



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

Proyecto de Investigación:
Previo a la obtención del
Título Ingeniera Forestal

Título del proyecto de investigación:
PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE *Gmelina arborea* Roxb (MELINA) APLICANDO
RIZOBACTERIAS PROMOTORAS DEL CRECIMIENTO VEGETAL (PGPR) EN EL
CANTÓN MOCACHE, PROVINCIA DE LOS RÍOS, 2022.

Autora:
Wong Carriel Naomi Kaymara

Director del Proyecto de Investigación:
Ing. José Enrique Nieto Rodríguez, PhD

MOCACHE – LOS RÍOS – ECUADOR
2022

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Wong Carriel Naomi Kaymara**, declaro que el trabajo descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado en ningún grado de calificación profesional; y, que he realizado la revisión de la literatura que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional vigente.

Wong Carriel Naomi Kaymara

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito **Nieto Rodríguez José Enrique**, PhD. Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante **Wong Carriel Naomi Kaymara** realizó el Proyecto de Investigación titulado “**Producción de plántulas de *Gmelina arborea* Roxb (Melina) aplicando rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en el Cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos, 2022.**” previo a la obtención del título de Ingeniera Forestal, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Nieto Rodríguez José Enrique, PhD.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN Y/O PLAGIO ACADÉMICO

El suscrito **Nieto Rodríguez José Enrique**, PhD. Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, en calidad de Director del Proyecto de Investigación titulado “**Producción de plántulas de *Gmelina arborea* Roxb (Melina) aplicando rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en el Cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos, 2022.**” Perteneciente a la estudiante de la carrera de ingeniería forestal **Wong Carriel Naomi Kaymara**, CERTIFICA: El cumplimiento de los parámetros establecidos por la SENESCYT, y se evidencia el reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico.

(URKUND) con un porcentaje del 4%.



Analyzed document	WONG CARRIEL NAOMI KAYMARA-TESIS FINAL 2022.docx (D150720593)
Submitted	2022-11-23 17:58:00
Submitter email	hcanchignia@uteq.edu.ec
Similarity	4 %
Analysis address	hcanchignia.uteq@analysis.urkund.com

Nieto Rodríguez José Enrique, PhD.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“Producción de plántulas de *Gmelina arborea* Roxb (Melina) aplicando rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en el Cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos, 2022.”

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Forestal

APROBADO POR:

Ing. Carlos Belezaca Pinargote, PhD.

Presidente del Tribunal

Ing. Wiston Morales Rodríguez

Integrante del Tribunal

Ing. Nicolás Cruz Rosero, PhD.

Integrante del tribunal

MOCACHE – LOS RÍOS – ECUADOR

2022

AGRADECIMIENTO

La autora de la presente investigación quiere dejar constancia de su sincero agradecimiento a las personas e institución que hicieron posible la culminación de la misma.

Le agradezco a Dios por permitirme tener los conocimientos, sabiduría, esfuerzo y dedicación necesarios para poder culminar este proyecto de investigación, también agradezco a mi familia por el apoyo que me han brindado en todo el lapso de mi carrera, en especial a mi padre Lenin Wong Robalino, a mi madre Liliana Carriel Montiel, a mi tía Fanny Carriel Montiel y a mi hermano Ariel Wong Carriel, ya que ellos fueron un pilar fundamental de apoyo y motivación en mi vida y mi carrera universitaria.

Le agradezco muy encarecidamente a mi director de tesis, Dr. José Enrique Nieto Rodríguez, por su enseñanza, por su paciencia, por su apoyo, por impulsarme a ser mejor como estudiante y como persona y por la gran amistad que hizo posible la culminación de este trabajo de investigación.

En especial agradezco al Ing. Ángel Cedeño Moreira por su ayuda incondicional en cada paso de este proyecto de investigación, por su gentil forma de enseñanza en cada uno de los procedimientos, por la paciencia, por su preocupación, por su amistad, por compartir sus conocimientos y apoyo durante el tiempo de elaboración del presente proyecto de investigación.

También a mis amigos Ander Solórzano y Gimabel Pacho que han formado parte de mi vida profesional, gracias por su apoyo, su amistad incondicional, por darme ánimo y compañía a lo largo de mi carrera universitaria.

También le presento mi sincero agradecimiento a la SENESCYT (Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación), ya que ellos como institución me brindaron su ayuda económica y debido a su financiamiento he podido culminar mis estudios universitarios, quedo totalmente agradecida con la institución.

DEDICATORIA

La presente investigación se la dedico:

A Dios, por darme vida, salud, fuerza, perseverancia, dedicación, voluntad, ya que gracias a todas las virtudes que él me ha dado he podido culminar mi carrera universitaria, para así poder seguir preparándome en mi formación profesional.

A toda mi familia, mis padres, a mis abuelitos, hermanos y en especial a mi padre Lenin Wong Robalino, a mi madre Liliana Carriel Montiel, a mis tías Diana Carriel Montiel, Fanny Carriel Montiel, Arelis Carriel Montiel y a mi hermano Ariel Wong Carriel, ya que ellos han sido fuente de inspiración en mi preparación profesional durante toda mi vida.

A mi director Dr. José Enrique Nieto Rodríguez y al Ing. Ángel Cedeño Moreira por su enseñanza, por su paciencia, por su apoyo y su amistad.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos de la inoculación de bacterias PGPR en semillas y plántulas de la especie forestal *G. arbórea* para valorar la germinación y crecimiento. Para ello se estableció un Diseño completamente al Azar (DCA) con 9 tratamientos y un testigo, cada tratamiento con 4 repeticiones y cada repetición con 5 unidades experimentales. Las bacterias evaluadas fueron: *Acinetobacter calcoaceticus*, *Pseudomonas putida* y *Enterobacter asburiae*. Luego de tener cada una de las bacterias listas para su uso se procedió a realizar la preparación de cada tratamiento, para esto se mezcló cada bacteria con agua destilada dependiendo de cada concentración, por ejemplo: T1= bacteria 2/12 al 10%, se la realizó aplicando 90 ml de agua estéril y 10 ml de bacteria, T2= bacteria 2/12 al 15%, se la realizó aplicando 85 ml de agua estéril y 15 ml de bacteria, T3= bacteria 2/12 al 20%, se la realizó aplicando 80 ml de agua estéril y 20 ml de bacteria. De esta forma se realizaron cada uno de los tratamientos para la aplicación de las bacterias PGPR en plántulas de melina. Se realizó una inoculación inicial a las plántulas de melina y luego se procedieron a evaluar cada 8 días, durante 5 semanas, las variables que se evaluaron fueron: Altura, diámetro, número de hojas y el índice de robustez. Luego de las 5 semanas se procedió a realizar un análisis destructivo en las plantas para proceder a evaluar el peso foliar, que consta del peso seco y el peso húmedo de las hojas, las cuales se tomaron 5 plantas de cada tratamiento para su respectiva evaluación, y también se realizó la evaluación de la longitud radicular. Los resultados obtenidos en la relación porcentaje de germinación y crecimiento vegetal, muestran que las bacterias PGPR promueven eficazmente el crecimiento de las plántulas, ya que cada tratamiento muestra valores superiores a los del control.

Palabras clave: Bacterias PGPR, melina, germinación, crecimiento vegetal, índice de robustez.

ABSTRACT

The present investigation had as objective to evaluate the effects of the inoculation of PGPR bacteria in seeds and seedlings of the forest species *G. arborea* to assess germination and growth. For this, a completely Random Design (DCA) is established with 9 treatments and a control, each treatment with 4 repetitions and each repetition with 5 experimental units. The bacteria evaluated were: *Acinetobacter calcoaceticus*, *Pseudomonas putida* and *Enterobacter asbiriae*. After having each of the bacteria ready for use, the preparation of each treatment was carried out, for this each bacterium was mixed with distilled water depending on each concentration, for example: T1= 2/12 bacteria at 10%, I do it by applying 90 ml of sterile water and 10 ml of bacteria, T2= 2/12 bacteria at 15%, I do it by applying 85 ml of sterile water and 15 ml of bacteria, T3= 2/12 bacteria at 20%, it is It was performed by applying 80 ml of sterile water and 20 ml of bacteria. In this way, each of the treatments for the application of PGPR bacteria in melina seedlings was carried out. An initial inoculation was made to the melina seedlings and then they were evaluated every 8 days, during 5 weeks, the variables that were evaluated were: height, diameter, number of leaves and the robustness index. After 5 weeks, a destructive analysis was carried out on the plants to proceed to evaluate the leaf weight, which consists of the dry weight and the wet weight of the leaves, which 5 plants of each treatment were taken for their respective evaluation. And the evaluation of root length was also carried out. The results obtained in the relation percentage of germination and vegetal growth, show that the PGPR bacteria reinforce the growth of the seedlings, since each treatment shows higher values than those of the control.

Keywords: PGPR bacteria, Melina, germination, plant growth, robustness index.

ÍNDICE

Declaración de auditoría y cesión de derechos.....	ii
Certificación de culminación del proyecto de investigación.....	iii
Reporte de la herramienta de prevención y/o	iv
Plagio académico.....	iv
Agradecimiento	vi
Dedicatoria.....	vii
Resumen	viii
Abstract.....	ix
Índice de contenido.....	x
Índice de tablas	xii
Índice de figuras	xii
Índice de anexos	xiii
Código dublin	xiv

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	2
1.1.Planteamiento del problema	3
Diagnóstico	3
Formulación del problema.....	3
Sistematización del problema.....	3
1.2.Justificación	4
1.3.Objetivos	5
1.2.1. General	5
1.2.2. Específicos	5
CAPÍTULO II.....	6
2.1. Fundamentación teórica.....	7
2.1.1. Generalidades de <i>Gmelina arborea</i> Roxb (<i>Melina</i>)	7
2.1.2. Clasificación taxonómica de la especie.....	8
2.1.3. Descripción botánica.....	8
2.1.4. Germinación de la semilla.....	9
2.2. Bacteria.....	10
2.2.1. Rizobacterias	10

2.2.2. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas (PGPGR).	10
2.2.3. Mecanismos de acción.	11
2.3 <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	12
2.4 <i>Pseudomonas spp</i>	12
2.6. <i>Enterobacter asburiaer</i> .	12
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	13
3.1. Localización del proyecto.	14
3.1.1. Características climáticas	14
3.2. Tipo de investigación.	14
3.2.1. Experimental	14
3.3. Diseño de la investigación	14
3.3.1. Ficha de campo.	14
3.3.2. Ficha de monitoreo	15
3.3.3. Material virtual	15
3.4. Instrumentos de investigación	15
3.4.1. Materiales de campo	15
3.4.2. Materiales de Laboratorio.	15
3.4.3. Reactivos	16
3.4.4. Material biológico	16
3.4.5. Software	16
3.5. Población y muestra.	16
3.5.1. Población.	16
3.6. Variables a evaluar	16
3.6.1. Diámetro basal	17
3.6.2. Número de hojas	17
3.6.3. Longitud radicular.	17
3.6.4. Peso foliar.	17
3.6.5. Índice de robustez	17
3.7. Diseño experimental de la investigación	18
3.7.1. Diseño para los datos morfológicos en plantas	18
3.7.2. Diseño de Análisis de Varianza de datos morfológicos en plantas.	18
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1. Efecto simple de inoculación de Bacterias PGPR en la germinación de semillas.	20
4.3. Diámetro del tallo	22

4.4. Número de hojas	23
4.5. Índice de robustez	24
4.6. Peso foliar	25
4.7. Longitud radicular	26
4.9 Discusión	27
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
5.1. Conclusiones.....	31
5.2. Recomendaciones	32
CAPITULO VI BIBLIOGRAFÍA	33
6.1. Bibliografía	34
CAPÍTULO VII ANEXOS	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos evaluados en la investigación.	18
Tabla 2. Esquema de Análisis de Varianza.	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efectos de la inoculación de las bacterias PGPR en la germinación de semillas de <i>G. arbórea</i> . Evaluación a los 20 días. Vivero de la UTEQ del Campus “La María”, 2022.....	20
Figura 2. Efectos de la inoculación de las bacterias PGPR en la altura en plántulas de <i>G. arbórea</i> . Evaluación a los 40 días. Vivero de la UTEQ del Campus “La María”, 2022.	21
Figura 3. Efectos de la inoculación de las bacterias PGPR en el diámetro en plántulas de <i>G. arbórea</i> . Evaluación a los 40 días. Vivero de la UTEQ del Campus “La María”, 2022.....	22
Figura 4. Efectos simples de la inoculación de las bacterias PGPR en el número de hojas en plántulas de <i>G. arbórea</i> . Evaluación a los 40 días. Vivero del UTEQ del Campus “La María”, 2022.	23
Figura 5. Valores obtenidos sobre índice de robustez en plántulas de <i>G. arbórea</i> . Evaluación a los 40 días. Vivero de la UTEQ del Campus “La María”, 2022.	24

Figura 6. Valores obtenidos del peso foliar en cuanto al peso seco y húmedo en plántulas de <i>G. arbórea</i> . Evaluación a los 40 días. Vivero de la UTEQ del Campus “La María”, 2022.	25
Figura 7. Valores obtenidos sobre la longitud radicular en plántulas de <i>G. arbórea</i> . Evaluación a los 40 días. Vivero de la UTEQ del Campus “La María”, 2022.	26

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Bacterias PGPR. Bacteria <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> (2/12), <i>Enterobacter asburiae</i> (3/14) y <i>Pseudomonas putida</i> (3/6).	39
Anexo 2. Preparación de bacterias para la inoculación.	39
Anexo 3. Inoculaciones de bacterias en semillas de <i>G. arborea</i>	39
Anexo 4. Inoculaciones de bacterias en plántulas de <i>G. arborea</i>	40
Anexo 5. Evaluación de las distintas variables morfológicas (Tamaño de plántula, peso foliar y longitud radicular) de la especie forestal <i>G. arborea</i>	40
Anexo 6. Efectos de la inoculación de las bacterias PGPR 40 días después de su evaluación. Inoculación de la bacterias 2/12, 3/14 y 3/6 en plántulas de <i>G. arborea</i>	41

CÓDIGO DUBLIN

Título:	“Producción de plántulas de <i>Gmelina arborea</i> Roxb (Melina) aplicando rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) en el Cantón Quevedo, Provincia de Los Ríos, 2022.”
Autor:	Wong Carriel Naomi Kaymara
Palabras clave:	Bacterias PGPR, melina, germinación, crecimiento vegetal, índice de robustez.
Fecha de publicación:	
Editorial:	
Resumen:	La presente investigación tuvo como objetivo evaluar los efectos de la inoculación de bacterias PGPR en semillas y plántulas de la especie forestal <i>G. arborea</i> para valorar la germinación y crecimiento. Para ello se estableció un Diseño completamente al Azar (DCA) con 9 tratamientos y un testigo, cada tratamiento con 4 repeticiones y cada repetición con 5 unidades experimentales. Las bacterias evaluadas fueron: <i>Acinetobacter calcoaceticus</i>, <i>Pseudomonas putida</i> y <i>Enterobacter asbiriae</i>. Luego de tener cada una de las bacterias listas para su uso se procedió a realizar la preparación de cada tratamiento, para esto se mezcló cada bacteria con agua destilada dependiendo de cada concentración, por ejemplo: T1= bacteria 2/12 al 10%, se la realizo aplicando 90 ml de agua estéril y 10 ml de bacteria, T2= bacteria 2/12 al 15%, se la realizo aplicando 85 ml de agua estéril y 15 ml de bacteria, T3= bacteria 2/12 al 20%, se la realizo aplicando 80 ml de agua estéril y 20 ml de bacteria. Se realizó una inoculación inicial a las plántulas de melina y luego se procedieron a evaluar cada 8 días, durante 5 semanas, las variables que se evaluaron fueron: Altura, diámetro, número de hojas y el índice de robustez. Los resultados obtenidos en la relación porcentaje de germinación y crecimiento vegetal, muestran que las bacterias PGPR promueven eficazmente el crecimiento de las plántulas.
Descripción:	56 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD
URL:	

INTRODUCCIÓN

El aumento de la demanda en el sector forestal en la producción del cultivo de especies protegidas y comerciales localmente con alto valor económico, ecológico y ambiental ha forzado a los viveros a ser más competentes en la producción de materiales vegetales. Lo que ha hecho que adopten una diversidad de tácticas para impulsar la eficiencia del proceso de emergencia de plantas adolescentes, en las que se hallan microorganismos que favorecen la emergencia de raíces y el crecimiento de las plantas en fase de vivero y campo.

Las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal son un grupo de bacterias que habitan en el suelo y favorecen el crecimiento de los cultivos (1). Mediante varios mecanismos, como fijación de nitrógeno, producción de sideróforos, solubilización de fosfatos, síntesis de fitohormonas, entre otros (2). Su uso en la agricultura tiene potencia debido a su capacidad de incrementar el rendimiento y la producción cuando se usan en combinación con la fertilización, además de ser de bajo costo económico y ambiental.

En vista del creciente interés en minimizar la utilización de pesticidas y la agricultura orgánica, las bacterias que promueven el desarrollo de las plantas conforman un sustituto de fertilizantes y pesticidas, y además tienen la posibilidad de expandir la gama de suelos que tienen la posibilidad de uso agrícola, forestal y conservación.

El objetivo del presente análisis fue evaluar el beneficio de la inoculación de bacterias en plantas jóvenes de la especie forestal *Gmelina arborea* Roxb (Melina) como estrategia para la mejora de su crecimiento y desarrollo inicial, así como, el incremento del porcentaje de supervivencia en condiciones de campo.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Diagnóstico

Debido a la escasa información sobre el comportamiento de la Melina (*Gmelina arbórea* Roxb) tomando en cuenta el desarrollo inicial de la planta, generando menor resistencia a plagas y varios tipos de patologías cuando están en contacto con el medio.

El índice de robustez es el resultado de la relación entre del diámetro del cuello de la raíz (mm) y la altura de la planta (cm); es un indicador de la resistencia del individuo a la deshidratación generada por el viento, de la supervivencia y del crecimiento potencial en sitios secos y debe tener un valor inferior a seis. Un valor menor refleja una mejor calidad de la planta, valores mayores a seis tienen una desproporción entre el desarrollo del diámetro y la altura de la planta (3).

Formulación del problema

Según la aplicación de las rizobacterias, ¿Cuál es el impacto que se genera en el crecimiento de la especie de *Gmelina arbórea* Roxb (Melina) y su posterior incremento en la tasa de supervivencia a nivel de plantación?

Sistematización del problema

¿Qué bacteria promueve el mejor desarrollo en la plántula de *Gmelina arbórea* Roxb?

¿Cuál es la mejor concentración para la producción de plántulas *Gmelina arbórea* Roxb?

1.2. Justificación

Mientras se incrementan los habitantes del mundo, también ha incrementado la demanda de diferentes bienes y servicios elaborados por los bosques, como recursos madereros, producción de resina, hojas y frutos, secuestro de carbono, mantenimiento de cuencas hidrográficas, etcétera. De esta forma la transformación en diversos en particular en el campo de la averiguación técnica y científica en el área forestal es fundamental para robustecer el triunfo de dicho sector. La progresiva demanda de productos de bosque, trae como labor la recuperación de suelos hasta ahora usados en esquemas intensivos de agricultura y ganadera, para lo que la disposición de material vegetal de la mejor calidad para proyectos de reforestación es el punto inicial de la cadena de reposición y de producción de los bosques. Se ha visto estudios, que la inoculación de semillas con bacterias promotoras de incremento vegetal índice de manera positiva en su germinación y emergencia; además, la aplicación de estos microorganismos a plantas adolescentes de especies forestales puede llevar a la obtención de plantas de tamaño homogéneo, vigorosas y con un desarrollo radical adecuado para su trasplante en campo.

1.3. Objetivos

1.2.1. General

- Determinar el efecto que produce la inoculación de bacterias PGPR en semillas y plántulas de *Gmelina arbórea* Roxb.

1.2.2. Específicos

- Determinar que especie de rizobacterias PGPR fomenta el crecimiento y desarrollo eficiente en plántulas de *Gmelina arbórea* Roxb.
- Establecer la concentración idónea de microorganismos PGPR para la producción de plántulas vigorosas de *Gmelina arbórea* Roxb.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACION TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Fundamentación teórica

2.1.1. Generalidades de *Gmelina arborea* Roxb (*Melina*)

La especie *Gmelina arborea* Roxb es una especie de crecimiento acelerado, su diámetro se incrementa aceleradamente en los primeros años hasta exponer bastante más de 80 cm de diámetro; de consenso con el diámetro en las primeras fases de incremento de la melina alcanza los 7 centímetros (4), siendo una especie caducifolia forestal introducida y de veloz incremento que forma parte del núcleo familiar Verbenácea, Árbol caducifolio de tamaño medio, generalmente es de 15 a 20 m de elevación, aunque llegan a conseguir bastante más de 30 m. Especie con fuste recto y exuberante ramificación, las ramas de las copas son lisas, de color marrón, pálido a gris, en los árboles maduros, son de color café amarillento a café claro con manchas blanquecinas su forma generalmente cambia según las condiciones en que se realiza (5).

Es nativa de los bosques húmedos tropicales (bhT) del sureste asiático. Está distribuida extensamente en América Central, considerándose como una elección fundamental de desempeño de suelos en Costa Rica por crear la más grande biomasa en bosques húmedos cultivados y por su flexibilidad para los usos comerciales, siendo considerada hoy por hoy, una de las especies más promisorias para utilizar en diferentes procesos industriales y en programas de reforestación; en los cuales por su veloz aumento es fuente segura de materia prima (6).

Las primeras plantaciones de melina fueron establecidas en Costa Rica entre los años 1970 y 1975, como parte de un ensayo de procedencias llevado a cabo para una organización De Brasil ubicada en Jari, Brasil. Estas primeras plantaciones estaban orientadas a generar materia prima para la industria papelera y para la producción de leña. No obstante, en el territorio la exclusiva industria que existe no posee el sistema de producción de astillas, sino que su fuente de materia prima es la pasta comprada internacionalmente. De esta forma además la implementación de la melina como combustible tampoco terminó una solución posible gracias a la baja capacidad calórica de la especie; y además pues en Costa Rica el consumo de leña es bajo, únicamente el 5% de cada una de las fuentes energéticas usadas en el territorio (7).

2.1.2. Clasificación taxonómica de la especie

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Lamiales

Familia: Verbenaceae

Género: *Gmelina*

Especie: arbórea

Nombre Científico: *Gmelina arbórea* Roxb

Nombre Vulgar: Melina

2.1.3. Descripción botánica

Se describe de la siguiente manera (8):

- Copa, es extensa y amplia. Se da predominantemente en bosques semicaducifolios de hoja ancha.
- Raíz, muestra un sistema extremista profundo, aunque podría ser superficial en suelos con capas endurecidas u otros limitantes de hondura.
- Fuste, tiene un fuste cónico, regular de 50-80 centímetros de diámetro, algunas veces hasta de 143 centímetros, sin contrafuertes, sin embargo algunas veces engrosado en la base.
- Las flores, con llamativas panículas de flores de color amarillo pardo, en racimos, monoicas perfectas, cuya inflorescencia es un racimo o panícula cimosa terminal, cáliz tubular, corola con 4-5 sépalos militares a la base del ovario, de color amarillo brillante, cáliz de 2,5 centímetros de extenso y 4 estambres.
- Los frutos, son de drupa carnosa de color amarillo. Los frutos de Gramo melina son bicelulares, cada célula tiene 2 óvulos. Es inusual que se desarrollen los dos óvulos en una célula.

- Las semillas, de esta especie se hallan conformando parte del endocarpio del fruto, son de manera elipsoidal, comprimidas, de 7-9 mm de extenso; testa color café, lisa, opaca, membranosa, bastante flaca; el embrión es recto, comprimido, de color 11 amarillo crema y Ocupa toda la cavidad de la semilla; los cotiledones son 2, enormes, planos, carnosos y elipsoidales; la radícula es inferior y corta (8).
- Las hojas son gigantes de (10-20 cm de largo), primordiales, opuestas , completas, dentadas, habitualmente más o menos acorazonadas, de 10-25 centímetros de extenso y 5-18 centímetros de ancho, decoloradas, El haz verde y glabro, envés verde pálido y aterciopelado, nerviación reticulada, con nervios secundarios entre 3 y 6 pares y estípulas ausentes (4).

2.1.4. Germinación de la semilla

La melina muestra una germinación epigea, primero aparece la radícula, después emergen los cotiledones, el porcentaje de germinación de la semilla fresca es alto; no obstante luego de estar almacenada por un año pierde un elevado porcentaje de su viabilidad original. En la India se vio que el porcentaje de germinación de la semilla fresca ha sido de 90%, empero luego de un año descendió hasta un 30%. Para crear un kilogramo de semilla de melina (*Gmelina arborea* Roxb) se requieren alrededor de 14 kilogramo de frutos (4).

2.1.5. Usos

Su primordial producto es la madera que se usa para leña y carbón, en la construcción de muebles y gabinetes aparatos musicales, tableros de partículas, triplay, cabos para cerillos, cubiertas de barco y botes. Los frutos, flores, hojas, raíces y corteza se utilizan para el procedimiento de la tos, dolores de cabeza, inconvenientes de estómago y patologías de la sangre, usándolo además como laxativo y tónico para los nervios (9).

2.2. Bacteria

Las bacterias son microorganismos procariotas con un tamaño de unas escasas micras (generalmente de 0,5 a 5 μm de longitud) las bacterias son microorganismos procariotas con un tamaño de unas pocas micras (generalmente de 0,5 a 5 μm de longitud) y de diversas Posibilidades, que unen filamentos, esféricos (cocos), corniformes (bacilos), sacacorchos (*Vibrio*) y espirales (espirilos). Las bacterias son células procariotas. A diferencia de las células eucariotas (animales, plantas, hongos, etc.), no tienen un núcleo definido y no acostumbran tener orgánulos de membrana interna. Por lo general, tienen paredes celulares y están compuestos de peptidoglicanos, y muchas bacterias tienen flagelos u otros sistemas de reemplazo que les permiten desplazarse (10).

2.2.1. Rizobacterias

Es un espécimen de bacteria que coloniza las raíces de ciertas plantas en una relación simbiótica (relación recíproca) beneficiosa para ambas partes. Los rizobacterias más

Interesantes en la agricultura son los fijadores de nitrógeno, se estima que los fijadores de nitrógeno pueden destinar el 65% de los nutrientes que favorecen los Cultivos a nivel mundial. Las rizobacterias fijadoras de nitrógeno más significativas descritas mediante estudios investigativos son las bacterias del género *Azospirillum* y las *Bradyrhizobium*. Estas bacterias se incorporan a las semillas mediante los denominados inoculantes (11).

2.2.2. Bacterias promotoras de crecimiento en plantas (PGPR).

Se denomina como plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) para describir a las bacterias que habitan en la rizósfera de las plantas y que producen y provocan un efecto positivo al desarrollo y vigor en estado inicial de las mismas. Estas bacterias tienen la capacidad de colonizar y fortalecer activamente el sistema radicular para impulsar y / o mejorar el crecimiento, aumentar la utilización o absorción de minerales y otros tipos De compuestos (nitratos, fosfatos, etc.) y ayudan a producir hormonas primordiales en el desarrollo vegetal (12).

Según (13) una enorme proporción de microorganismos se encuentran usualmente en el suelo, como bacterias, hongos, actinomicetos, protozoos y algas. El término "rizosfera" se utiliza para describir el fragmento del suelo en la que la proliferación de microorganismos es inducida por la realidad del sistema radicular de la planta y que trabajan en sociedad simbiótica. Las bacterias promotoras de aumento vegetal – PGPR (por sus siglas en inglés Plant growth promoting rhizobacteria) son microorganismos de enorme trascendencia para la agricultura (14). Estas bacterias se encuentran en las raíces, donde estimulan de forma significativa el aumento de toda la planta, entre los microorganismos del suelo, las bacterias son las que más abundan en la rizosfera (15).

En la microflora del suelo coexisten diferentes géneros bacterianos. Estos interactúan preferido con las raíces de las plantas. Desde el punto de vista del desarrollo y aumento de las plantas, este efecto puede ser benéfico, dañino o neutro (16). Aquellas bacterias de la rizosfera que pueden afectar positivamente el crecimiento de cualquier especie vegetal y primordialmente se denomina PGPR rizobacterias de crecimiento vegetal.

2.2.3. Mecanismos de acción.

Los mecanismos directos de acción de los PGPR en el aumento de las plantas son distintos y alteran el desarrollo vegetal, dichos mecanismos empleados por bacterias, resultan muy varios y en algunas ocasiones poco estudiados, no obstante; tienen la posibilidad de distinguir evidentemente 2 procesos fundamentales que ocurren en el exterior de la rizosfera. (17) Indica que existen dos tipos de mecanismos por los cuales PGPR interactúan con las plantas:

- a) El primero consiste en la producción de sustancias orgánicas producto del metabolismo secundario de las bacterias (PGPR), que son capaces de promover respuestas fisiológicas específicas en las células vegetales.
- b) El segundo 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 las plantas a través de las raíces (17).

2.3 *Acinetobacter calcoaceticus*

Acinetobacter es un microbio del suelo; no obstante, estudios detallados sobre su papel en la promoción del aumento de las plantas no fueron reportados (18).

2.4. *Pseudomonas spp*

Estas bacterias pueden excitar la germinación de semillas y la emergencia de plántulas mediante la síntesis de hormonas vegetales y vitaminas, inhibir la síntesis de etileno y disolver el fósforo inorgánico para hacer un papel beneficioso directo, sintetizando antibióticos y fungicidas, compitiendo por nutrientes, produciendo sideróforos, o directa e indirectamente al inducir resistencia sistémica a patógenos. Además, además pueden actuar como BCA, que pueden proteger a las plantas de enfermedades infecciosas causadas por patógenos vegetales (19).

2.6. *Enterobacter asburiae*

Enterobacter asburiae, es un bacilo Gram-negativo correspondiente al núcleo familiar Enterobacteriaceae, que se ha apartado del suelo, el agua y los alimentos. Las denominadas bacterias epífitas constantemente se describen como microorganismos que viven en el área de las plantas, y dichos microorganismos trabajan de forma beneficiosa o nociva para las plantas en las que viven; no obstante se ha informado que *E. asburiae* tiene receptores autoinductores -2(AI-2), y no hay ningún informe sobre esta bacteria que genere AHL (20).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización del proyecto

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio del Campus “La María” predios de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, localizado en el kilómetro 7 ½. de la vía Quevedo El Empalme, Cantón Mocache, Provincia de Los Ríos, cuya ubicación geográfica es de 1° 3’18” de latitud sur y 79° 25’ 24’’ de longitud oeste, a una altura de 77,60 msnm.

3.1.1. Características climáticas

Localizado en el corazón del litoral, Quevedo se ha beneficiado mucho de la nación gracias a su localización geográfica exclusiva y localización preeminente. Además, posibilita un denso tráfico terrestre y fluvial, y su clima es propicio para los cultivos agrícolas y forestales. Se encuentra a 1°20'30" de latitud sur y 79°28'30" de longitud oeste en la zona subtropical (21).

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Experimental

Se la denomina de tipo científico experimental, ya que las variables estudiadas son directamente manipuladas: altura, diámetro del tallo, el número de hojas, la longitud radicular, peso foliar y el índice de robustez.

3.3. Diseño de la investigación

3.3.1. Ficha de campo.

Se obtuvo la información relacionada con el análisis de campo en el invernadero: tamaño de la planta, número de hojas, índice de robustez y otros aspectos básicos de la investigación.

3.3.2. Ficha de monitoreo

Se utilizó para registrar información relacionada con la evaluación del proceso de seguimiento. Cantidad de muestra, peso de la muestra, transporte de la muestra y tiempo de almacenamiento, y otros aspectos relacionados con el monitoreo de suelos.

3.3.3. Material virtual

Se hizo uso del software estadístico Infostat para procesar datos y obtener resultados.

3.4. Instrumentos de investigación

3.4.1. Materiales de campo

- Cuaderno de apuntes
- Fundas
- Esferos
- Cámara fotográfica
- Marcador
- Cinta métrica
- Calibrador Vernier
- Tierra

3.4.2. Materiales de Laboratorio

- Balanza electrónica
- Autoclave
- Vaso de precipitación
- Tubo de ensayo
- Micropipeta
- Calentador

3.4.3. Reactivos

- Etanol
- Ácido clorhídrico
- Agar

3.4.4. Material biológico

- *Gmelina arborea* Roxb
- *Acinetobacter calcoaceticus* (2/12)
- *Enterobacter asburiae* (3/14)
- *Pseudomonas putida* (3/6)

3.4.5. Software

- Microsoft Word (2013)
- Microsoft Excel (2013)
- Programa estadístico InfoStat (2020)

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población del estudio es el número total de individuos de *G. arborea*, la misma que consta de 200 plántulas, ubicadas en el invernadero del Laboratorio del Campus “La maría”.

3.6. Variables a evaluar

Utilizando diversas herramientas para de evaluación de cada unidad experimental, esta evaluación se la realizó cada 8 días, durante 5 semanas. 40 días después de la inoculación con el Rizobacterias PGPR que promueve el crecimiento de la planta, se registraron las siguientes variables.

3.6.1. Diámetro basal

Para medir el diámetro basal fue necesario utilizar el calibrador Vernier, desde la raíz hasta la última inserción de la hoja, dónde se registraron los datos de cada tratamiento en longitud (cm).

3.6.2. Número de hojas

Se procedió a contabilizar la cantidad de hojas por cada tratamiento con la inoculación bacteriana PGPR y posterior a eso el control sin inoculación.

3.6.3. Longitud radicular

El uso de una cinta métrica nos permitió registrar la longitud radicular de cada tratamiento los datos de cada tratamiento fueron registrados en la unidad de longitud (cm).

3.6.4. Peso foliar

Se utilizó una balanza de precisión para calcular el peso de las hojas y el corte de las hojas de cada tratamiento se lo realizaron desde la base del pecíolo.

3.6.5. Índice de robustez

Este índice refleja la relación entre la altura de la planta (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm) y debe ser menor a seis. Es un indicador de la resistencia de la planta a la desecación por el viento, de la supervivencia y del crecimiento potencial en sitios secos. El menor valor indica que se trata de arbolitos más bajos y gruesos, aptos para sitios con limitación de humedad, ya que valores superiores a seis los dispone a los daños por viento, sequías y heladas (22).

Se estima a partir del cociente de la altura (cm) entre el diámetro del cuello de la raíz (mm):

$$IR = \frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}}$$

3.7. Diseño experimental de la investigación

3.7.1. Diseño para los datos morfológicos en plantas

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA), con nueve tratamientos y un testigo, cada tratamiento está conformado por cuatro repeticiones y cada repetición está constituida por cinco observaciones (plantas). Para comparar la media entre tratamientos se utilizó el programa estadístico InfoStat y se aplicó la prueba TUCKEY con un nivel de significancia del 95%.

Tabla 1. Tratamientos evaluados en la investigación.

T0	Control
T1	2/12 + Concentración 10%
T2	3/14 + Concentración 10%
T3	3/6 + Concentración 10%
T4	2/12 + Concentración 15%
T5	3/14 + Concentración 15%
T6	3/6 + Concentración 15%
T7	2/12 + Concentración 20%
T8	3/14 + Concentración 20%
T9	3/6 + Concentración 20%

3.7.2. Diseño de Análisis de Varianza de datos morfológicos en plantas

Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), generando nueve tratamientos y un testigo a evaluar, con cuatro repeticiones y cada repetición consta con cinco unidades experimentales (tabla 2).

Tabla 2. Esquema de Análisis de Varianza.

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamiento	9
Error	30
Total	39

CAPÍTULO IV

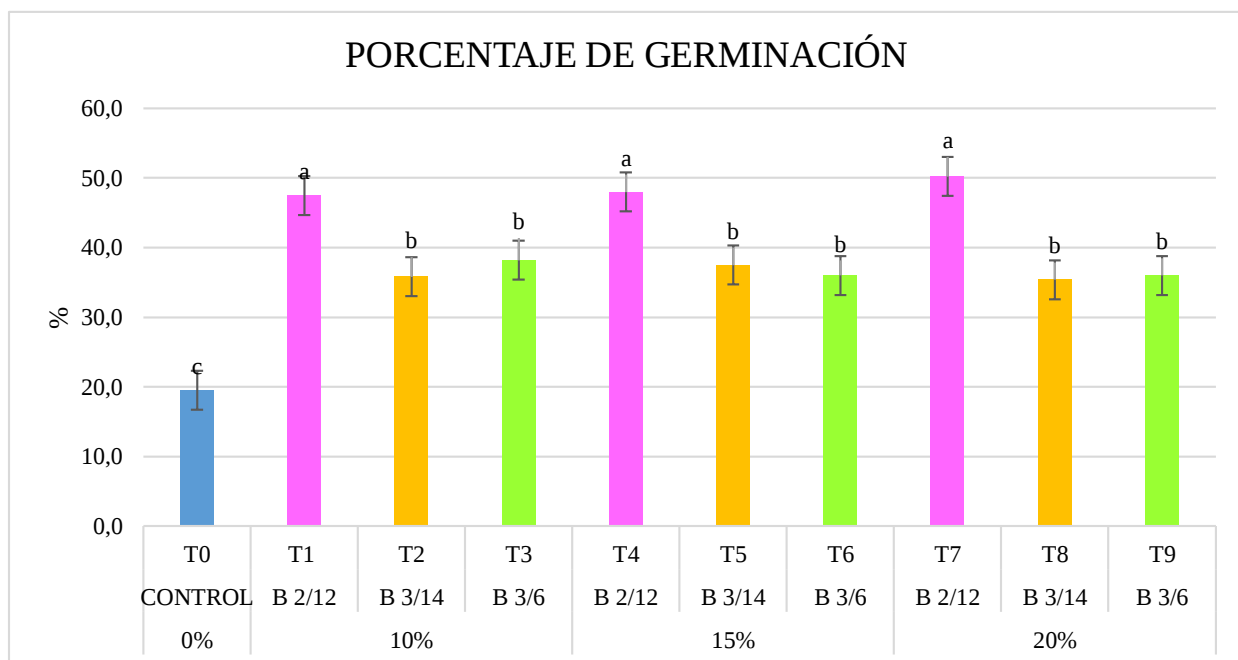
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto simple de inoculación de Bacterias PGPR en la germinación de semillas

El porcentaje de germinación en semillas de *G. arbórea* fue influenciado positivamente por la presencia de rizobacterias en la especie en estudio. Esto debido a que las bacterias PGPR favorecieron la activación de fitohormonas, específicamente del grupo de la giberelina, las mismas que se producen o sintetizan en frutos y semillas de las especies vegetales y su principal función es la de interrumpir el periodo de latencia, haciéndolas germinar e inducir la brotación de yemas. El color azul representa el control, el color rosa representa la bacteria 2/12, el color naranja la 3/14 y el color verde la 3/6. El mejor resultado lo reportó el tratamiento T7 el cual corresponde a la bacteria 2/12, con una concentración del 20%, obteniendo valores de 50.2 %, siendo estadísticamente diferente a los otros tratamientos y su control, este último con valores inferiores al 20% (Figura 1).

Figura 1

Efectos de la inoculación de las bacterias PGPR en la germinación de semillas de G. arbórea. Evaluación a los 20 días. Vivero de la UTEQ de la Campus “La María”, 2022.



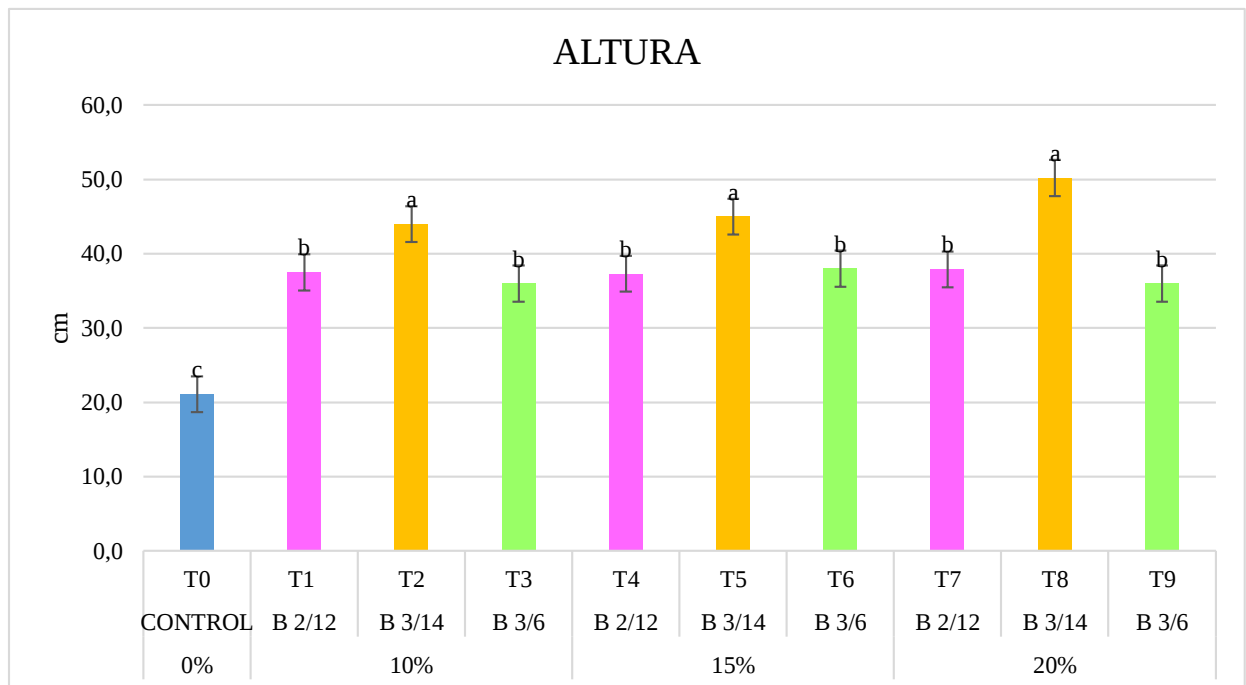
Las barras de error indican $\pm$ ES; diferentes letras muestran diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (test Tukey).

4.2. Altura

Las bacterias PGPR potenciaron positivamente la altura en plántulas de *G. arbórea*. Esto debido a que las bacterias PGPR favorecieron la activación de fitohormonas, específicamente del grupo de las giberelina. Uno de los efectos más notable de la giberelina es inducir crecimiento en altura. El aislamiento del “gene mendeliano para altura” demostró que éste codifica para la enzima GA3- β -hidroxilasa que convierte la GA20 inactiva en GA1 activa. Técnicas químicas modernas de detección han mostrado que plantas altas poseen GA1 mientras que en enanas predomina GA (23). Los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos T2, T5 y T8 los cuales corresponden a la bacteria 3/14, siendo estadísticamente diferente a los otros tratamientos y su control, este último con valores inferiores al 40 cm (Figura 2).

Figura 2

*Efectos de la inoculación de las bacterias PGPR en la altura en plántulas de *G. arbórea*. Evaluación a los 40 días. Vivero de la UTEQ de la Campus “La María”, 2022.*



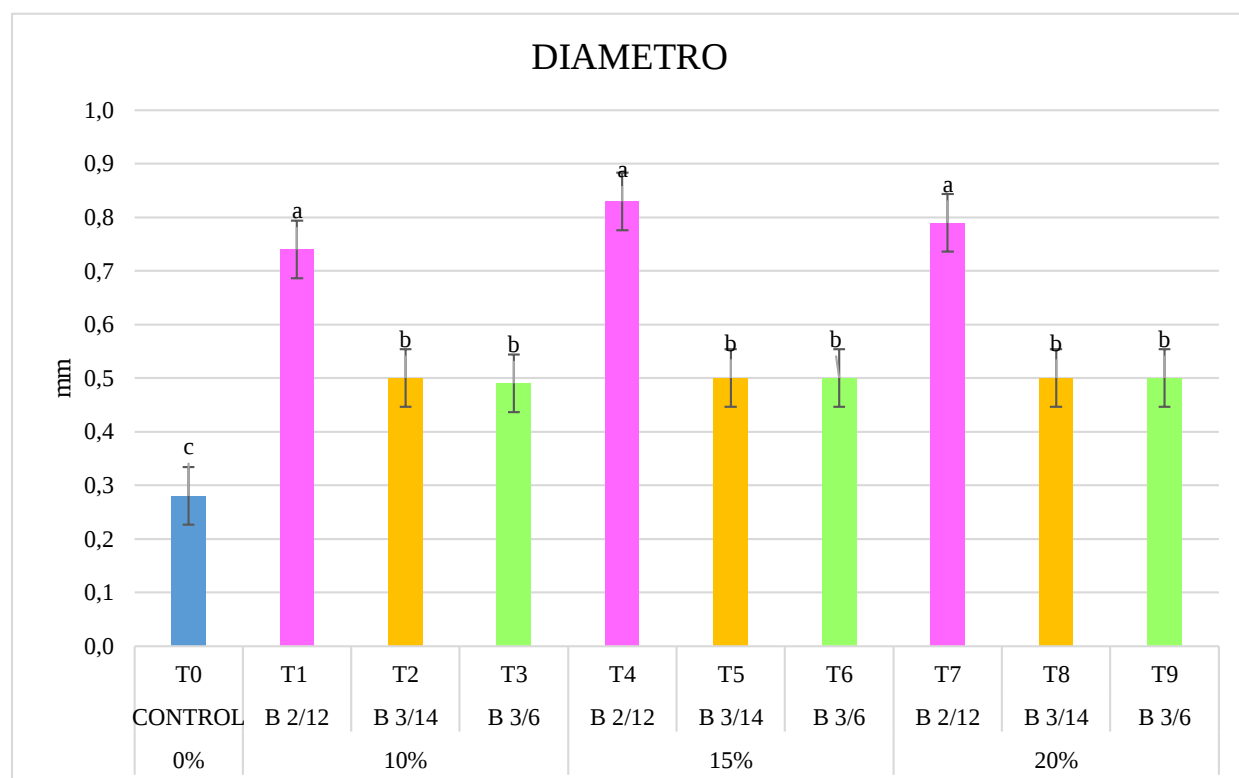
Las barras de error indican $\pm$ ES; diferentes letras muestran diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (test Tukey).

4.3. Diámetro del tallo

Según los resultados obtenidos para variable de diámetro en plántulas de *G. arbórea* se obtuvo una respuesta positiva debido a la inoculación de las bacterias PGPR. Esto debido a que dichas bacterias favorecieron la activación de fitohormonas, específicamente del grupo de las auxinas. Las auxinas son un grupo de hormonas vegetales naturales que regulan muchos aspectos del desarrollo y crecimiento de plantas (24). Los mejores resultados corresponden a la bacteria 2/12 todas sus concentraciones, aunque los valores de cada bacteria fueron estadísticamente iguales y su control fue inferior a los demás tratamientos, este último con valores inferiores al 0,4 mm (Figura 3).

Figura 3

Efectos de la inoculación de las bacterias PGPR en el diámetro en plántulas de G. arbórea. Evaluación a los 40 días. Vivero de la UTEQ de la Campus “La María”, 2022.



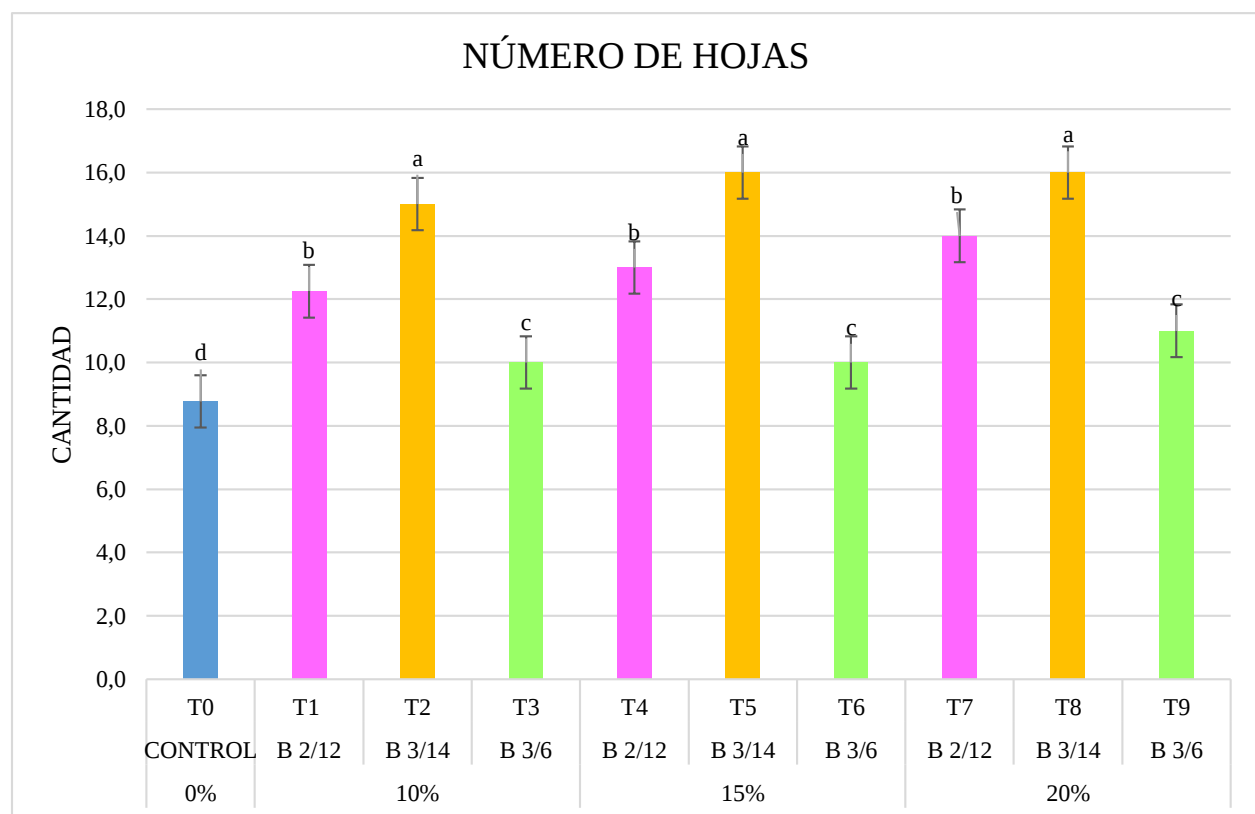
Las barras de error indican $\pm$ ES; diferentes letras muestran diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (test Tukey).

4.4. Número de hojas

El número de hojas en plántulas de *G. arborea* fue afectado positivamente por la presencia de bacterias PGPR. Estas bacterias ayudaron a la activación de fitohormonas, particularmente al grupo de las citoquininas. Pueden sustentar e iniciar la proliferación de tejidos vegetales madre. Permite producir una alta proliferación y división celular. Se produce con mayor abundancia en las células de los ápices radiculares (25). Los mejores resultados se obtuvieron en la bacteria 3/14 en cada una de sus concentraciones siendo estadísticamente diferente a los otros tratamientos y su control, este último con valores inferiores a nueve (Figura 4).

Figura 4

Efectos simples de la inoculación de las bacterias PGPR en el número de hojas en plántulas de G. arborea. Evaluación a los 40 días. Vivero de la UTEQ de la Campus “La María”, 2022.



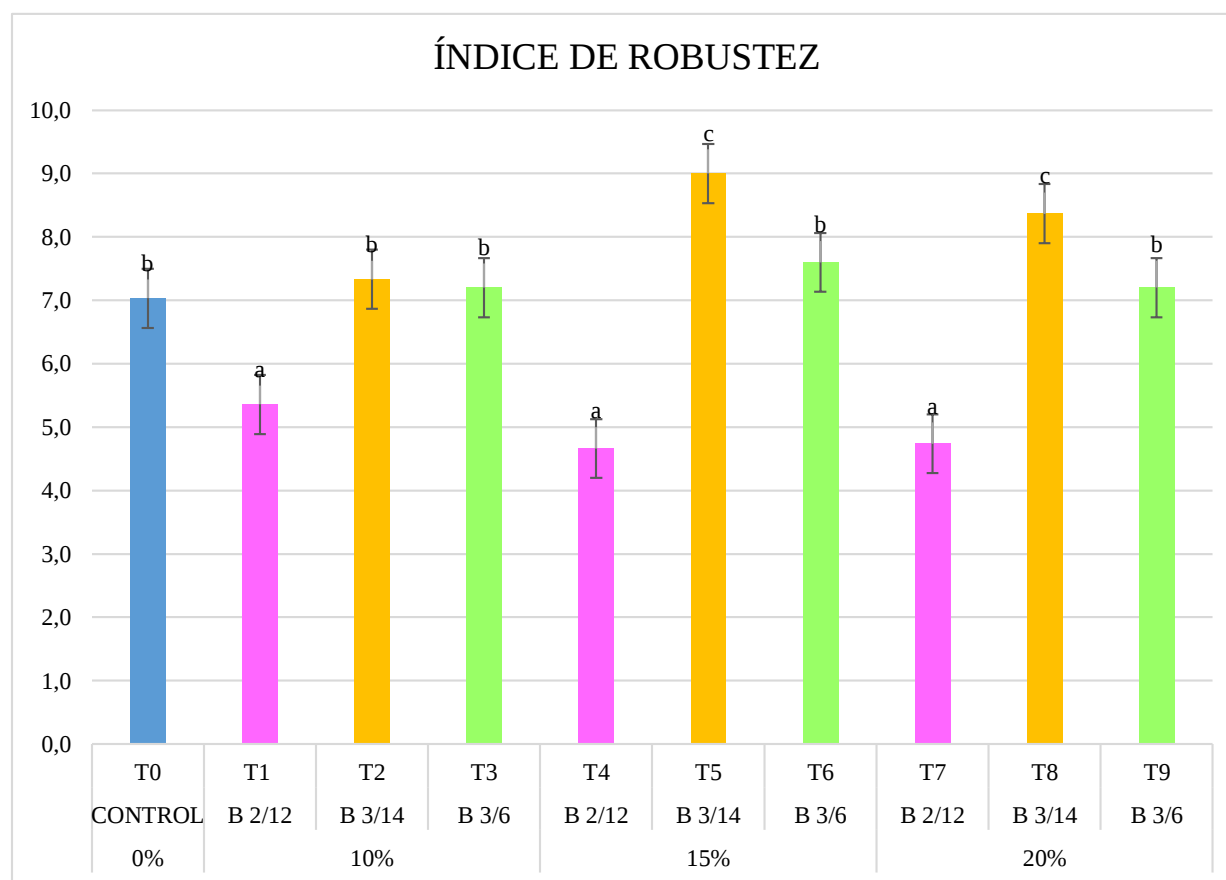
Las barras de error indican $\pm$ ES; diferentes letras muestran diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (test Tukey).

4.5. Índice de robustez

El índice de robustez en plántulas de *G. arborea* fue influenciado positivamente por la presencia de PGPR en la especie en estudio. Este índice refleja la relación entre la altura de la planta (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm). El menor valor indica que se trata de arbolitos más bajos y gruesos, aptos para sitios con limitación de humedad, ya que valores superiores los dispone a los daños por viento, sequías y heladas (22). Los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos T1 los cuales corresponden a la bacteria 2/12, siendo estadísticamente diferente a los otros tratamientos y su control, con valores superiores a 7,0 (Figura 5).

Figura 5

Valores obtenidos sobre índice de robustez en plántulas de *G. arborea*. Evaluación a los 40 días. Vivero de la UTEQ de la Campus “La María”, 2022.



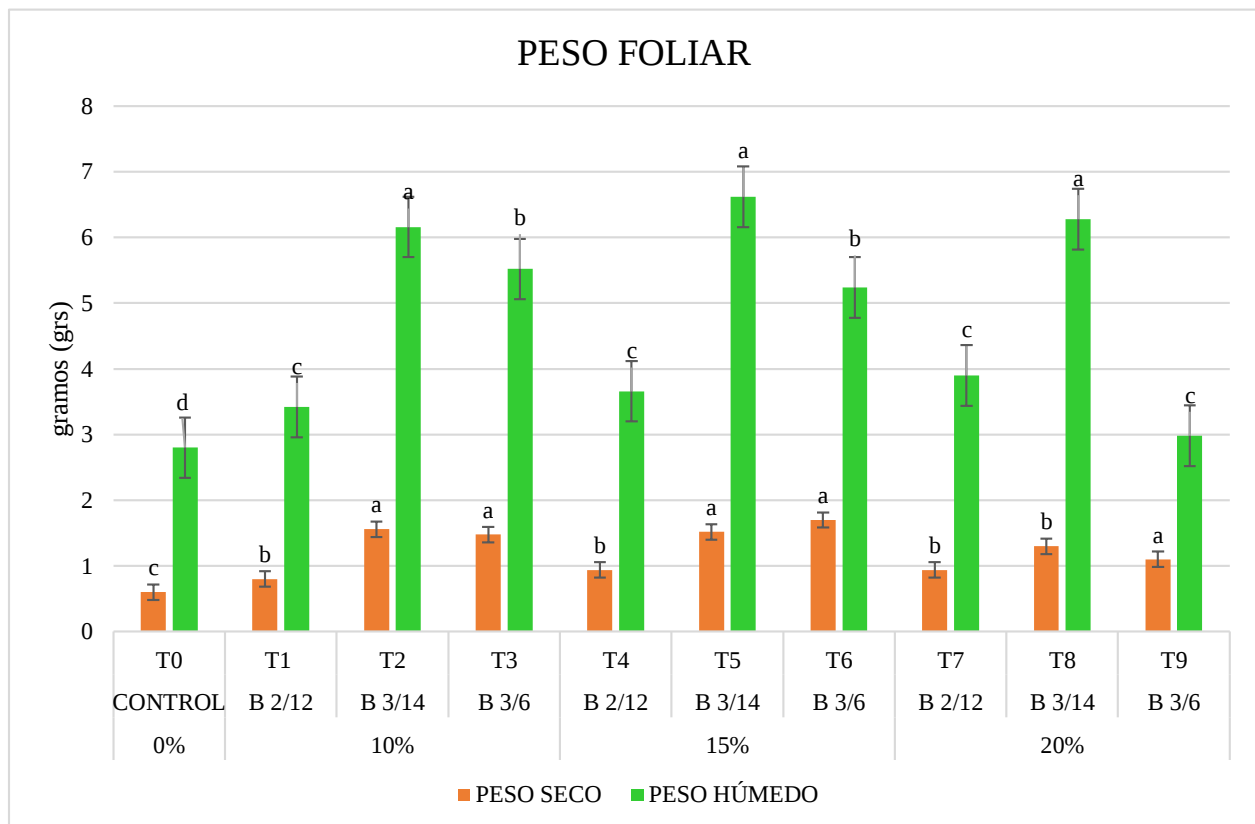
Las barras de error indican $\pm$ ES; diferentes letras muestran diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (test Tukey).

4.6. Peso foliar

Las bacterias PGPR potenciaron positivamente al peso foliar de las plántulas de *G. arbórea*. Estas bacterias ayudaron a la activación de fitohormonas, particularmente al grupo de las citoquininas. Pueden sustentar e iniciar la proliferación de tejidos vegetales madre. Permite producir una alta proliferación y división celular. Se produce con mayor abundancia en las células de los ápices radiculares (25). Los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos T2, T5 y T8 los cuales corresponden a la bacteria 3/14, siendo estadísticamente diferente a los otros tratamientos y su control, este último con valores inferiores al 2,8 g (Figura 6).

Figura 6

Valores obtenidos del peso foliar en cuanto al peso seco y húmedo en plántulas de *G. arbórea*. Evaluación a los 40 días. Vivero de la UTEQ de la Campus “La María”, 2022.



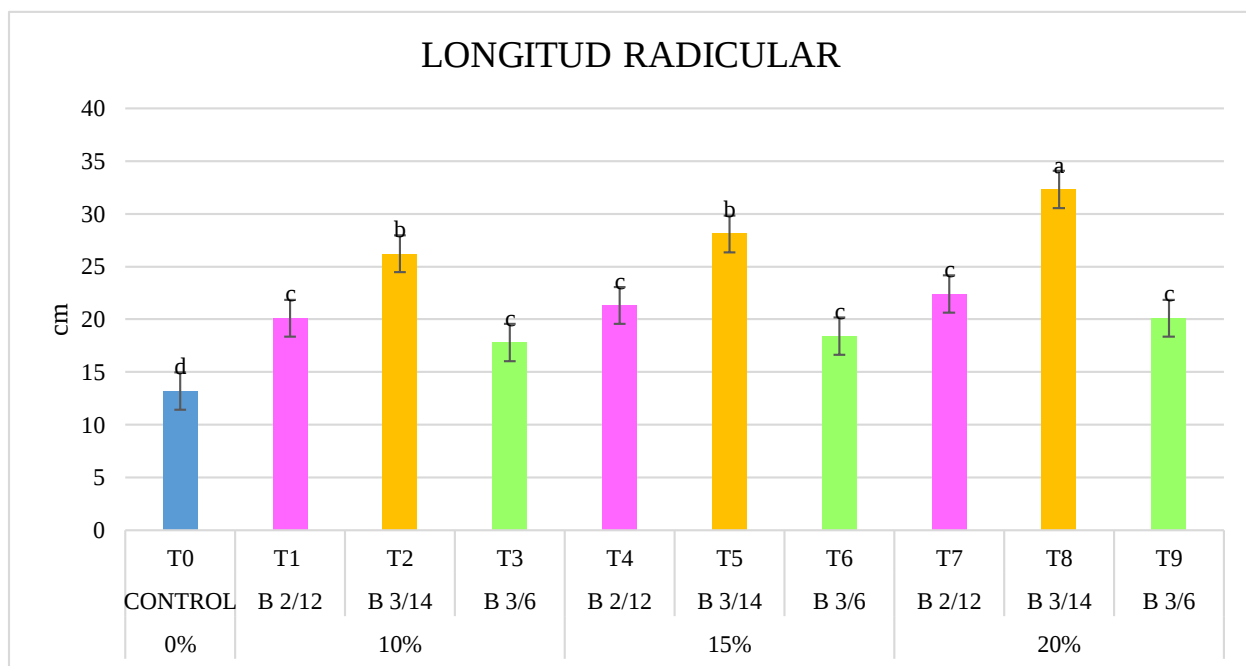
Las barras de error indican $\pm$ ES; diferentes letras muestran diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (test Tukey).

4.7. Longitud radicular

Según los resultados obtenidos, en cuanto a la longitud radicular de las plántulas de *G. arbórea* se obtuvieron resultados favorables debido a la inoculación de las bacterias PGPR. Esto se debe a que las bacterias PGPR favorecieron la activación de fitohormonas, específicamente del grupo de las auxinas. Las estrigolactonas potencializa el desarrollo de raíces. Puede aumentar el desarrollo radicular cuando se combina con ciertas auxinas (25). Diversos bioensayos han sido descritos para analizar respuestas a auxinas, uno de los ensayos que caracterizan el efecto de auxinas en el desarrollo es la regulación del crecimiento radicular el cual es definido desde el desarrollo embrionario (26). Los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos T8 el cual corresponden a la bacteria 3/14 al 20%, siendo estadísticamente diferente a los otros tratamientos y su control, este último con valores inferiores al 13,2 cm (Figura 7).

Figura 7

Valores obtenidos sobre la longitud radicular en plántulas de *G. arbórea*. Evaluación a los 40 días. Vivero de la UTEQ de la Campus “La María”, 2022.



Las barras de error indican $\pm$ ES; diferentes letras muestran diferencias significativas entre los promedios a $p < 0.05$ (test Tukey).

4.9 Discusión

Las bacterias PGPR poseen la función de tener diversos mecanismos para impulsar el incremento de la planta, entre los que se menciona un incremento de la movilización de nutrimentos fijación de nitrógeno, mejoramiento en la absorción de nutrientes y control biológico de patógenos; mediante dichos diferentes mecanismos las rizobacterias estimulan el aumento y productividad de diferentes especies forestales González *et al.*, (27). En las condiciones experimentales, la aplicación de bacterias PGPR y su impacto indujeron de manera significativa el desarrollo morfológico de las plantas.

El porcentaje de germinación en semillas de *G. arbórea* los mayores porcentajes se obtuvieron de los tratamientos T1, T2, T3 los cuales corresponden a la bacteria 2/12, con sus diferentes concentraciones, obteniendo valores de 30, 40 y 80 %, siendo estadísticamente superiores a los otros tratamientos y su control con valores inferiores al 20%. Lo anterior coincide con autores como Barreto *et al.*, (28) los cuales reportaron el impacto de microorganismos rizósfericos sobre la germinación de *Anacardium excelsum* que fueron tratadas con bacterias del género *Bacillus* licheniformis, *Pseudomonas putida* y *Pseudomonas fluorescens* donde las semillas alcanzaron una germinación de 2% al quinto día, afirmando que las bacterias del género *Pseudomonas* sp.

En el presente trabajo de investigación se obtuvieron los mayores resultados de altura en las plántula de *G. arbórea*, de la bacteria 3/14, en las tres concentraciones que fueron al 10, 15 y 20% con un promedio de 46 cm, que fueron obtenidas en la evaluación final del trabajo de investigación, en cuanto a la bacteria 2/12 y 3/6 se obtuvieron promedios que no superan los 40 cm; siendo superiores al control que no superan los 23 cm. Castro *et al.*, (29) evaluaron la inoculación de la cepa *Pseudomonas fluorescens* CaChRI41R1 en plántulas de *Cordia alliodora*, donde presentó efectos positivos en relación a la longitud de plántulas hasta en un 45% superiores comparado con los valores del testigo en fase de vivero gracias a la síntesis de AIA; producción de sideróforos y solubilización de fósforo por la bacteria. Rueda *et al.*, (30) Confirma que las aplicaciones de bacterias promotoras de aumento vegetal poseen la característica de generar o

Intervenir como inductores en la síntesis de fitohormonas, las que componen las auxinas y giberelinas (AG3) para el incremento del tallo.

El diámetro de las plantas está referente con la supervivencia de la planta en campo; el valor mínimo sugerido es de 5 mm para especies forestales García *et al.*, (31) menciona que las rizobacterias generan quitinasa, glucanasas, proteasas cumpliendo el papel de intervenir en el refuerzo del muro celular y el biocontrol de los patógenos, la literatura mencionada coincide con los tratamientos, donde se comprobó que los valores del diámetro eran superiores en la inoculación con la bacteria 2/12 en todas las concentraciones daban un promedio de 0,8 mm, las bacterias 3/6 y 3/14 obtuvieron promedios inferiores a 0,8mm comparativamente superior a las plantas sin inoculante bacteriano (control) que no superaron los 0,3 mm.

La aplicación de bacterias PGPR, promovieron el incremento de número de hojas, se comprobó diferencia entre los tratamientos destacando los tratamientos T5 y T6 con un promedio de 16 hojas con una concentración al 15%. Las plantas de *G. arbórea* sin inoculante bacteriano presentaron menor efectividad respecto a número de hojas con valores promedio de 10,2. Dichos resultados son inferiores a los descritos por Krishnan *et al.*, (32) donde enseñó el crecimiento de hojas en un 35% comparativamente al control en plántulas de *Simarouba glauca* por medio de la aplicación de rizobacterias del género *Azospirillum* spp. Y *Azotobacter* spp. Según Lavania *et al.*, (33) una vez que las plantas son colonizadas por rizobacterias promotoras del incremento vegetal, estimulan a la producción de enzimas hidrolíticas y citoquininas que ayudan a la emisión de hojas y la defensa de patógenos.

Se obtuvieron valores favorables en el índice de robustez en los tratamientos T6, T9 con promedios de 95,8 y 95,6 siendo superiores a los tratamientos sin inoculante bacteriano, estos tratamientos obtuvieron valores promedios inferiores de 79,3. La aplicación de bacterias PGPR promovieron el aumento del peso foliar. Se obtuvieron promedios estadísticamente iguales en el peso húmedo en los T2, T5, T6 con promedios de 6,16; 6,62 y 6,28 gr siendo superiores a los tratamientos sin inoculante bacteriano, estos tratamientos obtuvieron valores promedios inferiores de 2,8 gr, en cuanto al peso seco se obtuvieron valores más altos en T2, T5 y T6. Lo cual se Comprueba que tanto en el peso seco como en el peso húmedo los valores más altos fueron T2,

T5 y T6, Angulo *et al.*, (34) concluyeron que las cepas de rizobacterias del genero *Arthrobacter*, *Lysinibacillus*, *Rahnella* y *Bacillus* aplicadas en consorcio promovieron de manera significativa las plántulas de *Eucalyptus nitens* gracias a la producción de ácido indolacético (AIA), solubilización de fosfato y manifestar 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) desaminasa. Las rizobacterias promueven una más grande biomasa en la plántula ya que acciona a una más grande almacenamiento de nutrientes por la producción de fitohormonas que se activan diferencialmente en los procesos metabólicos de la planta, entre ellas participa las auxinas, citoquininas y giberelinas.

La aplicación de bacterias PGPR promovieron el aumento en la longitud radicular de las plántulas de *G. arbórea*, la cual fue alta en los tratamientos estadísticamente con unos promedios de 32,3, 28,1 y 26, 4 cm respectivamente. Los tratamientos sin inoculante bacteriano presentaron valores inferiores respecto a la longitud radicular con un promedio de 21,8 cm respectivamente. Maharana *et al.*, (35) han realizado un experimento para evaluar el aumento en plántulas de *Gmelina arbórea* Roxb. Usando bacterias del género *Azospirillum* sp. Incrementando la longitud radicular en un 19,33 centímetros comparativamente al control en una época de tiempo de 210 días. Díaz (36) menciona en este entorno el desarrollo importante en el desarrollo de las raíces es gracias a la producción bacteriana de AIA (ácido-indol-acético) y la alta sensibilidad de las raíces a esa hormona podría ser importante en la contestación a la inoculación, bacterias que secretan bajos niveles de AIA estimularían la longitud de las raíces, en lo que bacterias que generan elevado grado de auxinas promoverían la formación de raíces laterales o el desarrollo de pelos absorbentes.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El efecto de la inoculación de bacterias PGPR en la etapa de vivero en plántulas de *G. arborea*, fue bueno y consistente, ya que reportó excelentes resultados en todas las variables evaluadas referentes al crecimiento vegetal, potenciando el crecimiento y desarrollo en cada una de sus fases (germinación, repique y crecimiento inicial).
- La inoculación de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal influyen positivamente al desarrollo y crecimiento de las plántulas de *G. arborea* en cada una de las variables que fueron evaluadas en el presente proyecto de investigación, se puede indicar que la concentración idónea fue al 20%, ya que presentó valores superiores en distintas variables de estudio en comparación a las otras concentraciones que fueron utilizadas.

5.2. Recomendaciones

- Utilizar las bacterias PGPR de este proyecto de investigación que en este caso son las bacterias *Acinetobacter calcoaceticus*, *Pseudomonas putida* y *Enterobacter asburiae*, para realizar investigaciones sobre especies forestales ya que existe poca investigación en plantas de interés forestal.
- Preparar un gran número de cultivo de bacterias PGPR para aplicarlos plántulas de origen forestal con el fin de realizar nuevos estudios de efectividad en campo.
- La inoculación de la bacteria 2/12 en semillas provenientes de especies forestales para promover de forma más rápida la germinación, con el fin de realizar nuevos estudios de efectividad en campo.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía

1. Chaudhary T, Shukla. Bioinoculants for Bioremediation Applications and Disease Resistance: Innovative Perspectives. Indian J Microbiol. 2019; 2(59): p. 129-136.
2. Gomes D, Radi , Silva G. Growth-promoting bacteria change the development of aerial part and root system of canola. Ciencias Agrarias. 2018; 39(6): p. 2375-2384.
3. Prieto R, Vera C, Merlín B. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Durango, Dgo., México; 2003.
4. Rojas , Arias , Moya , Meza , Murillo , Arguedas. Manual para productores de melina Gmelina arborea en Costa Rica. Cartago: Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
5. Patiño V, La Garza Y, Villagomez A, Talavera A. Guía para la recolección y manejo de semillas de especies forestales. Subsecretaría Forestal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales.
6. Cedeño C. Evaluación del crecimiento inicial de Eucalyptus urograndis, Gmelina arborea Roxb y Ochroma pyramidale Cav bajo la aplicación de cuatro dosis de potasio en la hacienda Zoila Luz de Santo Domingo. Santo Domingo.: Escuela Politécnica del Ejército.; 2010.
7. FAO. Situación de los bosques del mundo : Organización de las Naciones Unidas; 2003.
8. Montoya E. Efectos de la aplicación de estimulantes pregerminativos y diferentes tipos de sustratos, en la germinación de semillas de Gmelina arborea Roxb. Universidad Tecnica Estatal de Quevedo.
9. Arreaga V, Cervantes V, Vargas M. Manual de Reforestación con Especies Nativas: Colecta y Preservación de Semillas, Propagación y Manejo de Plantas. México, D.F.: Facultad de Ciencias UNAM..

10. Brinkmann V, Reichard U, Goosmann C, Fauler B, Uhlemann Y, Weiss D. Neutrophil Extracellular Traps Kill Bacteria..
11. Paredes M, Espinosa D. Organic acids produced by phosphate solubilizing rhizobacteria: a critical review. *Terra Latinoamericana*. 2010; 28(1): p. 61-70.
12. Moreno A, García V, Reyes J, Vásquez J, Cano P. Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*. 2018; 20(1): p. 68-83.
13. Noel R. “Estudios de rizobacterias promotoras del crecimiento (pgpr) como alternativa de aplicación a suelos con limitantes abióticas”..
14. Fernández J. Efecto de bacterias promotoras de crecimiento vegetal en el cultivo de café (*Coffea arabica* L. var. ‘típica’) en sus primeros estadios de su desarrollo..
15. Galaviz C. Cambios en la estructura de la comunidad bacteriana en la rizósfera de mezquite amargo (*Prosopis asticulata* S. Watson) por la inoculación con la bacteria promotora del crecimiento en las plantas (PGPB) *Bacillus pumilus*..
16. Schoebitz M. Aislamiento y caracterización de bacterias promotoras de crecimiento vegetal de la rizósfera de *Lolium perenne* L. de suelo volcánico (modelo género *Azospirillum* spp.)..
17. Camelo M, Vera S, Bonilla R. Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 2011; 2(12): p. 159-166.
18. Peix A, Lang E, Verbarg S, Spröer C, Rivas R, Santa-Regina I, et al. *Acinetobacter* strains IH9 and OCI1, two rhizospheric phosphate solubilizing isolates able to promote plant growth, constitute a new genomovar of *Acinetobacter calcoaceticus*. *Systematic and applied microbiology*.

19. Cano M. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 2011; 14(2): p. 15-31.
20. Yin L, Sulaiman J, Woon J, Wai-Fong Y, Kok-Gan C. Quorum Sensing Activity of *Enterobacter asburiae* Isolated from Lettuce Leaves. *Sensors*. 2013; 13(10): p. 14189-14199.
21. Gad municipal de Quevedo. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. [Online]; 2016. Disponible en: <https://quevedo.gob.ec/quevedo-en-la-historia/>.
22. Rodríguez DA. Indicadores de calidad de planta forestal México: Mundi Prensa; 2008.
23. Hedden P, Kamiya Y. Gibberellin biosynthesis: enzymes, genes and their regulation, *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol.* 1997; 48(431–460.).
24. Ludwig-Müller J, Cohen J. Identification and quantification of three active auxins in different tissues of *Tropaeolum majus*. *Physiologia Plantarum*. 2002; 115 (320–329).
25. Alcantara J, Acero , Alcántara J, Sánchez. Principales reguladores hormonales y sus interacciones en. 2019; 17 (32)(109-129).
26. Jenik P, Barton. Surge and destroy: the role of auxin in plant embryogenesis. *Development*. 2005; 132(3577-3585).
27. González A, Almaraz J, Ferrera R, Rodríguez M, Taboada O, Trinidad A, et al. Caracterización y selección de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de chile poblano (*capsicum annuum* l.). *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*. 2017; 33(3)(463–474).
28. Barreto D, Valero N, Muñoz A, Peralta A. Efecto de Microorganismos Rizosféricos sobre germinación y crecimiento temprano de *Anacardium Excelsum*. *Zonas Áridas*. 2007; 11(1)(240–250.).

29. Castro S, Roa C. Bacterias endofitas de *Cordia alliodora* oken y *Tabebuia rosea bertold* d.c: Potencial como promotoras de crecimiento vegetal en la propagación de su hospedero..
30. Rueda E, Villegas J, Gerlach L, Tarazón M, Murillo B, García J, et al. Efecto de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal sobre la germinación de *Salicornia bigelovii*. *Terra Latinoamericana*. 2009; 27(4)(345-354).
31. García J, Probanza A, Ramos B, Barriuso J, Manero F. Effects of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) and *Sinorhizobium fredii* on biological nitrogen fixation, nodulation and growth of *Glycine max* cv. Osumi. *Plant and Soil*. 2004; 267(1-2)(143-153.).
32. Krishnan P, Rajapandian S, Selvi T. Influence of inoculation of biofertilizers on growth and biomass productivity of *Simarouba Glauca* seedlings. *My forest*. 2004; 40(2)(197-202.).
33. Lavania M, Chauhan P, Chauhan S, Singh H, Nautiyal C. Induction of plant defense enzymes and phenolics by treatment with plant growth–promoting rhizobacteria *Serratia marcescens* NBRI1213. *Current microbiology*. 2006; 52(5)(363-368).
34. Angulo V, Sanfuentes E, Rodríguez F, Sossa Y. Caracterización de rizobacterias promotoras de crecimiento en plántulas de *Eucalyptus nitens*. *Revista Argentina de Microbiología*. 2014; 46(4)(338–347).
35. Maharana R, Dobriyal M, Behera L, Sukhadiya M. Enhancement of seedling vigour through biofertilizers application in gamhar (*Gmelina arborea* Roxb.). *Ijcs*. 2018; 6(5)(54–60.).
36. Díaz K. Identificación de genes de respuesta a sequía, en hojas y raíces de un genotipo de *eucalyptus globulus* tolerante al estrés. Universidad de Concepción Dirección de Postgrado Facultad de Ciencias Forestales-Programa de Doctorado en Ciencia Forestales. Universidad de Concepción.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

7.1. Anexos

Anexo 1. Bacterias PGPR. Bacteria *Acinetobacter calcoaceticus* (2/12), *Enterobacter asbiriae* (3/14) y *Pseudomonas putida* (3/6).



Anexo 2. Preparación de bacterias para la inoculación.



Anexo 3. Inoculaciones de bacterias en semillas de *G. arborea*.



Anexo 4. Inoculaciones de bacterias en plántulas de *G. arborea*.



Anexo 5. Evaluación de las distintas variables morfológicas (Tamaño de plántula, peso foliar y longitud radicular) de la especie forestal *G. arborea*.



Anexo 6. Efectos de la inoculación de las bacterias PGPR 40 días después de su evaluación.
Inoculación de la bacterias 2/12, 3/14 y 3/6 en plántulas de *G. arbórea*.



