánica

La Jamaica conocida en México como flor de Jamaica, serent, aleluya y agria de Jamaica, pertenece a la familia de las Malvaceae. Es probablemente nativa de Asia (Mahadevan *et al.*, 2009) o África tropical (Toukara *et al.*, 2011) aunque se cultiva en muchas regiones tropicales y subtropicales en el mundo (Akanbi *et al.*, 2009) como México, América Central, Sudamérica (Sáyago-Ayerdi y Goñi, 2010). Es una planta herbácea anual con tallos lisos; las hojas más bajas son ovadas y las hojas superiores con 3-5 lobulados palmados. Las flores son axilares o en racimos terminales, los pétalos son blancos, rosas o amarillos con un centro rojizo en la base de la columna estaminal, los cálices se alargan en la madurez y los frutos son carnosos, de rojo oscuro (McCaleb, 1996).

3.1.2 Clasificación taxonómica

Linneo (1735), clasificación de la flor de Jamaica:

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Subclase: Dilleniidae
Orden: Malvales
Familia: Malvaceae
Subfamilia: Malvoideae
Género: *Hibiscus*
Especie: *H. sabdariffa* L.

3.1.3 Importancia económica

Es una planta económicamente importante, sus hojas, tallos y cálices se aprecian por su alto valor nutrimental y por sus propiedades medicinales (D'Heureux y Badrie, 2004), debido a la gran cantidad de compuestos fenólicos, ácidos orgánicos, flavonoles, flavonas, isoflavonas y antocianinas (Galicia *et al.*, 2008), además de ácido ascórbico, riboflavina, niacina, beta-caroteno, ácido cítrico entre otros (Hirunpanich *et al.*, 2005). Los tallos se utilizan para producir fibras en la industria textil, en la producción de mucilago para productos cosméticos, las hojas se consumen como verduras (El Afri *et al.*, 1979). Los cálices son la parte más explotada de la planta, utilizados en mermeladas, jaleas, salsas, bebidas, dulces y jarabes. Los extractos obtenidos a partir de los cálices se le han atribuido propiedades medicinales como reductores de presión arterial y colesterol, laxante, control de debilidad, fiebre, neurosis, resfriados y tos.

En México la mayor producción se encuentra en el estado de Guerrero en superficie cosechada y producción de cáliz, seguido de Oaxaca, Michoacán siendo estos tres los que mayor superficie siembra (SIAP, 2015). No obstante a nivel nacional existe un déficit de producción por lo que es de suma importancia la reconversión de áreas para la producción orgánica y exportación al mercado internacional.

3.1.4 Requerimientos edafoclimáticos

La Jamaica consigue adaptarse a diferentes climas y tipos de suelos. Como cultivo solo o asociado desarrolla mejor en suelos de texturas ligeras, con buen drenaje, evitando encharcamientos. Salinidad de menos de 4.0 mmhos/cm de conductividad eléctrica, nivel moderado de fertilidad natural y un rango de pH de 6.0-7.8 (Mc Caleb, 1996). Es un cultivo que se desarrolla en climas tropicales y subtropicales con precipitaciones mensual de 100 a 250 mm/mes necesarios los primeros 120 días de crecimiento, sin embargo cuando el agua es escasa soporta periodos secos. Necesita un fotoperíodo de 13 horas de luz solar durante los primeros 4-5 meses del crecimiento, esencial para prevenir el florecimiento prematuro (Nатурland, 2000). Finalmente la cosecha se realiza de 20 a 24 días después de la floración (Ramírez *et al.*, 2011). En México, el clima contribuye para

presentar producción en distintos estados, necesario para obtener un desarrollo óptimo, calidad, producción orgánica y rendimiento.

3.2 Agua residual

3.2.1 Usos en suelos agrícolas

Las descargas de efluentes de una variedad de actividades de origen antropogénico han tenido como resultado la contaminación de los ríos, lagos y otros cuerpos de agua. El acelerado crecimiento poblacional y la expansión de las zonas urbanas han incrementado los impactos adversos sobre los recursos hídricos (Gurdián y Coto, 2011; Mercado *et al.*, 2010).

La necesidad de preservar el medio ambiente ha llevado a la búsqueda de nuevos métodos para la eliminación eficiente de los compuestos químicos que alteran la estabilidad de nuestros recursos. La contaminación del agua es un hecho de gran importancia ya que los contaminantes pueden acumularse y transportarse tanto por aguas superficiales como subterráneas.

Generalmente, la contaminación de los cuerpos de agua está relacionada con los vertimientos de origen doméstico. En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos. La determinación de parámetros básicos de contaminación bacteriológica, orgánica y química del agua de consumo y de vertido, requiere una serie de análisis dirigidos a conocer la calidad de ésta (Pinilla, 2003). A pesar de ello este recurso ha sido utilizado durante varios años por los agricultores por diversas razones: bajos costos, incremento del rendimiento, beneficios para el suelo y sequías. Algunos autores señalan que el uso productivo de las aguas residuales domésticas o municipales pudiera constituir una vía alternativa importante para riego agrícola por sus contenidos de nutrientes y materia orgánica, lo que favorecería el incremento de las cosechas y el mejoramiento de los suelos, teniendo mayores beneficios en épocas de sequía (Veliz, 2009). Sin embargo es necesario tomar en cuenta medidas en la planificación de riego,

en el diseño de los sistemas de riego, drenaje, tratamiento de agua y forma de siembra evitando de esta manera la contaminación de partes comestibles del cultivo (Lara y Hernandez, 2003; Ortega y Orellana, 2007), o emplearla en aquellos cultivos que tendrán una transformación industrial (Silva *et al.*, 2008).

3.3 Vermicomposta

3.3.1 Descripción

La Vermicomposta se genera como resultado de las transformaciones bioquímicas y microbiológicas de los residuos orgánicos, provocadas en el intestino de las lombrices (Galindo *et al.*, 2014). En el proceso del vermicompostaje la especie de lombriz más utilizada es *Eisenia foetida*. Su intestino contiene una amplia gama de microorganismos, enzimas, hormonas que se descomponen y transforman materiales en un período de tiempo corto (Ghosh *et al.*, 1999). Durante el proceso efectúa fragmentaciones físicas del sustrato orgánico que aumenta la superficie para los microorganismos, modifica la microflora presente en el suelo y airea el sustrato a través de actividades como la excavación (Aira y Domínguez, 2010).

El producto final es un sustrato de gran uniformidad, contenido nutrimental y una excelente estructura física, porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de humedad y durante el proceso no se generan malos olores (Jiménez *et al.*, 2014).

Dicho producto puede satisfacer la demanda de nutrientes de los cultivos, reduciendo significativamente el uso de fertilizantes químicos y mejorando las características de los vegetales consumidos (Rodríguez *et al.*, 2009).

3.3.2 Vermicomposta como abono orgánico

La búsqueda de sustratos alternativos con bajo impacto al medio ambiente se hace indispensable para mantener la producción de cultivos de importancia económica

(Acosta *et al.*, 2014). Los abonos orgánicos son aquellos que se componen principalmente de materia orgánica, donde interactúa una serie de microorganismos que benefician a la planta. Reduce procesos como lixiviación, fijación y volatilización, que dependen de la tasa de descomposición del material orgánico, la cual es controlada por la temperatura, humedad, textura, mineralogía del suelo y composición química del material orgánico utilizado (Mueller *et al.*, 2013). Dentro de este grupo se encuentra la composta y vermicomposta, debido a que su elaboración involucra procesos biológicos en la transformación de restos orgánicos de distintas clases (De la cruz *et al.*, 2009).

Las vermicompostas aportan gran cantidad de nutrientes, necesarios para el desarrollo fenológico de la planta (Durán y Henríquez, 2010). Se han empleado en diversos cultivos como fabáceas, cereales, plantas de ornato y en la floricultura, evaluados en campo e invernadero. En maíz se ha observado un incremento en la absorción de macro y micro elementos, además de mejorar las propiedades físicas del suelo (Kalantari *et al.*, 2010). En tomate se incrementó el tamaño y números de frutos en la planta (Camacho *et al.*, 2014). Se ha mostrado un aumento en la fijación de nitrógeno e incremento en la población bacteriana (Jayanta *et al.*, 2009). En Chile la adición de humus de lombriz incrementó variables de crecimiento, de calidad y rendimiento (Cruz *et al.*, 2015). En suelo ha demostrado ser buena estrategia para la recuperación de suelos (Morgollon *et al.*, 2015). Así como aumento en el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio por el aporte nutrimental de la vermicomposta (Cruz *et al.*, 2016).

3.4 Microorganismos benéficos para la agricultura

3.4.1 Generalidades

Los microorganismos que ofrecen beneficios a los cultivos son un grupo de diferentes especies que pueden incrementar el crecimiento y productividad vegetal. Las sustancias promotoras del crecimiento vegetal que producen dichos microorganismos son de carácter orgánico que activan varias repuestas en la célula vegetal, a nivel bioquímico, fisiológico y morfológico, entre ellas podemos encontrar cinco grupos principales:

auxinas, giberelinas, etileno, ácido abscísico y citoquinas, capaces de contribuir al desarrollo y regulación, incrementan la resistencia de las plantas a diversos factores ambientales logrando inducir o suprimir la expresión de una amplia gama de genes (Tsavkelova *et al.*, 2006). Los microorganismos pueden ser de vida libre, aerobios, anaerobios o anaerobios facultativos (Rodríguez, 1984).

La actividad de los microorganismos promotores de crecimiento vegetal en general se inicia con mecanismos de quimiotaxis que están relacionados con la presencia de flagelos, quimiorreceptores y sistemas de regulación codificados genéticamente para adquirir sus nutrientes presentes en la rizosfera. Estos factores tienen gran importancia sobre la habilidad de colonizar la rizosfera y mantener la comunicación entre las células de la raíz con los microorganismos presentes en el suelo (Landa *et al.*, 2002). Dentro de los microorganismos de vida libre más estudiados se encuentra: *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia* y *Klebsiella*. Los cultivos en donde ha sido más estudiado el proceso fijación de nitrógeno por efecto de los microorganismos son: caña de azúcar, arroz, sorgo, trigo y pastos tropicales forrajeros, donde la fijación de nitrógeno por bacterias asociativas y de vida libre es importante (Armenta *et al.*, 2010).

3.4.2 Mecanismo de acción de los microorganismos

Se considera que los microorganismos con efecto benéfico en la planta puede tener un potencial considerable como agentes de biocontrol y biofertilizantes. Se distinguen tres grandes grupos de acuerdo a su mecanismo de acción (Jiménez *et al.*, 2001):

- a) Microorganismos fijadores de nitrógeno
- b) Bacterias que solubilizan fosfatos
- c) Bacterias antagonistas de fitopatógenos

Según el tipo de microorganismo, tendrá un mecanismo de acción específico para promover el crecimiento vegetal.

3.4.3 Microorganismos fijadores del nitrógeno

El nitrógeno es un elemento esencial para los seres vivos siendo parte estructural de las proteínas y el ADN entre otras moléculas de importancia biológica. Particularmente es limitante del desarrollo vegetal ya que es escaso como nutriente en los suelos. Solamente el 2% del nitrógeno total del suelo se encuentra en forma mineral asimilable por las plantas. La fijación biológica del nitrógeno o diazotrofia es un proceso importante en ecosistemas acuáticos y terrestres que no cuenten con fertilización química, siendo éste el principal aporte de nitrógeno para estos ambientes (Izquierdo *et al.*, 2006). La fijación biológica del nitrógeno es el proceso de reducción del nitrógeno a amonio, siendo éste una molécula asimilable para los organismos (Deslippe y Egger, 2006) y es un proceso ampliamente distribuido entre procariotas (Zhang *et al.*, 2007). El complejo enzimático nitrogenasa es responsable de la fijación biológica del nitrógeno, consta de dos componentes dinitrogenasa reductasa (con hierro como cofactor) y dinitrogenasa (con molibdeno y hierro como cofactores) (Henson *et al.*, 2004) la primera es una co-proteína, homodimero codificado por el gen *nifH* (Zher *et al.*, 2003) con un solo grupo (4Fe-4S) unido entre las subunidades y es responsable de transferir los electrones a la dinitrogenasa. La segunda es un heterotetramero $\alpha_2\beta_2$ contiene hierro y molibdeno que presenta el sitio activo para la reducción de nitrógeno; la cadena α se encuentra codificada por el gen *nifD* y mientras que la cadena β se codifica en el gen *nifK*. La dinitrogenasa es responsable de la transferencia de electrones al nitrógeno (Postgate, 1982). La mayoría de los organismos diazótrofos presentan la nitrogenasa dependiente de molibdeno, sin embargo se ha encontrado que en condiciones de baja disponibilidad de este elemento se induce la síntesis de la nitrogenasa alternativa dependiente de vanadio y hierro como cofactor codificadas en los genes *vnfyanf* (Fallik *et al.*, 1991).

Los mecanismos de acción de *Azospirillum brasilense* y *A. lipoferum*; radican en la fijación de nitrógeno, lo que promueve el incremento del sistema completo de raíces, alteración del funcionamiento de la membrana por medio de moléculas de comunicación celular (Baca y Elmerich, 2007).

En el caso del género *Rhizobium*; fijan nitrógeno, convirtiendo el nitrógeno atmosférico en otras formas químicas (amonio y nitratos) asimilables por las plantas (Paytas *et al.*,

2003). *Azotobacter vinelandii*; tienen la capacidad de fijar nitrógeno en un medio deficiente de molibdeno, esta bacteria tiene un sistema nitrogenasa alternativo (nitrogenasa dos) para la fijación de nitrógeno. Son bacterias de vida libre, que pueden comportarse como asociativas cuando colonizan la raíz de las gramíneas, o bien, se pueden desarrollar en suelo libre de raíces. También producen ácido indol acético y sideróforos (Hill, 1992). Los mecanismos empleados por bacterias son muy diversos, consisten en la producción de sustancias orgánicas, productos del metabolismo secundario de las bacterias, que son capaces de promover respuestas fisiológicas en las células vegetales, otro mecanismo se puede encontrar en la intervención directa de los microorganismos en los ciclos biogeoquímicos en los cuales pueden hacer disponibles compuestos orgánicos e inorgánicos que son aprovechados por la planta. (Ahmad *et al.*, 2006). Estas bacterias han demostrado ser benéficas en la promoción del crecimiento vegetal y la salud de varios cultivos (Baldani, 2005). La explotación de dicha interacción puede jugar un rol significativo en sistemas agrícolas sustentables tanto para cultivos alimenticios como no alimenticios. Durante las últimas décadas se ha incrementado el interés en el estudio de microorganismo que promueven algún beneficio a la planta, asociándolos a cultivos agrónomicamente importantes como arroz, maíz, trigo, caña de azúcar y sorgo, con especial interés en las bacterias que fijan nitrógeno buscando extender a las gramíneas los conocimientos y usos de la fijación biológica de nitrógeno, muy estudiado en cultivos de fabáceas (Bhattacharje *et al.*, 2008).

3.4.4 Bacterias que solubilizan fosfato

El fósforo, después del nitrógeno es el nutriente inorgánico más requerido por las plantas y microorganismos. En el suelo, es el factor limitante del desarrollo vegetal pues las concentraciones de fósforo asimilables son muy bajas, normalmente varían entre 5 y 30 mg/kg. Esto se debe a que el fósforo soluble reacciona con iones como el calcio, el hierro o el aluminio, que provocan su precipitación o fijación, disminuyendo su disponibilidad para las plantas. Los fosfatos inorgánicos aplicados como fertilizantes químicos también son inmovilizados en el suelo y como consecuencia no pueden ser aprovechados totalmente por los cultivos (Atlas, 2002). Existen bacterias capaces de transformar las

formas insolubles del fósforo en formas solubles, a través de reacciones enzimáticas, haciendo al fósforo disponible para las necesidades de las plantas (Sudhansu, 1998).

El género *Bacillus*; produce antibióticos y ejercen un control biológico sobre patógenos del suelo, tienen mecanismos para promover el crecimiento de las plantas, a través de la fijación de nitrógeno y solubilización de fosfatos, haciendo más disponibles los nutrimentos en la rizosfera, en beneficio de las plantas (Bashan *et al.*, 1995).

3.4.5 Bacterias antagonistas de fitopatógenos

La mayoría de bacterias del suelo posee características que les permiten actuar como antagonistas, pues son capaces de suprimir el efecto de los patógenos del suelo que causan enfermedades por medio de la excreción de metabolitos antifúngicos que colaboran directa o indirectamente con el crecimiento de las plantas (Gupta *et al.*, 2000). Muchos de estos compuestos especializados tales como los antibióticos, pueden ser tanto líquidos como sólidos, pero poco se conoce sobre los que son volátiles es decir aquellos con un peso menor a 300 Da, baja polaridad y alta presión de vapor, que pueden actuar como bactericidas y causar la inhibición del crecimiento o tener un efecto deletéreo para algunos microorganismos (Vespermann *et al.*, 2007). Estos metabolitos pueden ser los terpenos, jasmonato y los componentes de la clorofila. A su vez existen trabajos previos en los que las bacterias del género *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Serratia* producen compuestos como el 3-hidroxy-2butano (acetoina) y 2,3-butanodiol para promover el crecimiento de *Arabidopsis thaliana* (Ryu *et al.*, 2003). Algunas *Pseudomonas*, producen ácido indol acético, sideróforos que son mejores solubilizadores de hierro gracias a que tienen sitios de ligación múltiple. Los metabolitos secundarios promotores del crecimiento vegetal, activan varias repuestas en la célula vegetal, a nivel bioquímico, fisiológico y morfológico. Son capaces de contribuir al desarrollo y regulación de muchos parámetros (altura, grosor del tallo, grosor de la raíz etc.) La acción de las sustancias de crecimiento vegetal promueven la producción de fitohormonas como: auxinas, giberelinas, etileno, ácido abscísico y citocinas. Estas fitohormonas son producidas por bacterias específicas o en conjunto. Varios géneros bacterianos entre los cuales se pueden citar *Azotobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus*

sp. (Caballero *et al.*, 2007) han sido reportados como productores de la auxina: ácido indol acético. En el caso de la giberelina; es capaz de incrementar el crecimiento de los tallos, interrumpir el periodo de latencia de las semillas para germinar, esta fitohormona es producida por plantas y en casos muy puntuales, por las bacterias *A. brasilense* y *A. lipoferum*. También se considera que muchos microorganismos de la rizósfera de los cultivos son capaces de producir citocinas biológicamente activas, entre los géneros bacterianos más conocidos por producir estos compuestos se reporta a *Bacillus* (García de Salmone *et al.*, 2005), junto con otros géneros que cumplen funciones particulares para el buen crecimiento de los vegetales. Algunos microorganismos como *Pseudomonas* y *Azotobacter*, producen compuestos de bajo peso molecular llamados sideróforos que desempeñan la función de solubilizar fierro, para obtener este mineral del suelo.

3.4.6 Biofertilizantes

Los biofertilizantes, son productos a base de microorganismos benéficos (bacterias y hongos), que viven asociados o en simbiosis con las plantas y ayudan a su proceso natural de nutrición, además de ser regeneradores de suelo. Estos microorganismos se encuentran de forma natural en suelos que no han sido afectados por el uso excesivo de fertilizantes químicos u otros agroquímicos, que disminuyen o eliminan dicha población (Gregory y Roots, 2006). Se trata de productos que no contaminan ni degradan la capacidad productiva del suelo, por el contrario, son regeneradores de la población microbiana; asimismo, estos productos tienen una función protectora del sistema radicular de la planta contra microorganismos patógenos. La nutrición biológica de la planta es la forma más eficiente y económica de la alimentación vegetal, ya que permite el aprovechamiento del nitrógeno atmosférico, el nutriente más caro, además de aprovechar de manera más intensiva los nutrientes disponibles en el suelo, ya que estimulan el desarrollo del sistema radicular y permiten mayor solubilidad y conductividad de nutrientes. Los efectos de los biofertilizantes en el desarrollo radicular son la solubilidad y conductividad de nutrientes, se traducen en un mayor aprovechamiento de la humedad del suelo (Salinas, 2014). El uso del biofertilizante favorece por el poco

volumen en su aplicación; mientras que en el químico se está haciendo referencia a cientos de kilos por hectárea (Morales, 2007). Estos biofertilizantes no son incompatibles con los fertilizantes químicos, se pueden combinar para lograr un uso más racional del químico, mejorando significativamente el aprovechamiento de éste por la planta, disminuyendo los niveles de desperdicio y contaminación. En el caso de gramíneas, con la aplicación del biofertilizante se puede disminuir entre 20 y 50% la dosis de fertilización química recomendada, obteniéndose iguales o mejores rendimientos, entre 10 y 20% superior, además del ahorro en el uso de fertilizante.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Sitio experimental

El estudio se realizó en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México ubicado en 19°27'N y 98° 54'O con una altitud de 2245 msnm; con clima templado, temperatura media anual de 16.4°C y precipitaciones con 762.7 mm anuales (SMN, 2010).

4.2 Características del invernadero

El invernadero se constituye de techos planos simétricos a dos aguas, la cubierta es cristal con una luminosidad del 70%, estructura metálica. La ventilación es por ventanas frontales y laterales (Figura 1).



Figura 1. Invernadero ubicado en el Colegio de Postgraduados

4.3 Material vegetal y sustrato

Se utilizaron dos variedades de Jamaica, comercial (H1038) y Criolla del estado de Guerrero. La siembra se realizó en bolsas de polietileno de 2.5 kg con suelo contaminado, regado durante décadas con aguas de la presa Emiliano Zapata entre los límites de Guerrero y Morelos, que alberga aguas residuales urbanas de las poblaciones aledañas y con suelo limpio regado con agua de pozo (Figura 2).

El suelo se caracterizó con muestras obtenidas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-40 cm de profundidad conforme a las metodologías del Cuadro 1.

Cuadro 1. Determinación de las propiedades físico-químicas del suelo.

Determinación	Método
pH	Potenciométrico
Conductividad eléctrica	Puente de conductividad en el extracto de la pasta de saturación
Materia orgánica	Walkley y Black
Nitrógeno	Extraído con cloruro de potasio 2N y determinado por arrastre de vapor
Fosforo asimilable	Olsen
Potasio	Extraído en acetato de amonio 1.0N, pH, relación 1:20 y determinado por espectrofotometría de emisión de flama
Calcio	Extraído con acetato de amonio 1.0N, pH 7.0, relación 1:20 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica
Magnesio	
Hierro	Extraído con DTPA relación 1:4 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica
Cobre	
Zinc	
Plomo	Espectrofotometría de absorción atómica
Cromo	
Cadmio	

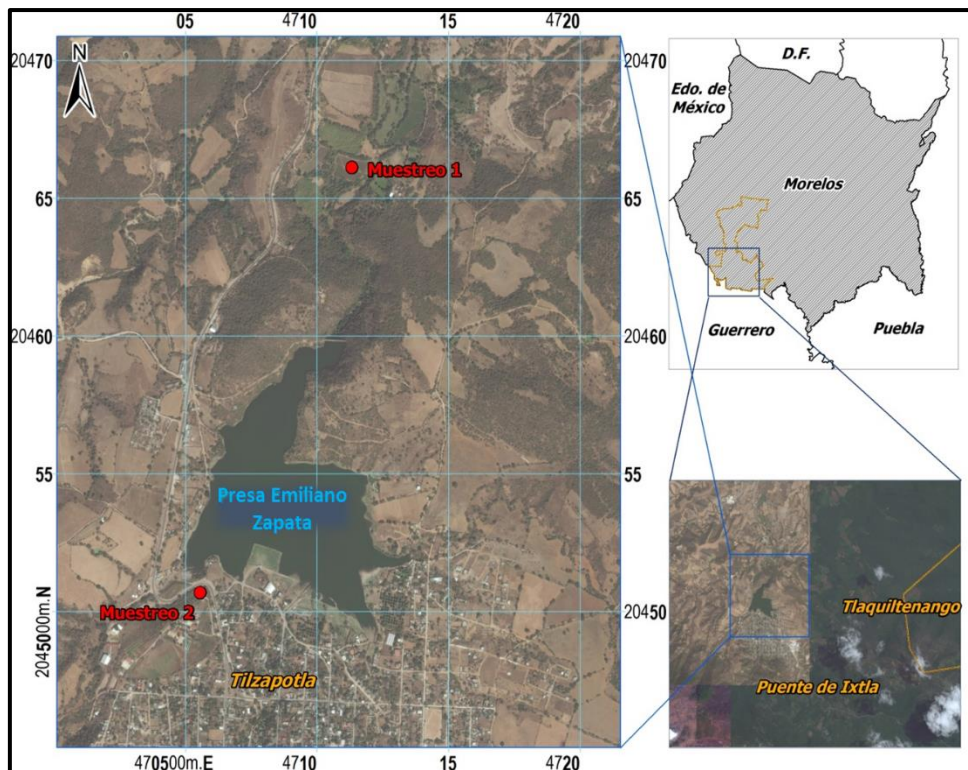


Figura 2. Suelo regado con agua residual (Muestreo 1); suelo regado con agua limpia (Muestreo 2)

4.4 Vermicomposta

Se utilizó vermicomposta como materia orgánica, elaborada con 60 kg de estiércol de bovino, 25 kg de residuos de melón, y 15 kg de trigo. La mezcla interactuó con lombriz de tierra durante cuatro meses.

4.5 Cepas bacterianas

Se utilizaron *Pseudomonas fluorescens* A9m y A7. Las cepas fueron donadas por el Laboratorio de Biología Molecular del Instituto de Genética del Colegio de Postgraduados.

4.6 Tratamientos

Los tratamientos en estudio para la presente investigación fueron: dosis de materia orgánica e inoculación de cepas bacterianas en dos tipos de suelos. Con un total de veinticuatro tratamientos con tres repeticiones para cada variedad (Cuadro 2).

Cuadro 2. Identificación de tratamientos.

No.	Símbolo	Cepa	Suelo	Materia orgánica
1	T1	A9m	L	0 g
2	T2	A7		
3	T3	CNI		
4	T4	A9m	R	
5	T5	A7		
6	T6	CNI		
7	T7	A9m	L	24.05 g
8	T8	A7		
9	T9	CNI		
10	T10	A9m	R	
11	T11	A7		
12	T12	CNI		
13	T13	A9m	L	48.08 g
14	T14	A7		
15	T15	CNI		
16	T16	A9m	R	
17	T17	A7		
18	T18	CNI		
19	T19	A9m	L	72.05 g
20	T20	A7		
21	T21	CNI		
22	T22	A9m	R	
23	T23	A7		
24	T24	CNI		

L= Suelo limpio

R= Suelo contaminado

CNI= Cepa no inoculada

En el cuadro 3 se muestra la distribución de los tratamientos en el sitio experimental.

		Variedad "H1038"						
R1	T3	T21	T13	T6	T1	T20	T12	T23
	T4	T24	T2	T10	T16	T14	T11	T8
	T9	T7	T5	T22	T17	T15	T19	T18
R2	T18	T4	T11	T24	T16	T8	T2	T5
	T21	T14	T9	T12	T6	T23	T15	T1
	T10	T7	T20	T22	T13	T3	T17	T19
R3	T2	T13	T23	T18	T1	T17	T20	T12
	T11	T14	T7	T10	T4	T8	T5	T15
	T22	T16	T19	T9	T6	T3	T24	T21

		Variedad "Criolla"						
R1	T20	T16	T10	T21	T17	T14	T11	T22
	T18	T15	T5	T19	T6	T13	T3	T7
	T1	T9	T8	T23	T2	T4	T12	T24
R2	T14	T19	T6	T5	T21	T15	T2	T8
	T22	T18	T11	T24	T7	T23	T9	T12
	T4	T17	T13	T3	T10	T16	T20	T1
R3	T1	T8	T9	T15	T12	T4	T2	T22
	T10	T5	T23	T17	T16	T20	T6	T14
	T18	T13	T11	T21	T24	T7	T19	T3

T= Tratamiento; R= Repetición.

Cuadro 3. Distribución aleatoria de tratamientos en sitio experimental en variedad H1038 y Criolla.

4.7 Análisis de datos

Se manejó diseño experimental de bloques completamente al azar con 24 tratamientos (4x3x2) en arreglo factorial con tres repeticiones. Los factores y niveles estudiados fueron: 1) suelo con dos niveles, regado con agua residual y regado con agua limpia; 2) vermicomposta, con cuatro niveles, 0, 24.05 g, 48.08 g, 72.05 g; 3) cepa bacteriana, con tres niveles, sin cepa, cepa A9m y cepa A7. Las variables de respuesta se analizaron mediante análisis de varianza con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$ y pruebas de separación de medias con Tukey ($p \leq 0.05$).

4.8 Manejo del experimento

4.8.1 Solarización del suelo

La solarización del suelo se realizó a cielo abierto empleando coberturas plásticas, oscuras como base y transparentes como cubierta. Cada tres días el suelo se mezcló dejando un espesor de 5 cm. Se solarizó por un período de 20 días para continuar con la siembra.

4.8.2 Inoculación de cepas

La inoculación en semilla se realizó 30 minutos antes de la siembra con las cepas A9m y A7 en las dos variedades, agregando 10 ml de solución bacteriana.

4.8.3 Siembra

La siembra se realizó de forma manual, colocando cinco semillas por bolsa a una profundidad de 1 cm.

4.8.4 Incorporación de materia orgánica

Se aplicaron cuatro dosis de vermicomposta como materia orgánica. En cada bolsa de 2.5 kg de suelo se mezclaron, 0, 24.05g, 48.08g, 72.05g de vermicomposta. Es equivalente a 0, 25, 50, 75 t ha⁻¹ de materia orgánica.

4.8.5 Riego

Los riegos se generaron cada tercer día, aplicando la misma cantidad de agua con un recipiente durante el desarrollo de la investigación.

4.8.6 Aclareo de plantas

El aclareo consistió en dejar una planta por bolsa por cada tratamiento en ambas variedades, esta actividad se realizó a los 40 días después de siembra.

4.8.7 Control de malezas

Esta operación se realizó durante todo el experimento, impidiendo el incremento de hierbas que intervinieran en el crecimiento y desarrollo del cultivo.

4.8.8 Cosecha

Los cálices se cosecharon manualmente cuando lograron una tonalidad rojo intenso, a los 24 días después de la floración aproximadamente 180 días después de siembra (Figura 3).



Figura 3. Estado de madurez en el momento de la cosecha

4.9 Variables evaluadas

4.9.1 Porcentaje de emergencia

Después de la siembra se determinó el porcentaje de emergencia, se tomaron en cuenta todos los tratamientos y contando en cada unidad experimental las semillas emergidas por repetición.

Variables evaluadas a los 80, 120, 160 y 180 días después de siembra.

4.9.2 Altura de planta

Se midió con ayuda de una cinta métrica, tomando la altura de la base del tallo principal hasta el brote más pequeño del ápice en todas las plantas, reportando los datos en cm. (Figura 4).



Figura 4. Medida altura de planta

4.9.3 Número de hojas

Se realizó un conteo para dicha variable seleccionando las hojas mayores a 2 cm de longitud (Figura 5).



Figura 5. Conteo de hojas

4.9.4 Diámetro del tallo

Se midió a una distancia de 3 centímetros de la base del tallo, usando la misma ubicación para todas las plantas. Se manejó el instrumento de medición vernier, los datos obtenidos se reportaron en mm. (Figura 6).



Figura 6. Medición del diámetro de tallo

4.9.5 Contenido de clorofila

Se empleó el medidor Konica Minolta SPAD 502 PLUS que determina la cantidad relativa de clorofila presente por espectroscopia expresada en unidades SPAD. La lectura de los valores SPAD se realizó en hojas recién maduras de la parte media de la planta (Figura 7).



Figura 7. Contenido de clorofila con SPAD

Variables evaluadas al final de la investigación

4.9.6 Área foliar

Para la evaluación de esta variable en cada planta se midió con un integrador de área foliar modelo LI-3100 (LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA).

4.9.7 Volumen radical

Para determinar el volumen radical se utilizó el método de volumen de agua desplazado por raíz en una probeta graduada (Ortiz *et al.*, 2016). La raíz fue sumergida en un volumen de agua conocido, el volumen aumentado correspondió al volumen radical.

4.9.8 Peso de materia fresca y seca de la parte aérea y raíces

Con ayuda de una balanza digital se determinó el peso de materia fresca de la parte aérea y radicular. Posteriormente se introdujo ambas partes a una estufa y se secaron a 60°C por 48 horas, determinando su peso de materia seca hasta llegar a peso constante (Sadzawka *et al.*, 2007).

4.9.9 Número cáliz por planta

Durante la cosecha se contabilizó el número de cáliz por planta en los diferentes tratamientos, se reportó en cáliz/planta.

4.9.10 Peso de materia fresca y seca de cáliz

Se determinó el peso de materia fresca de los cálices con ayuda de una balanza digital. Luego se ingresaron a una estufa y se desecaron a 40° C por 48 horas, finalmente se estableció el peso de materia seca hasta obtener un peso constante.

4.9.11 Días a floración

Se registraron los días a floración en todos los tratamientos por cada repetición de ambas variedades.

V. RESULTADOS

5.1 Caracterización del suelo

El suelo empleado en la investigación es de textura arcillosa, con un pH medianamente alcalino, más alto en suelos regados con agua contaminada. El suelo regado con aguas limpias mostró un pH de 7.36 contrastado con el suelo regado con aguas residuales con un pH de 7.45 en la muestra de 10-40 cm de profundidad. Los resultados en la conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, magnesio, hierro, zinc y cobre fueron mayores en los suelos irrigados con aguas residuales.

Cuadro 4. Análisis en dos tipos de suelos: regados con aguas limpias y residuales.

	Muestra de suelo					
	Irrigado con agua limpia			Irrigado con agua residual		
	0-5 cm	5 a 10 cm	10 a 40 cm	0-5 cm	5 a 10 cm	10 a 40 cm
pH	7.21	7.35	7.36	7.36	7.39	7.45
CE dSm ⁻¹	0.46	0.55	0.4	0.71	0.46	0.43
MO %	0.31	0.27	0.4	0.67	0.34	1.88
N mgKg ⁻¹	13	9.3	8.4	13	16.7	9.9
CIC Cmol+/Kg	53	52	48	58	57	54
P mgKg ⁻¹	7.39	6.55	3.72	8.1	18.18	5.9
K mgKg ⁻¹	204	384	382	470	398	226
Ca mgKg ⁻¹	4085	4111	2810	4222	4376	4140
Mg mgKg ⁻¹	494	464	387	926	822	846
Fe mgKg ⁻¹	2.02	1.3	1.82	2.74	1.87	1.38
Cu mgKg ⁻¹	0.77	0.74	0.71	1.59	1.7	1.51
Zn mgKg ⁻¹	0.82	0.47	0.38	0.74	0.58	0.52
Pb mgKg ⁻¹	ND	0.009	ND	ND	ND	0.011
Cr mgKg ⁻¹	ND	ND	ND	ND	0.020	ND
Cd mgKg ⁻¹	ND	0.004	ND	ND	0.007	ND

pH: potencial de hidrógeno, CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica, CIC: capacidad de intercambio catiónico, ND: no detectado.

5.2 Variables evaluadas

5.2.1 Porcentaje de emergencia

En porcentaje de emergencia no hubo diferencias significativas para los factores de suelo y cepa bacteriana evaluados ($p \leq 0.05$), no obstante se encontró efecto significativo en los niveles del factor materia orgánica sobre el porcentaje de emergencia. La dosis con 48.08 g de materia orgánica mostró mayor efecto positivo en el porcentaje de emergencia para la variedad H1038, mientras que la dosis con 72.05 g de materia orgánica indico mayor impacto efectivo en la variedad Criolla (Figura 8).

Cuadro 5. Evaluación del porcentaje de emergencia en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.

Factores y niveles	H1038	Criolla
	% emergencia	
Suelo (S)		
S. regado con agua limpia	68.33 ^{NS}	51.11 ^{NS}
S. regado con agua residual	72.78	52.78
Materia orgánica		
0 g	60.00 c	39.89 c
24.05 g	66.67 bc	50.00 b
48.08 g	81.11 a	48.89 bc
72.05 g	74.44 ab	70.00 a
Cepa bacteriana		
Sin cepa	67.50 ^{NS}	48.33 ^{NS}
Con A9m	75.83	52.50
Con A7	73.33	56.67

NS= No significativo. Medias con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

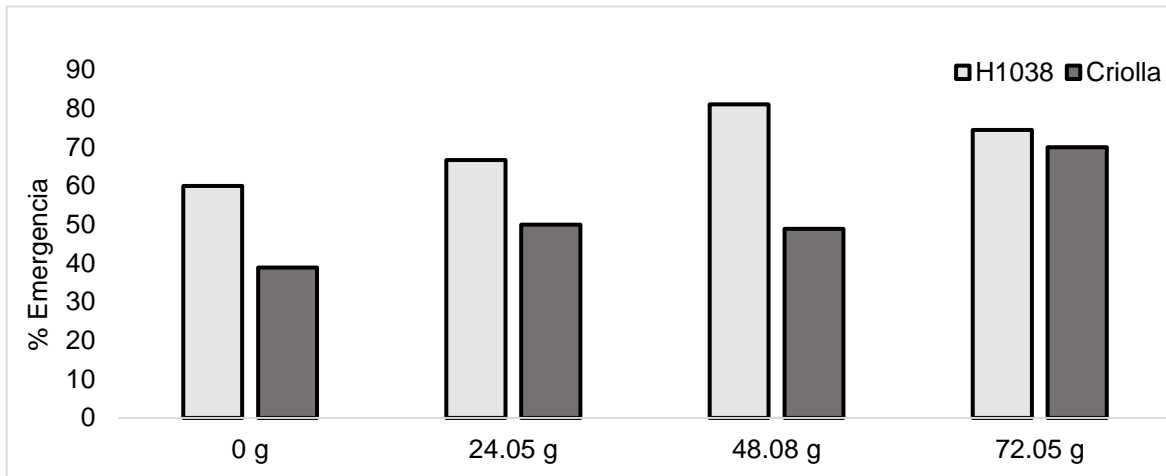


Figura 8. Efecto sobre el porcentaje de emergencia por la adición de materia orgánica en dos variedades de Jamaica.

Variables de crecimiento a 80, 120, 160 y 180 días después de siembra.

5.2.2 Altura de planta

En las pruebas realizadas en dos variedades de Jamaica y luego de cuatro mediciones realizadas en 80, 120, 160 y 180 días después de siembra (DDS), la variable de altura presentó diferencias significativas en factores y niveles.



H



C

Figura 9. Variedad H1038 (H) y Criolla (C) a 80 DDS



H



C

Figura 10. Variedad H1038 (H) y Criolla (C) a 120 DDS



H



C

Figura 11. Variedad H1038 (H) y Criolla (C) a 180 DDS

Cuadro 6. Evaluación de la altura en dos variedades del cultivo de Jamaica a distinto tiempo, con diferentes factores y niveles.

Factores y niveles	Altura cm							
	80 DDS		120 DDS		160 DDS		180 DDS	
	H1038	Criolla	H1038	Criolla	H1038	Criolla	H1038	Criolla
Suelo (S)								
S. regado con agua limpia	35.55 b	38.84 ^{NS}	65.14 b	73.26 b	112.96 b	106.37 b	130.72 b	110.97 b
S. regado con agua residual	43.74 a	38.86	76.81 a	82.14 a	134.02 a	124.63 a	147.71 a	129.41 a
Materia Orgánica								
0 g	36.94 ^{NS}	34.39 b	68.30 ^{NS}	72.30 b	123.35 ^{NS}	113.33 ^{NS}	139.11 ^{NS}	119.17 ^{NS}
24.05 g	40.26	36.48 b	71.44	73.92 ab	124.69	109.26	148.88	112.73
48.08 g	40.64	41.74 a	72.77	82.30 a	121.58	121.86	131.38	127.28
72.05 g	40.74	42.79 a	71.38	82.30 a	124.32	117.54	137.5	121.57
Cepa bacteriana								
Sin cepa	37.06 b	40.48 ^{NS}	66.88 ^{NS}	74.74 ^{NS}	96.42 b	96.42 b	126.08 b	98.13 b
Con A9m	40.15 ab	36.84	73.01	78.48	124.85 a	124.85 a	148.32 a	130.98 a
Con A7	41.72 a	39.23	73.04	79.89	125.23 a	125.23 a	143.25 a	131.46 a

NS= No significativo. Medias con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Como se observa en el cuadro 6, el análisis mostró diferencias significativas en la altura de la planta en los niveles evaluados del factor suelo en las dos variedades. Se observó un altura significativamente mayor ($p \leq 0.05$) en el suelo regado con agua residual a la presentada por el suelo regado con agua limpia, excepto en la variedad Criolla a los 80 DDS donde no se visualizó diferencias claras.

Para los niveles evaluados del factor materia orgánica, solo se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la altura de las plantas de variedad Criolla, a los 80 DDS y 120 DDS. Las dosis con mejores efectos en la altura fueron 48.08 g y 72.05 g de materia orgánica a la presentada con 0 g y 25 g de materia orgánica.

En los días finales del experimento (160 y 180 DDS) el efecto del factor cepa bacteriana sobre la altura de las plantas fue significativamente más alto con inoculación de cepa ($p \leq 0.05$) que en las plantas sin inoculación. No obstante a los 80 DDS se observaron

diferencias significativas solo en la variedad H1038. Los valores numéricos más altos se presentaron en la cepa A7 en relación a la A9m.

5.2.3 Número de hojas

En las plantas la fotosíntesis tiene lugar en los tejidos fotosintéticos, presentes en su mayor parte en las hojas, que son órganos especializados en la fotosíntesis (Azcón y Talón, 2013). Un incremento en número de hojas influye en la velocidad de crecimiento y tamaño final de la planta (Barraza *et al.*, 2004).

La medición realizada en los niveles del factor suelo permitió ver que el suelo regado con agua residual presentó un número de hojas significativamente mayor ($p \leq 0.05$), al observado en el suelo regado con agua limpia, en todos los tiempos evaluados para ambas variedades.

Cuadro 7. Evaluación del incremento en número de hojas en dos variedades del cultivo de Jamaica a distinto tiempo, con diferentes factores y niveles.

Factores y niveles	Número de hojas							
	número							
	80 DDS		120 DDS		160 DDS		180 DDS	
Suelo (S)	H1038	Criolla	H1038	Criolla	H1038	Criolla	H1038	Criolla
S. regado con agua limpia	12.64 b	13.44 b	14.06 b	27.89 b	40.00 b	41.56 b	41.25 b	45.31 b
S. regado con agua residual	17.14 a	17.86 a	16.36 a	34.58 a	49.11 a	56.08 a	49.83 a	59.47 a
Materia Orgánica								
0 g	14.44 ^{NS}	12.50 c	14.89 ^{NS}	30.33 ^{NS}	42.83 ^{NS}	49.00 ^{NS}	46.00 ^{NS}	53.83 ^{NS}
24.05 g	14.00	14.06 bc	14.89	29.28	45.61	47.44	48.50	50.28
48.08 g	14.33	18.11 a	14.89	33.17	44.67	51.72	42.44	54.61
72.05 g	16.78	17.94 ab	16.17	32.17	45.11	47.11	45.22	50.83
Cepa bacteriana								
Sin cepa	14.25 ^{NS}	16.50 ^{NS}	15.08 ^{NS}	28.33 b	38.38 b	37.71 b	40.00 b	37.79 b
Con A9m	15.42	16.08	15.29	33.42 a	47.92 a	55.79 a	50.08 a	59.21 a
Con A7	15.00	14.38	15.25	31.96 ab	47.38 a	54.88 a	46.54 ab	60.17 a

NS= No significativo. Medias con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Para los niveles del factor materia orgánica, solo se observó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) a los 80 DDS en la variedad Criolla, la dosis 48.08 g y 72.05 g de materia orgánica tuvo mayor efecto sobre el número de hojas a los mostrados por la dosis 0 g de materia orgánica, siendo la dosis 48.08 g numéricamente más alta.

EL número de hojas en los niveles del factor cepa bacteriana se mostró significativamente diferente con inoculación ($p \leq 0.05$) a los 160 y 180 DDS que sin inoculación para ambas variedades, así como a los 120 DDS solo para la variedad Criolla. La cepa que presentó mayor número de hojas fue la A9m.

5.2.4 Diámetro de tallo

Una de las principales funciones del tallo es sostén y de transporte de fotosintatos (carbohidratos y otros compuestos que se producen durante la fotosíntesis) entre las raíces y las hojas (Font, 1982). Por lo que al aumentar su tamaño manifiesta un mayor volumen de agua en sus tejidos, una mayor movilidad de los nutrientes y una actividad fisiológica eficiente (Deaquiz *et al.*, 2008).

Al igual que en la altura de la planta y número de hojas, la variable de diámetro de tallo fue medido en cuatro distintas fechas (80, 120, 160 y 180), con la finalidad de observar el comportamiento de respuesta de la plantas en los diferentes factores.

En el caso del factor suelo, la medición en diferentes fechas permitió observar diferencias entre los distintos niveles. El suelo regado con agua residual presentó diámetro significativamente mayor al de plantas cultivadas en suelo regado con agua limpia ($p \leq 0.05$), con aumentos desde los 5.05 mm hasta los 8.36 mm en variedad H1038 y de 3.78 mm a 7.08 mm en variedad Criolla.

Cuadro 8. Evaluación del incremento en diámetro de tallo en dos variedades del cultivo de Jamaica a distinto tiempo, con diferentes factores y niveles.

Factores y niveles	Diámetro de tallo							
	mm							
	80 DDS		120 DDS		160 DDS		180 DDS	
	H1038	Criolla	H1038	Criolla	H1038	Criolla	H1038	Criolla
Suelo (S)								
S. regado con agua limpia	4.13 b	3.47 b	5.51 b	5.13 b	6.85 b	5.98 b	7.18 b	6.11 b
S. regado con agua residual	5.05 a	3.78 a	7.19 a	5.76 a	8.19 a	6.90 a	8.36 a	7.08 a
Materia Orgánica								
0 g	4.24 b	3.16 b	6.16 ^{NS}	5.08 b	7.39 ^{NS}	6.47 ^{NS}	7.43 ^{NS}	6.61 ^{NS}
24.05 g	4.52 ab	3.34 b	6.06	5.27 ab	7.55	6.21	7.96	6.36
48.08 g	4.54 ab	3.96 a	6.32	5.71 a	7.36	6.68	7.76	6.88
72.05 g	5.04 a	4.03 a	6.86	5.71 a	7.77	6.39	7.94	6.53
Cepa bacteriana								
Sin cepa	4.33 ^{NS}	3.77 ^{NS}	6.08 ^{NS}	5.30 ^{NS}	6.99 b	5.70 b	7.33 b	5.85 b
Con A9m	4.78	3.54	6.52	5.57	7.93 a	6.89 a	8.06 a	7.01 a
Con A7	4.66	3.56	6.45	5.46	7.64 ab	6.73 a	7.93 ab	6.93 a

NS= No significativo. Medias con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Para los niveles del factor materia orgánica solo se obtuvieron diferencias a los 80 DDS en ambas variedades y a los 120 DDS en variedad Criolla. La dosis 72.05 g de materia en la variedad H1038 presentó un diámetro significativamente mayor ($p \leq 0.05$) al de 0 g de materia orgánica. En la variedad criolla la dosis 48.08g y 72.05 g de materia orgánica a los 80 y 120 DDS mostró un diámetro significativamente mayor con respecto a 0 g de materia orgánica ($p \leq 0.05$).

El diámetro de tallo en los niveles del factor cepa bacteriana se mostró significativamente diferente con inoculación ($p \leq 0.05$) a los 160 y 180 DDS que sin inoculación para ambas variedades. Al igual que en el número de hojas, la cepa con valores numéricos más altos fue la cepa A9m en relación a la cepa A7 en ambas variedades.

5.2.5 Contenido de clorofila

El contenido de clorofila en las hojas es un parámetro muy útil para evaluar el estado fisiológico de las plantas (Casierra *et al.*, 2012). Todas las hojas verdes presentan mayor capacidad de absorción en el rango de 400 - 700 nm, en donde sucede la transmisión de electrones entre clorofilas y carotenos (Zhang *et al.*, 2007). El contenido de pigmentos fotosintéticos puede cambiar como respuesta a factores causantes de estrés, a la capacidad fotosintética o al estado de desarrollo de la planta (Ustin *et al.*, 1998). El cuadro 9 muestra las diferencias significativas en las unidades SPAD presentada por la planta en niveles evaluados del factor suelo para ambas variedades. Se observaron aumentos en las unidades SPAD significativamente mayor ($p \leq 0.05$) en suelo regado con agua residual a la presentada por el suelo regado con agua limpia, excepto en la variedad H1038 a los 120 y 160 DDS donde no se visualizaron diferencias.

Cuadro 9. Evaluación del incremento en unidades SPAD en dos variedades del cultivo de Jamaica a distinto tiempo, con diferentes factores y niveles.

Factores y niveles	Contenido de clorofila							
	unidad SPAD							
	80 DDS		120 DDS		160 DDS		180 DDS	
Suelo (S)	H1038	Criolla	H1038	Criolla	H1038	Criolla	H1038	Criolla
S. regado con agua limpia	35.82 b	32.47 b	32.66 ^{NS}	35.11 b	30.51 ^{NS}	36.68 b	27.10 b	32.45 b
S. regado con agua residual	40.49 a	34.57 a	34.14	38.02 a	30.41	43.98 a	29.64 a	41.00 a
Materia Orgánica								
0 g	37.84 ^{NS}	33.94 ^{NS}	32.86 ^{NS}	35.88 ^{NS}	28.87 b	40.51 ^{NS}	28.39 ^{NS}	36.24 ^{NS}
24.05 g	36.94	33.13	33.92	36.04	30.12 ab	39.19	27.24	35.46
48.08 g	38.16	33.28	32.87	37.68	31.71 a	42.54	28.46	38.87
72.05 g	39.68	33.72	33.94	37.14	31.14 ab	39.07	29.39	36.34
Cepa bacteriana								
Sin cepa	36.90 ^{NS}	33.92 ^{NS}	31.07 b	33.86 b	30.05 b	33.74 b	27.70 ^{NS}	30.35 b
Con A9m	39.1	33.44	35.03 a	38.30 a	32.27 a	43.47 a	28.50	39.12 a
Con A7	38.46	33.2	34.10 a	37.53 a	29.06 b	43.78 a	28.91	40.71 a

NS= No significativo. Medias con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Para los niveles del factor materia orgánica, no se encontraron diferencias en las cuatro fechas evaluadas, excepto a los 160 DDS en la variedad H1038. La dosis de 48.08 g de materia orgánica mostró un aumento en las unidades significativamente diferente ($p \leq 0.05$) al de 0 g de materia orgánica.

Como se observa en el cuadro 9, a los 80 DDS no se visualizan diferencias claras. El aumento en las unidades SPAD para el factor cepa bacteriana se mostró significativamente diferente con inoculación ($p \leq 0.05$) a los 120, 160 y 180 DDS para la variedad Criolla y a los 120 y 160 DDS en variedad H1038 a las presentadas sin inoculación. Entre cepas, el efecto de A9m fue numéricamente mejor en comparación con la A7 en la variedad H1038, sin embargo la cepa A9m muestra inferioridad numérica en relación a la A7 en la variedad Criolla.

Variables evaluadas al final de la investigación

5.2.6 Área foliar

El área foliar es un parámetro en la superficie del tejido fotosintetizador, que también determina la cantidad de luz absorbida y convertida en material orgánico de una planta (Valles *et al.*, 2009). Las plantas con mayor superficie en las hojas son capaces de utilizar mejor la energía solar logrando una fotosíntesis más eficaz (Deaquiz *et al.*, 2008)

Los resultados obtenidos de la medición de esta variable, permitieron observar que el factor suelo presentó diferencias entre sus niveles en ambas variedades. Para la variedad H1038 el suelo regado con agua residual mostró una significativamente área foliar mayor con más de 1700 cm² ($p \leq 0.05$), en contraste del suelo regado con agua limpia (1202.28cm²), esto sucedió igual con la variedad Criolla donde su área foliar fue significativamente mayor en suelos regado con agua residual con 1070.95 cm² ($p \leq 0.05$) en relación al área obtenida en suelo regado con agua limpia (758.55).

No se encontraron diferencias significativas en variedades, entre los niveles del factor materia orgánica evaluados para esta variable.

Con relación a los niveles del factor cepa bacteriana, se encontraron diferencias en el área foliar en las dos variedades. Los resultados para la variedad H1038 y Criolla muestran una significativamente mayor área foliar con inoculación de cepa ($p \leq 0.05$) que a la de sin inoculación. Siendo la cepa A9m la que mayores valores presenta para la variedad H1038, a diferencia de la criolla donde numéricamente fue mejor la cepa A7.

Cuadro 10. Área foliar en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.

Factores y niveles	Área foliar cm ²	
	H1038	Criolla
Suelo (S)		
S. regado con agua limpia	1202.28 b	758.55 b
S. regado con agua residual	1741.86 a	1070.95 a
Materia Orgánica		
0 g	1365.17 ^{NS}	914.82 ^{NS}
24.05 g	1671.39	818.78
48.08 g	1329.89	1035.61
72.05 g	1521.83	889.79
Cepa bacteriana		
Sin cepa	1100.58 b	576.22 b
Con A9m	1728.17 a	1075.72 a
Con A7	1587.46 a	1092.30 a

NS= No significativo. Medias con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

5.2.7 Volumen radical

El sistema radical tiene por funciones fijar la planta al suelo, absorción de agua y sales minerales en ella disueltos así como almacenar sustancias nutritivas. Un mayor volumen radicular se asocia a una mayor superficie de absorción de agua y nutrientes, y potencialmente un mayor crecimiento y producción de biomasa total (Quiroz *et al.*, 2014).

Como se puede apreciar en el cuadro 11, el cultivo de plantas en suelo regado con agua residual influyó en el volumen radical. En la variedad H1038 el suelo regado con agua residual presentó un volumen radical significativamente mayor (7.45 cm^3) al presentado en suelo regado con agua limpia ($p \leq 0.05$) con 5.11 cm^3 . Para la variedad Criolla se observó la misma tendencia, el volumen radical fue significativamente más alto ($p \leq 0.05$) con 5.55 cm^3 en suelo regado con agua residual al mostrado por el suelo regado con agua limpia 4.65 cm^3 .

No se observaron diferencias significativas en los niveles del factor materia orgánica para la variedad H1038. Sin embargo, la variedad Criolla presentó significativamente ($p \leq 0.05$) mayor volumen radical (6.05 cm^3) con la dosis de 48.08 g de materia orgánica a lo visto en la dosis 0 g de materia orgánica (4.31 cm^3).

Las plantas inoculadas con cepas bacterianas presentaron un mayor volumen radical que las plantas sin inocular en la variedad Criolla, este efecto se confirmó con diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.05$), se encontraron incrementos en el volumen radical con inoculación de la cepa A7 con respecto a sin cepa, 5.53 cm^3 . La variedad H1038 no presentó diferencias significativas en los tres niveles del factor cepa bacteriana.

Cuadro 11. Volumen radical en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.

Factores y niveles	Volumen radical cm ³	
	H1038	Criolla
Suelo (S)		
S. regado con agua limpia	5.11 b	4.65 b
S. regado con agua residual	7.45 a	5.55 a
Materia Orgánica		
0 g	5.67 ^{NS}	4.31 b
24.05 g	6.59	4.68 ab
48.08 g	5.58	6.05 a
72.05 g	7.27	5.37 ab
Cepa bacteriana		
Sin cepa	5.99 ^{NS}	4.34 b
Con A9m	6.58	5.43 ab
Con A7	6.27	5.53 a

NS= No significativo. Medias con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

5.2.8 Peso de materia fresca de la parte aérea y raíz

Para el peso de materia fresca de la parte aérea (Cuadro 12), el factor suelo presentó una biomasa aérea significativamente mayor en suelo regado con agua residual a la exhibida en suelo regado con agua limpia. La variedad H1038 presentó en suelo con agua residual el mayor peso de materia fresca con 124.46 g ($p \leq 0.05$). Mientras que la variedad Criolla su mayor peso de materia fresca fue 89.82 g. Como se observa la aplicación de dosis de materia orgánica no influyo en el incremento de la biomasa. Sin embargo en el factor cepa bacteriana se observaron aumentos en el peso de materia fresca estadísticamente diferentes. Tanto la variedad H1038 como la Criolla mostraron un incremento significativamente mayor en el peso de materia fresca de la parte aérea con inoculación ($p \leq 0.05$) que sin inoculación. En ambas variedades, numéricamente los mejores valores fueron para la cepa A9m (113.03g y 95.97g).

Cuadro 12. Peso de materia fresca de la parte aérea y raíz en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.

Factores y niveles	Peso materia fresca parte aérea		Peso materia fresca raíz	
	g			
Suelo (S)	H1038	Criolla	H1038	Criolla
S. regado con agua limpia	76.87 b	76.92 b	5.50 b	4.49 b
S. regado con agua residual	124.46 a	89.82 a	7.83 a	5.38 a
Materia Orgánica				
0 g	88.65 ^{NS}	82.06 ^{NS}	5.38 ^{NS}	4.40 ^{NS}
24.05 g	111.98	74.5	6.56	4.75
48.08 g	110.73	93.88	6.97	5.69
72.05 g	91.3	83.04	7.76	4.89
Cepa bacteriana				
Sin cepa	80.40 b	61.02 b	6.73 ^{NS}	4.10 b
Con A9m	113.03 a	95.97 a	7.28	5.37 a
Con A7	108.57 a	93.11 a	5.99	5.34 a

NS= No significativo. Medias con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

Respecto al peso de materia fresca de la raíz se observó un incremento de biomasa radical significativamente mayor en los factores suelo y cepas bacteriana en ambas variedades. Para el factor materia orgánica los datos obtenidos fueron no significativos, por lo que las diferentes dosis de materia orgánica no influyeron en el incremento de biomasa fresca radical. La variedad H1038 en factor suelo presentó una biomasa fresca radical significativamente mayor ($p \leq 0.05$) en suelo regado con agua residual (7.83 g) a la presentada en suelo regado con agua limpia (76.87 g); la variedad Criolla presentó un incremento de biomasa fresca radical significativamente diferente en suelo regado con agua residual (5.38g) a lo presentado en suelo regado con agua limpia (4.49 g). Asimismo en la variedad Criolla se muestra un incremento significativamente mayor ($p \leq 0.05$) en inoculación con cepa bacteriana (5.37 g) a la presentada sin inoculación (4.10 g), siendo la cepa A9m la que presenta mejor incremento.

5.2.9 Peso de materia seca de la parte aérea y raíz

El análisis realizado para el peso de materia seca de la parte aérea indicó diferencias en el factor suelo, con aumento en masa aérea seca significativamente mayor (H1038 15.79 g – Criolla 10.60 g) en suelo regado con agua residual ($p \leq 0.05$) a la exhibida en suelo regado con agua limpia en una y otra variedad. En cuanto al factor materia orgánica no se presentaron diferencias significativas en sus distintos niveles evaluados.

En el factor cepa bacteriana se encontraron diferencias significativas en el incremento de la materia seca aérea en ambas variedades con inoculación ($p \leq 0.05$); la cepa A9m presentó numéricamente mejores valores, en la variedad H1038 (13.83 g) y en variedad Criolla (11.23 g) en comparación a sin inoculación.

Cuadro 13. Peso de materia seca de la parte aérea y raíz en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.

Factores y niveles	Peso de materia seca parte aérea		Peso de materia seca raíz	
	g			
Suelo (S)	H1038	Criolla	H1038	Criolla
S. regado con agua limpia	9.17 b	7.93 b	1.01 b	0.83 b
S. regado con agua residual	15.79 a	10.60 a	2.01 a	1.03 a
Materia Orgánica				
0 g	11.40 ^{NS}	9.40 ^{NS}	1.40 ^{NS}	0.80 b
24.05 g	13.49	8.16	1.40	0.88 ab
48.08 g	13.49	10.29	1.55	1.07 a
72.05 g	11.53	9.21	1.70	0.98 ab
Cepa bacteriana				
Sin cepa	10.06 b	5.90 b	1.64 ^{NS}	0.82 b
Con A9m	13.83 a	11.23 a	1.43	1.03 a
Con A7	13.55 a	10.66 a	1.47	0.95 ab

NS= No significativo. Medias con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

El peso de materia seca de la raíz, fue significativamente mayor en suelo regado con agua residual ($p \leq 0.05$), en la variedad H1038 (2.01 g) y en Criolla (1.03 g) a lo reportado en suelo regado con agua limpia respectivamente. Los niveles del factor materia orgánica solo mostraron diferencias en variedad criolla, el incremento significativamente mayor de materia seca de la raíz ($p \leq 0.05$) se observó con la dosis 48.08 g de materia orgánica

con (1.07 g), a la expuesta sin materia orgánica. La inoculación de cepas bacterianas proyectó valores significativamente mayores ($p \leq 0.05$) en variedad Criolla (1.03 g) en la cepa A9m a lo obtenido sin inoculación.

5.2.10 Número de cáliz por planta

El análisis indica que no hubo diferencias significativas en el número de cáliz por planta por efecto de los factores estudiados, excepto para el factor cepa bacteriana en la variedad Criolla. Se encontraron diferencias significativas en el número de cáliz ($p \leq 0.05$) con inoculación de la cepa A9m (17.96 cálices) y A7 (17.92 cálices) a lo mostrado sin inoculación (7.67 cálices).

Cuadro 14. Número de cálices en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.

Factores y niveles	Número de cáliz número	
	H1038	Criolla
Suelo (S)		
S. regado con agua limpia	3.61 ^{NS}	13.28 ^{NS}
S. regado con agua residual	4.14	15.75
Materia Orgánica		
0 g	4.17 ^{NS}	15.06 ^{NS}
24.05 g	4.44	12.94
48.08 g	3.11	15.44
72.05 g	3.78	14.61
Cepa bacteriana		
Sin cepa	3.21 ^{NS}	7.67 b
Con A9m	4.08	17.96 a
Con A7	4.33	17.92 a

NS= No significativo. Medias con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

5.2.11 Peso de materia fresca y seca del cáliz

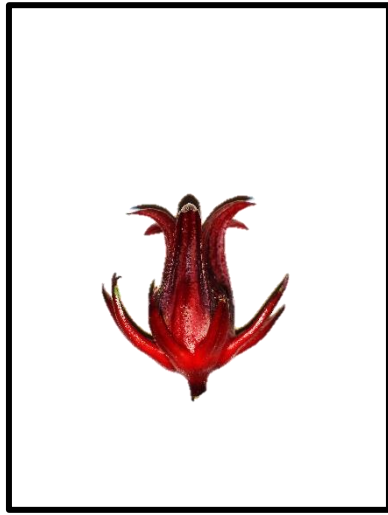
El peso de materia fresca y seca del cáliz mostró diferencias significativas por efecto del factor suelo y cepa bacteriana en las dos variedades estudiadas. Respecto a la variedad H1038 el peso de materia fresca (40.10 g) y seca (13.79 g) del cáliz fue significativamente

más alto en suelo regado con agua residual ($p \leq 0.05$) que con suelo regado con agua limpia; de igual manera el efecto mostrado por el factor cepa bacteriana mostró aumentos significativamente mejores en el peso de materia fresca (42.83 g) y seca (14.75 g) del cáliz con inoculación a lo presentado sin inoculación, la cepa A9m fue numéricamente mejor en comparación con la cepa A7 tanto en peso de materia fresca como en peso de materia seca. En la variedad Criolla el peso de materia fresca (26.65 g) y seca (4.57 g) del cáliz fue significativamente mayor en suelo regado con agua residual ($p \leq 0.05$) al mostrado por el suelo regado con agua limpia; asimismo el efecto por el factor cepa bacteriana mostro incrementos significativos en la materia fresca (30.38 g) y seca (4.98g) de los cálices con inoculación que en los valores sin inoculación, la cepa A7 fue numéricamente mayor en relación a la cepa A9m en ambos resultados.

Cuadro 15. Peso de materia fresca y seca del cáliz en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.

Factores y niveles	Peso de materia fresca cáliz		Peso de materia seca cáliz	
	g			
Suelo (S)	H1038	Criolla	H1038	Criolla
S. regado con agua limpia	26.99 b	18.73 b	8.74 b	2.91 b
S. regado con agua residual	40.10 a	26.65a	13.79 a	4.57 a
Materia Orgánica				
0 g	29.62 ^{NS}	27.81 ^{NS}	10.24 ^{NS}	5.02 ^{NS}
24.05 g	39.15	20.17	12.84	3.26
48.08 g	31.01	24.95	10.48	3.69
72.05 g	34.41	17.84	11.52	2.99
Cepa bacteriana				
Sin cepa	19.73 b	9.30 b	6.06 b	1.54 b
Con A9m	42.83 a	28.39 a	14.75 a	4.69 a
Con A7	38.08 a	30.38 a	12.99 a	4.98 a

NS= No significativo. Medias con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).



a



b



c

Figura 12. Cáliz en variedad H1038 a 180 DDS. (a: suelo limpio sin inoculación, b: suelo regado con agua residual y c: inoculado con cepa bacteriana)

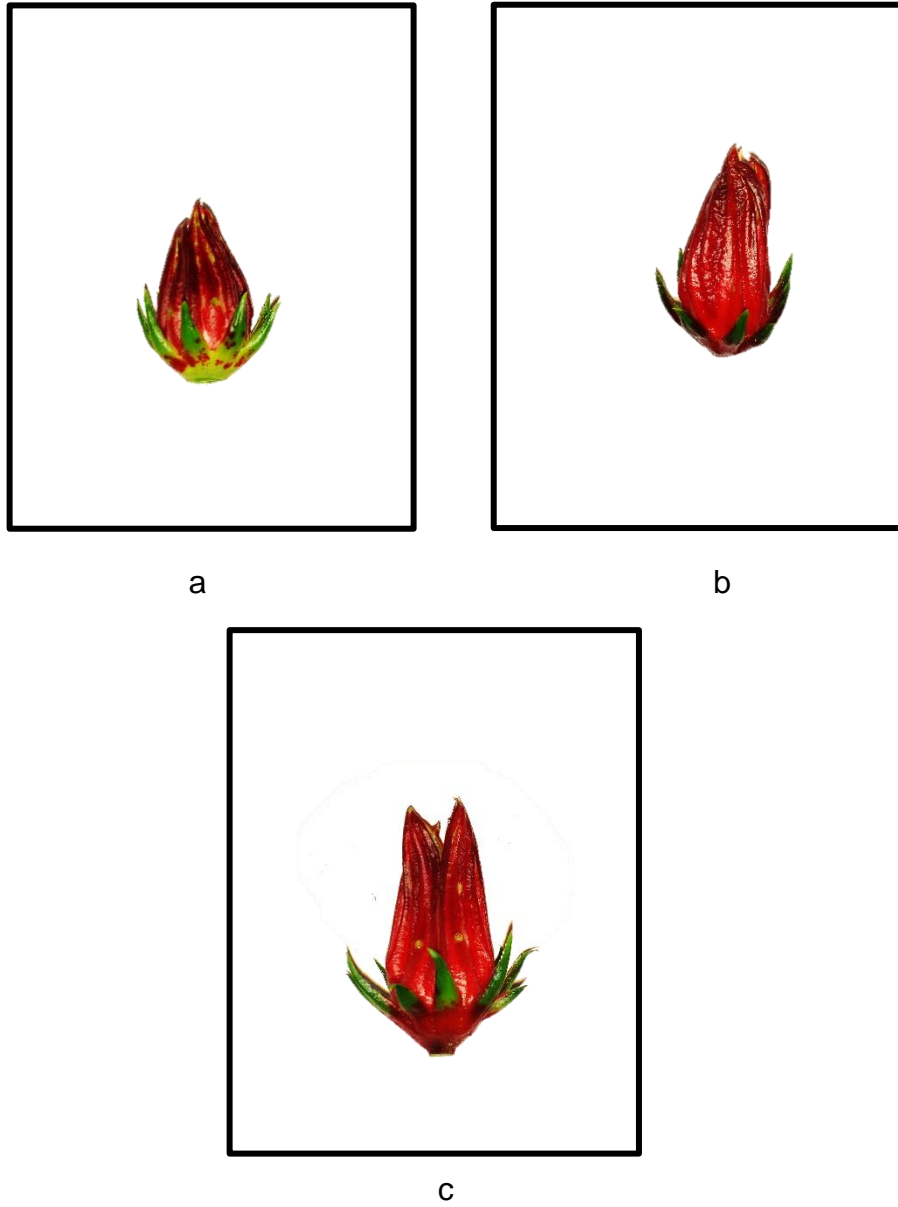


Figura 13. Cáliz en variedad criolla a 180 DDS. (a: suelo limpio y sin inoculación, b: suelo regado con agua residual y c: inoculado con cepa bacteriana)

5.2.12 Días a floración

En referencia a los datos obtenidos (Cuadro 16), los días a floración mostraron diferencias significativas en el factor suelo en las dos variedades y en factor cepa bacteriana para la variedad Criolla. La variedad H1038 presentó diferencias significativas en mayor número de días a floración ($p \leq 0.05$) en suelo con agua limpia (163.22 días) a la presentada en suelo regado con agua residual (158 días), similar a lo ocurrido con la variedad Criolla con diferencias significativas en el aumento en el número de días a floración en suelo regado con agua limpia (173.72 días) a lo mostrado por el suelo regado con agua residual (168.11 días). En el factor cepa bacteriana para la variedad Criolla, se presentaron número de días a floración (177.08 días) significativamente mayor ($p \leq 0.05$) sin inoculación en contraste con inoculación con cepa A9m (168.58 días) y cepa A7 (167.08 días). Cabe señalar que a mayor número de días a floración la cosecha se prolonga, por consiguiente los mejores resultados se limitan al menor número de días a floración.

Cuadro 16. Días a floración en dos variedades del cultivo de Jamaica con diferentes factores y niveles.

Factores y niveles	Días a floración	
	número	
Suelo (S)	H1038	Criolla
S. regado con agua limpia	163.22 a	173.72 a
S. regado con agua residual	158.00 b	168.11 b
Materia Orgánica		
0 g	161.70 ^{NS}	170.61 ^{NS}
24.05 g	161.06	170.33
48.08 g	160.11	170.72
72.05 g	159.50	172.00
Cepa bacteriana		
Sin cepa	161.08 ^{NS}	177.08 a
Con A9m	160.21	168.58 b
Con A7	160.54	167.08 b

NS= No significativo. Medias con igual letra en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).



Figura 14. Flor de variedad H1038



Figura 15. Flor de variedad Criolla

VI. DISCUSIÓN

6.1 Caracterización del suelo

La mayor concentración de nitrógeno se ubicó en capas superiores (0 a 5 cm - 5 a 10 cm), con ligero aumento en suelos regados con aguas residuales debido al aporte de materia orgánica (Ramón *et al.*, 2009), asimismo el contenido de fósforo disponible presentó concentraciones medias y el contenido de potasio mostró niveles altos, esto de acuerdo a la norma NOM-021-RECNAT-2000. Los niveles de cromo, cadmio, y plomo estaban por debajo de la concentración límite para considerarlos como contaminantes.

6.2 Variables evaluadas

6.2.1 Factor suelo

El análisis indica que hubo diferencias significativas en todas las variables agronómicas evaluadas ($p \leq 0.05$) en los niveles estudiados del factor suelo en ambas variedades. Solo en porcentaje de emergencia no se visualizaron diferencias significativas (Cuadro 5).

Este resultado se ve reflejado por la diferencia en la concentración de elementos como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio en ambos suelos, debido a que suelos regados con aguas residuales incrementan el contenido de nutrientes y materia orgánica, favoreciendo el desarrollo del cultivo y mejoramiento del suelo (Veliz, 2009).

Resultados similares se observaron en cultivo de alfalfa que presentó un incremento en el valor nutritivo y producción de la planta, determinando que la incorporación de aguas residuales al suelo supera los valores, en comparación con suelo regado con aguas limpias (Plevich *et al.*, 2012).

No obstante para el número de cáliz no hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en ninguna variedad (Cuadro 14). Esto se explica por la morfología de la planta, debido a que la transición de la floración a la fructificación es gradual, porque la antesis de las flores jóvenes continúa después de que las flores viejas ya han formado las cápsulas (Acosta, 1999), además la inducción floral ocurre cuando los días tienden a ser más cortos (Arbex *et al.*, 2004). Sin embargo un incremento en elementos como nitrógeno, fósforo y potasio repercute en una respuesta positiva de la planta en variables como peso de materia fresca y seca del cáliz (El-Sherif y Sarwat, 2007; Haruna *et al.*, 2009) (Cuadro 15).

6.2.3 Factor materia orgánica.

Se encontró efecto significativo de los niveles del factor materia orgánica sobre el porcentaje de emergencia ($p \leq 0.05$). La dosis con 48.08 g de materia orgánica mostró mayor efecto positivo en el porcentaje de emergencia para la variedad H1038, mientras que la dosis con 72.05 g de materia orgánica indicó mayor impacto efectivo en la variedad Criolla (Figura 8). Este resultado indica que la adición de materia orgánica a los medios de cultivo mejora consistentemente el porcentaje de emergencia de las plántulas (Domínguez *et al.*, 2010; Atiyeh *et al.*, 2002).

Para el final del experimento a los 180 días después de la siembra en los niveles estudiados del factor materia orgánica no se encontraron diferencias significativas en ningún de las características agronómicas ($p \leq 0.05$), excepto para las variables peso de materia seca de raíz y volumen radical en la variedad Criolla, la dosis de 48.08 g de materia orgánica mostró mayor efecto. Destacando que la distribución en profundidad de la materia orgánica y las raíces, siguen la misma tendencia. Estos resultados difieren con lo obtenido por Haruna *et al.*, (2011) en el efecto producido en el cultivo de Jamaica en campo, por la incorporación de estiércol de ave como materia orgánica, y a lo reportado por Anyinkeng y Mih, en 2011.

No obstante se encontraron diferencias significativas en variables de crecimiento a los 80 días después de la siembra ($p \leq 0.05$). Para la variedad H1038 solo se mostró aumento positivo del diámetro del tallo en dosis de materia orgánica de 48.08 g y 72.05g (Cuadro 8). En variedad Criolla la dosis de 48.08 g expresó mayor efecto en la altura, número de hojas y diámetro del tallo de la planta. Esto puede indicar que variedades mejoradas a diferencia de la Criolla, presentan alto potencial de desarrollo en la fase vegetativa y mayor tolerancia a estrés biológico, (SAGARPA, 2015; Villatoro *et al.*, 2009), incluso en suelos pobres.

Finalmente, el comportamiento de las plantas observado en el factor materia orgánica probablemente se ve reflejado por la mineralización existente en el suelo, que puede contener hasta un 45% de minerales (Labrador, 2001), influido por el clima y la mineralogía de las arcillas (Vogt *et al.*, 1995; Geissen y Brümer, 1999) y por la fase vegetativa del género *Hibiscus*, en la cual la cantidad de minerales y agua absorbidos es mayor, durante las primeras semanas de crecimiento la planta absorbe casi todo el nitrógeno, fósforo y potasio necesario para el resto del periodo de crecimiento, por lo que una mezcla de materia orgánica y suelo semanas antes de la siembra, podría incrementar el aprovechamiento de los nutrientes que proporciona el componente orgánico.

6.2.2 Factor cepa bacteriana.

Los resultados muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las características agronómicas evaluadas en las plantas de Jamaica inoculadas con cepas bacterianas que en las plantas no inoculadas, excepto para las variables de volumen radical, peso de materia fresca y seca de raíz, número de cáliz, días a floración y contenido de clorofila en la variedad H1038 y en porcentaje de emergencia en ambas variedades (Cuadro 5).

En la variedad Criolla el efecto de la cepa A7 fue numéricamente mejor en ocho características agronómicas evaluadas en comparación con las siete características donde la cepa A9m fue superior. Por otra parte se encontraron valores más altos en

nueve características agronómicas en la cepa A9m comparando con la cepa A7 en la variedad H1038. Hassan en 2009 utilizó *A. lipoferum*, *Bacillus polymyxa* y *P. fluorescens*, obteniendo que la inoculación de bacterias por separado o combinado con fertilizantes químicos mejoran significativamente los caracteres de crecimiento y aumento del producto cáliz del cultivo de Jamaica en comparación con el testigo. Por otra parte las cepas A7 y A9m utilizadas en cultivo de tomate lograron producir hasta 45% más que las plantas sin inocular, asimismo estas plantas también fueron las de mayor altura (Carrillo *et al.*, 2000).

Con respecto a las variables volumen radical y peso de materia seca y fresca de raíz en la variedad H1038 no hubo diferencia significativa entre la inoculación y no inoculación, probablemente debido a que las cepas solo actuaron en interacción planta-microorganismo solubilizando minerales aprovechables para la planta y no como fitoestimuladoras que incrementan el número de pelos radicales y raíces laterales (Hernandez *et al.*, 2010).

Asimismo la diferencia en el contenido de clorofila entre ambas variedades estuvo marcado por la madurez fisiológica de planta, cuando las hojas basales tienden a cambiar el color y comienzan a secarse, sucediendo después de la floración; su periodo de cosecha de la variedad H1038 es de 120-180 días en contraste de la Criolla de 160-180 días (Ariza, 2014), por lo que se observa mayor deficiencia de nutrientes en hojas de la variedad H1038 en todos los tratamientos.

En relación al número de cáliz y días a floración, no se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Esto se explica por los factores que pueden afectar el desempeño y efectividad de la inoculación, entre los más destacados se encuentran la competencia con los microorganismos nativos, características físicas y químicas del suelo, genotipo y edad de la planta a inocular, tipo de exudados radicales y manejo agrícola (Castro *et al.*, 2007).

Pese a que existen enormes vacíos de información sobre la evolución de los cálices durante su fructificación (Ramírez *et al.*, 2011), es necesario generar información sobre las características agrícolas de interés.

VII. CONCLUSIONES

Las plantas cultivadas en suelos que fueron irrigados con aguas residuales llegaron a cubrir los requerimientos nutricionales en las dos variedades de Jamaica, reflejado en las variables de crecimiento, llegando a ser una opción alternativa a la fertilización convencional para el agricultor.

La vermicomposta aumentó el porcentaje de emergencia de cada variedad estudiada, además incrementó el volumen radical de la variedad Criolla al final del experimento, así como también la altura, número de hojas y diámetro del tallo durante las primeras semanas de crecimiento.

La inoculación de cepas bacterianas (A9m y A7) presentó efectos favorables en la estimulación del crecimiento de la planta. Sin embargo se sugiere la utilización de consorcios microbianos que actúen conjuntamente en el sistema del cultivo, teniendo un flujo de nutrientes más eficiente y efectivo en el crecimiento de la planta.

La variedad Criolla tuvo mejor respuesta en sus características agronómicas entre los niveles de los factores evaluados, a pesar de que numéricamente la variedad H1038 obtuvo valores más altos en las variables con diferencias significativas.

VIII. RECOMENDACIONES

Concluida la tesis, se considera investigar sobre otros aspectos relacionados con la producción del cultivo de Jamaica, por lo que se propone:

- Evaluar diferentes géneros bacterianos capaces de promover el crecimiento vegetal, con la finalidad de observar cuales son los que mejores resultados proyectan en el desarrollo del cultivo de Jamaica, teniendo así la posibilidad de utilizar consorcios que beneficien completamente a la planta.
- Realizar investigaciones para conocer el periodo recomendable de la incorporación de materia orgánica para aumentar el vigor del cultivo de Jamaica.
- Valorar los riesgos fitosanitarios en la utilización de suelos que han sido regados con aguas residuales para el cultivo de Jamaica.
- Realizar evaluaciones en la calidad del producto en los factores con resultados sobresalientes.

IX. LITERATURA CITADA

- Acosta, A. G. 1999. Aspectos generales del kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), en Cuba. Temas de Ciencia y Tecnología 7: 3-31.
- Acosta, D. C., B. N. Vázquez, T. V. Villegas, L. B. Vence y P. D. Acosta. 2014. Vermicomposta como componente de sustrato en el cultivo de *Ageratum houstonianum* Mill. y *Petunia hybrida* E. Vilm. en contenedor. Revista Bioagro 26(2): 107-114.
- Ahmad, J., B. Boggess and J. Tousa. 2006. The role of *Drosophila* ninaG oxidoreductase in visual pigment chromophore biogenesis. The Journal of Biological Chemistry 281: 9205-9209.
- Aira, M. y J. Domínguez. 2010. Las lombrices de tierra y los microorganismos: desentrañando la caja negra del vermicompostaje. Acta zoológica mexicana 2: 385-395.
- Akanbi, W. B., A. B. Olaniyan, A. O. Togun, A. E. O. Hupeju and O. A. Alaniran. 2009. The effects of organic fertilizer on growth, calyx yield and quality of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture. 3: 652-657.
- Anyinkeng, N and A. Mih. 2011. Soil nutrient supplementation on growth and biomass production of Roselle under tropical conditions. Agriculture and Biology Journal of North America 2(4): 603-609.
- Arbex, C. N. E., P. J. E. B. Pereira, C. M. Graças, M. A. Ramalho, S. K. V. Bertolucci, S. F. Guimarães and F. N. Delú. 2004. Planting time for maximization of yield of vinegar plant calyx (*Hibiscus sabdariffa* L.). Ciência e Agrotecnología 38(3): 542—551.
- Ariza, R., V. Serrano, S. Navarro, M. E. Ovando, E. Vázquez, A. Barrios y A. Michel. 2014. Variedades mexicanas de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa*) “Alma Blanca” y “Rosaliz” de color claro, y “Cotzaltzin” y Tecoanapa” de color rojo. Revista Fitotecnia Mexicana 37 (2): 181–185.
- Armenta, B. A. D., G. C. García, B. J. R. Camacho, S. M. A. Apodaca, L. G. Montoya y P. E. Nava. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. Ra-Ximhai 6: 51- 56.
- Atiyeh, R. M., S. Lee, C. A. Edwards, N. Q. Arancon and J. D. Metzger. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. Bioresource Technology 84: 7-14.
- Atlas, R. and R. Bartha. 2002. Microbial ecology: fundamentals and applications. 3rd edición. California, USA.
- Azcón, J. y M. Talón. 2013. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill-Interamericana de España, S.L. 2da Edición. Barcelona, España.

- Baca, B. and C. Elmerich. 2007. Microbial production of plant hormones. En: Elmerich C, Newton We, Editores. Associative and endophytic nitrogen-fixing bacteria and cyanobacterial associations. Dordrecht, netherlands: Kluwer Academic Publishers: 113-143.
- Baldani. V., B. Álvarez and J. Döbereiner. 2005. Establishment of inoculated *Azospirillum* sp.in the rhizosphere and in roots of field grown wheat and sorghum. Plant and Soil 90: 35-46.
- Barraza, F., G. Fischer y C. Cardona. 2004. Estudio del proceso de crecimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el valle de Sinú medio. Agronomía Colombiana. 22(1): 81-90.
- Bashan, Y. and G. Holguin. 1995. Inter-root movement of *Azospirillum brasilense* and subsequent root colonization of crop and weed seedlings growing in soil. Microbial Ecology 29: 269-281.
- Beneduzi, A., A. Ambrosini and M. P. Passaglia. 2012. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents. Genetics and Molecular Biology 35: 1044-51.
- Benjamin, C., R. Bhattacharjee and S. Mukhopadhyay. 2008. Use of nitrogen-fixing bacteria as biofertiliser for non-legumes: prospects and challenges. Applied Microbiology and Biotechnology 80: 199-209.
- Bronick, C. J. and R. Lal. 2004. Soil structure and management: a review. Geoderma. XX: 1-20.
- Caballero, T., M. Camelo, R. Bonilla y M. Martínez. 2007. Determinación de actividad fosfato solubilizadora por bacterias aisladas a partir de suelos aldoneros en los departamentos del cesar y meta. Suelos ecuatorianos 37: 94-100.
- Camacho, B., E. Nava, H. R. Roblero, W. Valenzuela y G. Rodríguez. 2014. Evaluación de cinco dosis de vermicomposta en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) en Sinaloa, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 8: 1495-1500.
- Carrillo, G., J. Juárez, D. Ruiz y R. Müller. 2000. Aumento del rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cuando la raíz se desarrolla colonizada por microorganismos. Biotecnología Aplicada 17(3): 171-176.
- Casierra, F., O. Ávila y D. Riascos. 2012. Cambios diarios del contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra. Temas agrarios. 33(1): 60-71.
- Castro, S., Y. Herschkovitz, Y. Okony and E. Jurkevitch. 2007. Effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria on resident rhizosphere microorganisms. FEMS Microbiology Letters 276: 1-11.

- Cruz, E., R. Osorio, E. Martinez, J. Lozano del Rio, A. Gomez y R. Sanchez. 2010. Uso de compostas y vermicompostas para la producción de tomate orgánico en invernadero. *Interciencia*. 35(5): 363-368.
- Cruz, E., M. T. Sumaya, A. Can, J. Pineda, R. Bugarín and G. Aguilar. 2015. Quality, bioactive compounds, and antioxidant activity of serrano chili peppers cultivated in volcanic rock-vermicompost and nutrient solutions. *Agricultural science and research* 42(3), 375-384.
- Cruz, M., J. M. Álvarez, M. Soria y B. Candelaria. 2016. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 25 (1): 44-49.
- D'Heureux, F. and N. Badrie. 2004 Consumers acceptance and physicochemical quality of processed red sorrel/Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) sauces from enzymatic extracted calyces. *Food Service Technology* 4: 141-148.
- De la Cruz, E., M. A. Estrada, V. Robledo, R. Osorio, C. Márquez y R. Sánchez. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y ciencia* 25(1): 59-67.
- Deaquiz, Y., J. Álvarez y A. Fraile. 2008. Efecto de diferentes láminas de riego y sustratos en la propagación de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 2(1): 54-65.
- Deslippe, R.J. and N. K. Egger. 2006. Molecular diversity of *nifH* genes from bacteria associated with high arctic Dwarf Shrubs. *Microbial Ecology* 51: 516-525.
- Domínguez, J., C. Lazcano y M. Gómez. 2010. Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aporte para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana* 26 (2): 359-371.
- Duran, L. y C. Henríquez. 2010. El vermicompost: su efecto en algunas propiedades del suelo y la respuesta en la planta. *Agronomía Mesoamericana* 21(1): 85-93.
- El Afri, M. M. F. and S. Prinz. 1979. Morphological studies on roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *sabdariffae*) *Tropelandwirt* (Germany F.) 80: 11.
- El-Sherif, M. H. and M. I. Sarwat. 2007. Physiological and chemical variations in producing roselle plant (*Hibiscus sabdariffa* L.) by using some organic farmyard manure. *World Journal of Agricultural Sciences* 3(5): 609-616.
- Fallik, E. and Y. Okon. 1991. Inoculants of *Azospirillum brasilense*: Biomass production, survival and growth promotion of *Setaria italica* and *Zea mays*. *Soil Biology and Biochemistry* 28: 123-126.

- Font, P. 1982. Diccionario de Botánica. 8ª reimpression. Barcelona: Editorial Labor, S. A. ISBN 84-335-5804-8.
- Galicia, L. A., Y. Salinas, B. M. Espinoza y C. Sánchez. 2008. Caracterización fisicoquímica y actividad antioxidante de extractos de Jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.) nacional e importada. Revista Chapingo Serie Horticultura 14(2): 121-129.
- Galindo, F. V., H. M. Fortis, R. P. Preciado, V. R. Trejo, C. M. A. Segura y V. J. A. Orozco. 2014. Caracterización físico-química de sustratos orgánicos para producción de pepino (*Cucumis sativus* L.) bajo sistema protegido. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(7): 1219-1232.
- Garcia, L., R. Hynes and L. Nelson. 2005. Role of cytokinins in plant growth promotion by rhizosphere bacteria. in: siddiqui ZA, editor. PGPr: biocontrol and biofertilization. Dordrecht, springer: 173-195.
- García, P. R. E. 2011. La lombriz de tierra como una biotecnología en agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo, ISBN-978-968-02-0299-7, 177 P, Texcoco, Estado de México, México.
- Gardezi, A., E. Ojeda, H. Gardezi y S. R. Márquez. 2008. Respuesta a la inoculación de *Glomus intraradix*, materia orgánica y dosis de fertilización fosfatada en el crecimiento de mezquite (*Prosopis* sp.). Agroproductividad 1(1): 24-28.
- Geissen, V. and G. W. Brümer. 1999. Decomposition rates and feeding activities of soil fauna in deciduos forest soils in relation to soil chemical parameters following liming and fertilization. Biology and Fertility of Soils 29: 335-342.
- Ghosh, M., G. N. Chattopadhyay and K. Baral. 1999. Transformation of phosphorus during vermicomposting. Bioresource Technology 69: 149-154.
- Gil, H. A., J. M. Cisneros, J. D. de Prada, J. O. Plevechi y A. R. Sanchez. 2013. Tecnologías verdes para el aprovechamiento de aguas residuales urbanas: análisis económico. Revista Ambiente y Agua 8 (3): 118-128.
- Gregory, P. and J. Roots. 2006. Rhizosphere and soil: the route to a better understanding of soil science. European Journal of Soil Science 57: 2-20 growth stimulators and their practical use: a review. Applied Biochemistry and Microbiology 42:117-126.
- Gupta, A., K. Gopal and R. Tikal. 2000. Mechanism of plant growth promotion by rhizobacteria. Indian Journal Experimental Biology 38: 856-862.
- Gurdián, R. y J. Coto. 2011. Estudio preliminar del uso de la semilla de tamarindo (*Tamarindus indica*) en la coagulación-floculación de aguas residuales. Tecnología en Marcha 24: 18-26.

- Haruna, I. M., S. M. Maunde and S. Yahuza. 2011. Growth and yield of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as affected by poultry manure and nitrogen fertilizer rates in the Northern guinea Savanna of Nigeria. *Canadian Journal of Pure and Applied Sciences* 5 (1): 1345-1348.
- Haruna, I. M., H. Ibrahim and S. A. Rahman. 2009. The yield and profitability of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) at varying poultry manure and nitrogen fertilizer rates in the Southern Guinea Savanna of Nigeria. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 8(11): 1136-1139.
- Hassan, F. A. 2009. Response of *Hibiscus sabdariffa* L. plant to some biofertilization treatments. *Annals of Agricultural Science* 54 (2): 437-446.
- Henson, R. N. 2004. Neuroimaging studies of priming. *Progress in Neurobiology* 70: 53-81.
- Hernández, A., M. Heydrich, B. Diallo, M. Jaziri and M. Vandaputte. 2010. Cell-free culture medium of *Burkholderia cepacia* improves seed germination and seedling growth in maize (*Zea mays*) and rice (*Oryza sativa*). *Plant Growth Regulation* 60: 191-197.
- Hidalgo, S. G., W. A. L. Cifuentes, H. Ruano y L. E. Cano. 2009. Caracterización de trece genotipos de rosa de Jamaica *Hibiscus sabdariffa* en Guatemala. *Agronomía Mesoamericana* 20(1): 101-109.
- Hill, S. 1992. Physiology of nitrogen fixation in free-living heterotrophs. pp. 87-134. *In: Stacey, G., R.H. Burris y H.J. Evans (eds.). Biological nitrogen fixation.* Chapman and Hall. New York.
- Hirunpanich, V., A. Utaipat, N. P. Morales, N. Bunyaphatsaea, H. Sato, A. Herunsalee and C. Suthinsisang. 2005. Antioxidant effect of aqueous extracts from dried calyx of *Hibiscus sabdariffa* Linn. (Roselle) in vitro using rat lowdensity lipoprotein (LDL). *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 28: 481-484.
- Izquierdo, J. and Nusslein, K. 2006. Distribution of extensive *nifH* gene diversity across physical soil microenvironments. *Microbial Ecology* 51: 441-452.
- Jayanta, S., K. Chanchal, G. Arup and A. Saha. 2009. Efficacy of vermicomposta against fertilizer on cicer and psium and on population diversity on N₂ fixing bacteria. *Journal of Environmental Biology* 31: 287-292.
- Jiménez, C., C. Siebe y E. Cifuentes. 2005. El reúso intencional y no intencional del agua en el valle de Tula. pp. 33-55. *In: El agua en México vista desde la academia.* Jiménez, B.; Marín, L. (eds.). Ed. Academia Mexicana de Ciencias. México D.F., México.
- Jiménez, J., Y. I. Maldonado, X. N. Hernández, A. I. López y J. I. Castro. 2014. Elaboración y caracterización de vermicomposta. *Foro de Estudios sobre Guerrero* 1-2: 368-371.

- Jiménez, R., G. Virgen, S. Tabares y V. Olade. 2001. Bacterias Promotoras del Crecimiento de plantas. *Agro-biotecnología. Avance y perspectiva* 20: 305-400.
- Kalantari, S., S. Hatami, M. Ardalan, H. Alikhani and M. Shorafa. 2010. The effect of compost and vermicomposta of yard leaf manure on growth of corn. *African Journal of Agricultural Research* 5(11): 1317-1323.
- Labrador, M. 2001. La materia orgánica en los agroecosistemas. Ediciones mundi-prensa. Pp. 152-160.
- Landa, B., O. Marvrodi, M. Raaijmakers, B. Spadden, L. Thomashow and D. Weller. 2002. Differential ability of genotypes of 2,4-diacetylphloroglucinol producing *Pseudomonas fluorescens* strain to colonize the roots of pea plants. *Applied and Environmental Microbiology* 68: 3226- 3237.
- Lara, J. y A. Hernandez. 2003. Reutilización de aguas residuales: aprovechamiento de los nutrientes en riego agrícola. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales. Universidad del valle/Instituto Cinara: 237-242.
- Mahadevan, N., K. P. Shivali and P. Kamboj. 2009. *Hibiscus sabdariffa* Linn: an overview. *Natural Product Radiance* 8(1): 77-83.
- Mccaleb, R. 1996. Manual de la producción de Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). Herb Research Foundation, USA.
- Mercado, I., A. Arango y J. Ríos. 2010. Reactor de electrocoagulación versus reactor fisicoquímico. Estudio comparativo para eliminar el níquel de las aguas residuales. *Tecnología del Agua* 322: 50-52.
- Mogollón, J. P., A. E. Martínez y D. Gilberto. 2015. Efecto de la aplicación de un vermicompost en las propiedades químicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. *Acta Agronómica* 64 (4): 315-320.
- Morales, M. 2007. Los biofertilizantes. Una alternativa productiva, económica y sustentable. *Estudios agrarios* 13: 93-119.
- Mueller, S., A. F. Wamser, A. Suzuki e W. F. Becker. 2013. Produtividade de tomate sob adubação orgânica e complementação com adubos minerais. *Horticultura Brasileira*. 31: 860-92.
- Naturland, E. V. 2000. Organic Farming in the Tropics and Subtropics. *Neture* vol 170. 1º Ed. USA.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, establece las especificaciones de fertilidad, sanidad, y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis.

- Ortega, F. y R. Orellana. 2007. El riego con aguas de mala calidad en la agricultura urbana. Aspectos a considerar. II. Aguas residuales urbanas. Revista Ciencias Técnicas y Agropecuarias 16: 25-27.
- Ortiz, T., J. Delgadillo, M. N. Rodríguez y G. Calderón. 2016. Inoculación bacteriana en el crecimiento y calidad del fruto de cinco variedades de fresa en suelos con pH contrastante. Terra Latinoamericana 34: 177-185.
- Paytas, M. J., M. C. Iglesias, V. Chamorro y A. Cripín. 2003. Efectos de las concentraciones de nitratos sobre cepas naturalizadas de *Rhizobium-Bradyrhizobium* en distintos suelos del Nordeste de Santa Fe en el cultivo de la soja. Cátedra de Microbiología Agrícola, Cátedra de Conservación y Manejo de suelos, Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE: 3.
- Pinilla, C. 2003. Indicadores de contaminación fecal en aguas. En: Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. RIPDA- CYTED© CYRA-UAEM. México. 20: 30-239.
- Plevich, J., A. Delgado, C. Saroff, J. Tarico, R. J. Crespi y O. Barotto. 2012. El cultivo de alfalfa utilizando agua de perforación, agua residual urbana y precipitaciones. Revista Brasileira de Ingeniería Agrícola y Ambiental 16(12): 1353-1358.
- Postgate, J. R. 1982. The Fundamentals of Nitrogen Fixation. New York, NY: Cambridge University Press.
- Quiñones, E.E., E. Hernández, G. Rincón y R. Ferrera. 2012. Interacción de hongos micorrízicos arbusculares y fertilización fosfatada en papaya. Terra Latinoamericana 30: 165-176.
- Quiroz, I., M. Pincheira, J. Hernández, M. González, E. García y H. Soto. 2014. Efecto del volumen radicular sobre el crecimiento de *Acacia dealbata* Link. en vivero y en terreno en el secano de la Región del Biobío, Chile. Revista Árvore 38(1): 155-164.
- Ramírez, B., F. Caro, M. G. Valdivia, M. H. Ramírez y M. L. Machuca. 2011. Cambios en tamaño y características químicas de cálices de Jamaica (*Hibiscus Sabdariffa* L.) durante su maduración. Revista Chapingo Serie Horticultura 17 (2): 19-31.
- Ramón, F., N. J. Rodríguez, D. G. Torres y H. J. Yendis. 2009. Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela. Agricultura Técnica en México 35: 211-218.
- Requena, N., E. Pérez, C. Azcón, P. Jeffries and J. M. Barea. 2001. Management of indigenous plant-microbe symbiosis aids restoration of desertified. Applied and Environment Microbiology. 67: 495-498.

- Rodríguez, C., F. Sevillano y P. Subramaniam. 1984. La Fijación de nitrógeno atmosférico. Una biotecnología en la producción agraria. Instituto de recursos naturales y agrobiología, Chile. Temas de divulgación 1: 24-27.
- Rodríguez, D. N., R. P. Cano, V. U. Figueroa, C. E. Favela, R. A. Moreno, H. C. Márquez, M. E. Ochoa y R. Preciado. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. Terra Latinoamericana 27: 319-327.
- Ruíz, J. F. 2011. Ingeniería del compostaje, primera reimpresión. Universidad Autónoma de Chapingo, ISBN-978-607-12-0049-5, 237 P, Texcoco, Estado de México, México.
- Ryu, C., M. Farag, C. Hu, M. Reddy, H. Wei, P. Paré and J. W. Kloeppler. 2003. Bacterial volatiles promote growth in *Arabidopsis*. Proceedings of the National Academy of Sciences 100: 4927-4932.
- Sadzawka, A., M. A. Carrasco, R. Demanet, H. Flores, R. Grez, M. L. Mora y A. Neaman. 2007. Métodos de análisis de tejidos vegetales. Segunda edición. Santiago de Chile. pp. 120.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. (Consulta: junio 19, 2016). <http://www.siap.gob.mx>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2015. Agenda técnica agrícola de Guerrero. Segunda edición. ISBN volumen: 978-607-7668-42-8.
- Salinas, R. and B. Soriano. 2014. Effect of *Trichoderma viride* and *Bradyrhizobium yuanmingense* on growth of *Capsicum annuum* under laboratory conditions. REBIOLEST 2: 32.
- Sáyago, S. G. y I. Goñi. 2010. *Hibiscus sabdariffa* L: fuente de fibra antioxidante. Archivos latinoamericanos de nutrición 60: 79-84.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Fecha de consulta: 17 de agosto de 2016. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx>
- Silva, J., P. Torres y C. Madera. 2008. Residuales domésticas en agricultura. Una revisión agronomía colombiana. Universidad Nacional de Colombia 26: 347-359.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). Fecha de consulta: 09 de octubre de 2016. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx>
- Sosa, J., R. García, G. García, R. Vermon, R. Ortíz y W. Aguilar. 2013. Formulación del diagnóstico y agenda estratégica, En: Ordenamiento territorial del estado de Yucatán Visión 2030, edit. García, G y Sosa, J., ISBN-978-607-00-6772-3, pp. 152, Mérida, Yucatán, México.

- Sudhansu, S. 1998. Interactions of an acid tolerant strain of phosphate solubilizing bacteria with a few acid tolerant crops. *Plant and soil* 198: 169-177.
- Toukara, F., I. Amadou, L. Guo and S. Yong. 2011. Effect of boiling on the physicochemical properties of Roselle seeds (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivated in Mali. *African Journal of Biotechnology* 10(79): 18160-18166.
- Tsavkelova, A., Y. Klimova and N. A. Cherdyntseva. 2006. Microbial producers of plant. Ustin, S.L., Smith, M.O., Jacquemoud, S., Verstraete, M.M., y Govaerts, Y. 1998. *GeoBotany: Vegetation mapping for Earth sciences*, in *Manual of Remote Sensing, Remote Sensing for the Earth Sciences*, edited by A. N. Rencz, 3rd ed., John Wiley, Hoboken, N. J. 3:189248.
- Valles, G., J. Lugo, Z. Rodriguez y L. Diaz. 2009. Efecto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre el crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en un sistema hidropónico sin cobertura. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia* 26: 159-178.
- Varela, S. y B. A. Martínez. 2013. Uso del compost de biosólidos en la formulación de sustratos para la producción industrial de plantas de *Nothofagus alpina*. *Revista Bosque* 34 (3): 281-289.
- Veliz, E., J. Llanes, L. Asela y M. Bataller. 2009. Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 40: 35-44.
- Vespermann, A., M. Kai and B. Picchulla. 2007. Rhizobacterial volatiles affect the growth of fungi and *Arabidopsis thaliana*. *Applied and Environmental Microbiology* 73: 5639–5641.
- Vogt, C., D. Vogt, S. Brown, J. P. Tilley, R. L. Edmonds, W. L. Silver and T. G. Siccama. 1995. Dynamics of forest floor and soil organic matter accumulation in boreal, temperate, and tropical forests. En: Lal R, Kimble J, Stewart BA (eds) *Soil management and greenhouse effect. Advances in Soil Science*. CRC. Boca Ratón.
- Zehr, J., B. D. Jenkins, S. M. Short and G. F. Steward. 2003. Nitrogenase gene diversity and microbial community structure: a cross-system comparison. *Environmental Microbiology* 5: 539-554.
- Zhang, L., T. Hurek and H. Reinhold. 2007. A nifH-based oligonucleotide microarray for functional diagnostics of nitrogen-fixing microorganisms. *Microbial Ecology* 53: 456-470.
- Zhang, Y., J. M. Chen and S. C. Thomas. 2007. Retrieving seasonal variation in chlorophyll content of overstory and understory sugar maple leaves from leaflevel hyperspectral data. *Canadian Journal of Remote Sensing* 33(5): 406-415.