

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SUELOS**



**“VIGOR DE SHIHUAHUACO (*Dipteryx spp.*) Y BIOMASA
MICROBIANA DE SUELOS DEGRADADOS EN SELVA CON DOS
BIOFERTILIZANTES”**

Presentada por:

DIANA AYALA MONTEJO

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN
SUELOS**

Lima - Perú

2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN SUELOS**

**“VIGOR DE SHIHUAHUACO (*Dipteryx spp.*) Y BIOMASA
MICROBIANA DE SUELOS DEGRADADOS EN SELVA CON
DOS BIOFERTILIZANTES”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

DIANA AYALA MONTEJO

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Braulio La Torre Martínez
PRESIDENTE

Dr. Sady Javier García Bendezú
PATROCINADOR

Dr. Gilberto Domínguez Torrejón
Co-PATROCINADOR

Dr. Julio César Alegre Orihuela
MIEMBRO

Dr. Constantino Sabino Calderón Mendoza
MIEMBRO

DEDICATORIA

A todas aquellas personas que me dieron todo su apoyo incondicional y aliento para la elaboración de la presente investigación.

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar un trabajo tan arduo y lleno de dificultades como constituye el desarrollo de una investigación, es inevitable que un muy humano egocentrismo nos condicione a resaltar exclusivamente el aporte final de la tesis. Sin embargo, el análisis objetivo muestra inmediatamente que la magnitud de ese aporte hubiese sido imposible sin la participación de personas e instituciones que han facilitado las cosas para que este trabajo llegue a un feliz término. Por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justa y consecuente con ellas, expresándoles mis agradecimientos.

Quiero dejar expreso mi más profundo agradecimiento al Dr Sady Javier García Bendezú por aceptarme realizar esta tesis bajo su dirección. Tanto su apoyo y confianza en mi trabajo como su capacidad para guiar mis ideas han sido aportes invaluable, los cuales no solamente contribuyeron con el desarrollo de esta tesis, sino también con mi formación como investigadora. Las ideas propias, siempre enmarcadas con orientación y rigurosidad, han sido la clave para la realización de esta tesis

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al Dr. Julio César Alegre O. por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. Deseo destacar principalmente su disponibilidad, su siempre atenta y efectiva colaboración, su paciencia tanto a nivel científico como personal. Indudablemente su participación ha enriquecido el trabajo realizado y, además, ha significado el surgimiento de una sólida amistad.

Asimismo, quiero extender un sincero agradecimiento al Dr. Constantino Sabino Calderon Mendoza por su paciencia, disponibilidad y generosidad para compartir su amplio conocimiento y experiencia sobre fertilizantes orgánicos. Estoy agradecida también por sus siempre atentas y rápidas respuestas a las diferentes inquietudes surgidas durante el desarrollo de este trabajo, el cual se ha visto también reflejado en los buenos resultados obtenidos.

Al Dr. Gilberto Domínguez, por su apoyo incondicional por brindarme consejos y técnicas, realizar críticas constructivas y darme aliento, los cuales han constituido una siempre atenta y efectiva colaboración para seguir a delante con el desarrollo de la presente tesis.

Por supuesto, quiero agradecer el valioso apoyo, consejos, críticas y aliento que me ha brindado el Mg. Sc. Braulio La Torre Martínez, con los cuales eh podido continuar con el desarrollo de la tesis.

Vayan también mis más sinceros agradecimientos a todos los miembros del Departamento de Suelos (profesores, técnicos y personal administrativo) por su colaboración y valioso aporte realizados durante las innumerables veces que estuve en los laboratorios del citado departamento.

Para mis amigas, tengo sólo palabras de agradecimiento, especialmente por aquellos momentos en los que no pude colmar sus expectativas. Ha sido un camino largo y difícil en el que, algunas veces, la fijación por lograr los objetivos personales puede llevarnos a restar la importancia de la amistad. Sin embargo, como todas actividad de

la vida, siempre hay algunos criterios a priorizar y por eso quiero agradecer especialmente a Wendy Pérez, quién ha sido siempre generosa al darme palabras de aliento y estar siempre dispuestas a compartir conocimientos, críticas y experiencias de tipo profesional y personal, los cuales fueron de gran valor para mí.

Un agradecimiento muy especial para mi esposo Gabriel Ciro Quispe Huisñay debido a que sin su apoyo, críticas, cariño, aliento, amor y comprensión, yo no hubiera culminado satisfactoriamente la presente investigación. Gracias Gabriel por ayudarme y acompañarme en los momentos más difíciles.

Guardo un especial reconocimiento a mi familia, especialmente a mis padres y hermanos, quienes me apoyaron dándome aliento, consejos, cariño y mucho optimismo para salir a adelante. Sin su valiosa ayuda no hubiera podido llevar a cabo esta difícil tarea investigativa.

VIGOR DE SHIHUAHUACO (*Dipteryx spp.*) Y LA BIOMASA MICROBIANA DE SUELOS DEGRADADOS EN SELVA CON DOS BIOFERTILIZANTES

RESUMEN

El shihuahuaco (*Dipteryx spp.*), es un árbol de gran demanda a nivel nacional e internacional, debido a que posee buenas propiedades físico-mecánicas para su aprovechamiento en deking, parquet y otro tipo de pisos de alta cotización en el mercado. Actualmente, el aprovechamiento y el poco manejo de la especie provoca que está no se regenere, reduciendo su disponibilidad. Para contrarrestar los problemas de establecimiento en el área reforestada de Campo Verde Huánuco, se consumen fertilizantes sintéticos, pero aún no se obtienen buenos resultados, constantemente se realizan recalces. La presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de biofertilizantes sobre la actividad microbiana del suelo y su influencia en el vigor de los plantones de Shihuahuaco. Se prepararon dos biofertilizantes utilizando suelo extraído bajo la copa de árboles de shihuahuaco como inóculo y empleando un medio compuesto de melaza, afrecho y agua. El suelo fue colectado de zonas inundables y no inundables en la EEAVH del INIA. Se incluyó también un biofertilizante elaborado a partir de bacterias lácticas y un tratamiento testigo. En el bioensayo, se utilizaron 108 plantones de un año de edad, clasificados en tres categorías de vigor. Los biofertilizantes fueron aplicados al suelo de tres parcelas bajo la copa de los plantones. Se empleó un DBCA, con arreglo factorial de 3 niveles de vigor por 4 tratamientos y con 3 repeticiones. Se evaluaron la altura y diámetro en las plantas y la población microbiana en el suelo. Los biofertilizantes preparados mostraron presencia de *Azospirillum* sp, y actividad giberélica y auxínica. El biofertilizante a partir de bacterias lácticas incrementó significativamente la población de hongos, bacterias, actinomicetos, biomasa microbiana y respiración del suelo, así como el diámetro y alturas de los plantones. Los biofertilizantes preparados no afectaron los parámetros mencionados.

Palabras Claves: Biofertilizantes, suelos degradados, actividad microbiana, Shihuahuaco, bacterias lácticas, microorganismos nativos.

**SHIHUAHUACO STURDY (*Dipteryx* spp.) AND DEGRADED SOIL
MICROBIAL BIOMASS IN JUNGLE WITH TWO BIOFERTILIZANTES**

ABSTRACT

Shihuahuaco (*Dipteryx* spp.) is a tree of great demand nationally and internationally, because it has good physical-mechanical properties for use in deking, parquet and other floors of high quotation on the market. Currently, the use and little management of the species cause not regeneration, reducing its availability. Synthetic fertilizers are consumed to counter the problems of establishment in the Campo Verde Huanuco reforested area, but not with good results, constantly making underpinning. This research aims to evaluate the effect of biofertilizers on soil microbial activity and its influence on the sturdy of the Shihuahuaco seedlings. Both biofertilizers (Shi 1, Shi 2) were made of soil extracted under the canopy of Shihuahuaco trees as inoculum and using a medium composed of molasses, bran and water. The soil was collected from flooded and non-flooded areas in EEAVH INIA. A biofertilizer made from lactic acid bacteria and a control treatment was also included. 108 seedlings a year old classified into three categories of sturdy were used in the bioassay. Biofertilizers were applied to the soil of three plots under the canopy of the seedlings. DBCA factorial arrangement was used with 3 levels of sturdy for 4 treatments and 3 repetitions. The height and diameter in plants and microbial population in the soil were evaluated. Shi 1 and Shi 2 showed presence of *Azospirillum* sp., gibberellic and auxin activity. The biofertilizer from lactic acid bacteria significantly increased the population of fungi, bacteria, actinomycetes, soil respiration, height and diameter of the seedlings.

Key Words: Biofertilizers, degraded soils, microbial activity, Shihuahuaco, lactic bacteria, native microorganismos

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	MARCO TEÓRICO	4
	2.1. Nutrición en las plantas y los tipos de biofertilizante	4
	2.1.1. Nutrición en las plantas	4
	2.1.2. Importancia de los nutrientes en las plantas	6
	2.1.3. Tipos de fertilización	8
	2.1.3.1. Fertilización química	8
	2.1.3.2. Fertilización orgánica	8
	2.2. Efectos más importantes de los abonos orgánicos en las propiedades del suelo	10
	2.3. Los biofertilizantes como mejoradores del suelo	12
	a) Microorganismos eficientes (EM)	13
	b) Bacterias lácticas (B. Lac)	14
	2.4. Descripción y características del Shihuahuaco	16
	2.4.1. Descripción botánica	16
	2.4.2. Distribución geográfica	16
	2.4.3. Ecología del Shihuahuaco	17
	2.4.4. Descripción del género <i>Dipteryx</i> (Shihuahuaco)	17
III.	METODOLOGÍA	19
	3.1. Tipo de investigación	19
	3.2. Formulación de hipótesis	19
	3.3. Definiciones operacionales	19
	3.3.1. Área de estudio	19
	3.3.2. Metodología	22
	3.3.2.1. Para la obtención de los biofertilizantes	22
	3.3.2.2. Selección de parcelas	23
	3.3.2.3. Tratamientos aplicados	23
	3.3.2.4. Factores evaluados	24

3.3.2.5. Selección del número de individuos por parcela	25
3.3.2.6. Toma de muestras antes y después de aplicar los tratamientos	26
3.3.2.7. Aplicación de tratamientos	26
3.3.2.8. Variables evaluadas	26
3.3.2.9. Diseño de la investigación	29
3.3.2.10. Población y muestra	29
3.3.2.11. Instrumentos de colecta y datos	30
3.3.2.12. Procedimiento de análisis de datos	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	
4.1. Caracterización química de los biofertilizantes	31
4.2. Caracterización microbiológica de los biofertilizantes	32
4.3. Evaluación de la actividad giberélica y de auxinas	32
4.3.1. Prueba de la actividad giberélica	32
4.3.2. Prueba de la actividad auxínica	34
4.4. Análisis de caracterización y microbiológico de los suelos de las tres parcelas (UMF) antes y después de aplicados los tratamientos	36
4.4.1. Análisis de caracterización	36
4.4.2. Análisis microbiológico	38
4.4.2.1. Biomasa microbiana	38
4.4.2.2. Respiración en el suelo	39
4.4.2.3. Población total de bacterias, hongos y actinomicetos	41
4.4.2.4. Población de bacterias nitrificantes	44
4.4.2.5. Población de bacterias fijadoras de nitrógeno	45
4.4.2.6. Poblaciones de Azospirillum	47
4.5. Variables evaluadas en los individuos de <i>Dypterix</i> spp, antes y después de aplicados los tratamientos	48
4.5.1. Altura de planta	48
4.5.2. Diámetro de planta	49

V.	CONCLUSIONES	51
VI.	RECOMENDACIONES	53
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	54
VIII.	ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Escala de vigor en función del diámetro de base y altura total, para individuos de un año.....	24
Tabla 2: Análisis químico de los biofertilizantes.....	31
Tabla 3: Caracterización microbiológica de los biofertilizantes.....	32
Tabla 4: Propiedades físicas y químicas de los suelos antes del experimento.....	37
Tabla 5: Características físicas y químicas promedios de los suelos después de aplicados los tratamientos.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del proyecto de reforestación al inicio de las plantaciones (2002). Las áreas verdes representan los bosques, mientras que las amarillas representan las áreas no boscosas (áreas degradadas).....	20
Figura 2: Mapa de la plantación forestal con las unidades de manejo forestal (UMF) reforestadas.....	21
Figura 3: Distribución de las especies.....	22
Figura 4: Distribución de las 3 parcelas y los 36 individuos Shihuahuaco y selección de los puntos para realizar las calicatas según la variable vigor.....	25
Figura 5: Plateo y construcción de anillo para aplicación de biofertilizante.....	26
Figura 6: Elongación de segmentos de hipocótilo con las dosis de biofertilizante y AG3.....	33
Figura 7: Número de primordios radicales en segmento del hipocótilo de rabanito (<i>Raphanus sativus</i>) como respuesta a la aplicación de cinco diluciones de los tres biofertilizantes y el ANA.....	35
Figura 8: Número de primordios radicales en segmento del hipocótilo de <i>Raphanus sativus</i> “rabanito” como respuesta a la aplicación del ácido indol acético a diferentes diluciones.....	35
Figura 9: Prueba de Tukey para biomasa y respiración microbiana después de aplicados los tratamientos.....	40
Figura 10: Prueba de Tukey para biomasa y respiración microbiana antes de aplicados los tratamientos.....	40

Figura 11: Evaluación de hongos totales, para cada tipo de tratamiento. Las medias con igual letra no difieren entre sí, según la Prueba de Tukey ($p>0.05$).....	42
Figura 12: Evaluación de bacterias totales, para cada tipo de tratamiento, después de las aplicaciones. Las medias con igual letra no difieren entre sí, según la Prueba de Tukey ($p>0.05$).....	43
Figura 13: Evaluación de actinomicetos totales, para cada tipo de tratamiento, después de las aplicaciones. Las medias con igual letra no difieren entre sí, según la Prueba de Tukey ($p>0.05$).....	43
Figura 14: Prueba de Tukey para la variable dependiente Bacterias nitrificantes con el factor tipo de suelo (parcela), con un nivel de confianza de 95.0%.....	44
Figura 15: Prueba de Tukey para la variable dependiente Bacterias nitrificantes con el factor tipo de suelo (parcela), con un nivel de confianza de 95.0%.....	45
Figura 16: Efecto de la aplicación de tres biofertilizantes sobre la población de bacterias fijadoras de nitrógeno con el factor tipo de suelo (parcela). Valores seguidos con la el misma letra no son significatibvamente diferentes de acuerdo a la Prueba HSD de Tukey, con un nivel de confianza de 95.0%.....	46
Figura 17: Prueba de Tukey para evaluar la significancia de los tratamientos en la variable dependiente Bacterias fijadoras de nitrógeno, con un nivel de confianza de 95.0%.....	46
Figura 18: Prueba de Tukey para evaluar la significancia de las parcelas en las medias de del incremento de las poblaciones de <i>Azospirillum</i> , con un nivel de confianza de 95.0%.....	47
Figura 19: Prueba de Tukey para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, en las poblaciones de <i>Azospirillum</i> , con un nivel de confianza de 95.0%.....	48
Figura 20: Prueba de Tukey para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, en el incremento en altura de planta (m), con un nivel de confianza de 95.0%.....	49

Figura 21: : Prueba de Tukey para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, en el incremento en diámetro (cm) de planta, con el factor tipo de suelo (parcela), con un nivel de confianza de 95.0%50

Figura 22: Prueba de Tukey para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, del incremento en diámetro (cm) de planta, con un nivel de confianza de 95.0%50

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de varianza para biomasa después de aplicados los tratamientos.....	59
Anexo 2: Análisis de varianza para Respiración después.....	59
Anexo 3: Análisis de la Varianza para el incremento de la población Bacterias después de aplicados los tratamientos.....	59
Anexo 4: Análisis de la Varianza para el incremento de la población de Hongos después de aplicados los tratamientos.....	60
Anexo5: Análisis de la Varianza para el incremento de la población de Actinomicetos después de aplicados los tratamientos.....	60
Anexo 6: Análisis de la Varianza para el incremento de la población de bacterias nitrificantes después de aplicados los tratamientos.....	60
Anexo 7: Análisis de la Varianza para el incremento de la población de bacterias fijadoras de nitrógeno después de aplicados los tratamientos.....	61
Anexo 8: Análisis de la Varianza para el incremento de la población de <i>Azospirillum</i> después de aplicados los tratamientos.....	61
Anexo 9: Análisis de la Varianza para el incremento en la altura total de planta.....	61
Anexo 10: Análisis de la Varianza para el incremento en el diámetro de planta.....	62

I. INTRODUCCIÓN

El manejo de las plantaciones de Shihuahuaco (*Dipteryx* spp), en la localidad de Tornavista departamento de Ucayali, está asociado a la aplicación de productos químicos, los cuales demandan una alta inversión. Es por ello que muchos optan por el cambio del cultivo forestal a pastura en su mayoría, con la consecuente aplicación de productos químicos o sintéticos, cuyo efecto acumulado y global provoca el cambio climático, ya que la liberación de carbono alcanza hasta un 20 % por hectárea (Manta, 2008).

Las plantaciones forestales, generan beneficios materiales y ambientales, ya que aseguran puesto de trabajo y generan diez veces más ganancias que la agricultura; sin embargo, aún no existen incentivos para invertir en plantaciones forestales ni facilidades para lidiar con los inconvenientes financieros (Lombardi, 2008).

Estas plantaciones cumplen un rol importante en cuanto a la captura de carbono, aprovechando los leños de la mejor manera, obteniendo cantidades de carbono en los productos terminados y mejorando el servicio ambiental. Asimismo, aportan un rol importante en la conservación de suelos y disminución de problemas de escasez de agua (Lombardi, 2008).

Es por ello que se deben establecer plantaciones forestales de calidad (tanto a nivel industrial como urbano). Es decir, en buenas condiciones sanitarias y con rendimientos óptimos en su crecimiento. Para ello pueden utilizarse biofertilizantes, los cuales mejoran las condiciones en el suelo promoviendo la biomasa microbiana, así como también la microfauna que incrementa los nutrientes disponibles y algunos elementos para las plantas, reduciendo gastos de inversión. Un producto orgánico no deteriora los suelos, por el

contrario, tiene una acción benéfica sobre la vida de los suelos, y lo más importante, es un abono natural no contaminante y de menor valor económico (PROABONOS, 2009).

Varias instituciones se dedican al reciclaje de residuos orgánicos con la finalidad de producir abonos como el compost. En Chincha por ejemplo, el INIA, mediante la metodología de reciclaje de rastrojos, residuos de alimentos y material orgánico, obtuvo buenos resultados aumentando en 15 % los rendimientos de maíz (Roldan, 2008).

Por ello, en el mercado existen diversos tipos de biofertilizantes que promueven la transformación de la materia orgánica, sin embargo la mayoría son obtenidos a partir de cepas de residuos orgánicos como los lácteos, llamados B.Lac (bacterias lácticas), los cuales están basados en la fermentación de los residuos lácteos y sus derivados para obtener bacterias lácticas. Éstas, al ser aplicadas al suelo promueven altas concentraciones de nitrógeno. Otro fertilizante usado en el mercado es el E.M (microorganismos eficientes), basados en la fermentación de residuos de diferentes alimentos, entre ellos el arroz, desechos de plátano y pescado, de los cuales se obtiene un consorcio de organismos beneficiosos y altas concentraciones de nitrógeno.

Los biofertilizantes E.M y B.Lac, son importantes en la medida que aumentan el rendimiento y mejoran la sanidad de los plántones de especies forestales.

Actualmente muchas plantaciones tienen problemas de calidad de suelo y plagas insectiles como en el presente estudio, en el cual los plántones se encuentran sembrados en suelos degradados, afectando el vigor y el crecimiento de los plántones. Por tal motivo se espera que la aplicación de los microorganismos contenidos en los biofertilizantes mejore la calidad del suelo, promueva la disponibilidad de nutrientes para los plántones, mejorando el establecimiento de los mismos. Según Martínez y Peña (2005), el incremento productivo de las plantas es de 12 % en experimentos realizados en cultivos de grano de trigo; además, experimentaciones de Ayala (2010) con biofertilizante aplicados en especies forestales urbanas han dado buenos resultados, logrando establecer el 90 % de los

plantones a una concentración de 10 %, por lo cual motiva a probarlo en especies forestales maderables.

En la presente investigación se usará el biofertilizante B.Lac y dos biofertilizantes de cepas obtenidas a partir de una colección de suelos (0-10 cm), del área radicular de individuos semilleros de Shihuahuaco (*Dipteryx* spp) de un bosque natural “Von Humboldt” – Pucallpa – Ucayali.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente, la presente investigación tiene como objetivo contribuir al desarrollo de la actividad forestal, probando el uso de biofertilizantes accesibles, para fomentar la actividad microbiana del suelo y lograr el establecimiento de las plantaciones forestales maderables de Shihuahuaco (*Dipteryx alata* y *Dipteryx micranthra*).

II. MARCO TEÓRICO

2.1. NUTRICIÓN EN LAS PLANTAS Y LOS TIPOS DE FIOFERTILIZANTES

2.1.1. Nutrición en las plantas

Después de haber agotado las reservas de la semilla, las plantas obtienen sus alimentos del suelo y del aire por sus raíces y órganos aéreos (Gross, 1971):

- Por sus raíces, o con más precisión, por los finos pelos absorbentes que llevan las raicillas, las cuales extraen del suelo el agua y algunos elementos disueltos o parcialmente disueltos en las soluciones del suelo, tales como nitrógeno, fosforo, potasio, azufre, magnesio, calcio y los oligoelementos.

El agua es a su vez alimento y vehículo para la absorción de nutrientes de los fertilizantes. Las soluciones del suelo contienen no solamente pequeñas cantidades de elementos nutritivos disueltos, sino también gas carbónico y otros elementos ácidos procedentes de la descomposición de residuos orgánicos, gracias a los cuales ciertos cuerpos insolubles en el agua pura pueden pasar progresivamente a la solución. Las mismas raíces segregan sustancias ácidas capaces de atacar a algunas sales difíciles de disolver, haciéndolas más asimilables. De tal manera estas soluciones están muy concentradas y se empobrecen o enriquecen de acuerdo con la absorción de las raíces y el aporte de abonos por intercambio con los elementos fijados bajo forma de iones en el complejo coloidal arcilloso - húmico del suelo.

- Por sus órganos aéreos, las hojas y los restantes órganos aéreos pueden
- también absorber directamente estos elementos a través de sus tejidos superficiales. En la práctica se utiliza este beneficio haciendo pulverizaciones nutritivas muy diluidas en el curso de la vegetación.

Sin embargo, De Armas (1998) afirma que existe otro tipo de nutrición llamada exclusivamente nutrición foliar, la cual es un método de aplicación de los nutrientes vía foliar. Para ello se usan suspensiones o soluciones acuosas que se aplican sobre la superficie foliar de las plantas. En ocasiones los cultivos entran en un periodo crítico, en el cual es necesario añadir determinado nutriente y que éste llegue en forma rápida. En estos casos la aplicación foliar es más efectiva. También se usa la aplicación foliar como un medio de suministrar microelementos. Los micronutrientes se aplican a las hojas porque pueden penetrar la cutícula por difusión, y cuando atraviesan la cutícula, penetran a través de las células de la epidermis por una estructura submicroscópica que se extienden desde la superficie interna de la cutícula hasta la membrana citoplasmática de la célula; el mecanismo de entrada es similar al que ocurre en las células de las raíces.

Las aplicaciones foliares pueden ser interesantes, ya que las deficiencias en microelementos no son necesariamente debidas a una falta en el suelo, sino frecuentemente se debe a reacciones en el suelo que los deja en situación de escasa disponibilidad (Loué, 1988).

Existen reporte que por la aplicación foliar de los micronutrientes pueden penetrar inmediatamente los centros activos del metabolismo de la planta, de este modo evaden los efectos antagónicos y competitivos con los cationes y la precipitación con los aniones en el suelo y la planta, sobre todo en las hojas (Gomero, 1986).

2.1.2. Importancia de los nutrientes en las plantaciones forestales

- **Los Macronutrientes**

Los macronutrientes son elementos esenciales que la planta utiliza en mayores cantidades (Buckman y Brady, 1996). De los trece elementos esenciales seis son usados en cantidades relativamente grandes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre); Sin embargo, el nitrógeno, fósforo y potasio son suministrados por el suelo en pocas cantidades, así que tienen que ser abastecidos por fuentes externas. El calcio, magnesio y azufre son elementos principalmente abastecidos por el suelo y muy pocas veces por fuentes externas (Alegre et al., 2005).

- **Los Micronutrientes**

Los micronutrientes están constituido principalmente por elementos como: boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc.

La necesidad de micronutrientes ha sido reconocida por muchos años, pero su uso como fertilizantes es una práctica reciente. Varias son las razones para este comportamiento. Entre las más importantes se pueden citar:

Incremento de los rendimientos en los cultivos, mayores rendimientos por hectárea no sólo remueven una mayor cantidad de nutrientes primarios y secundarios, sino que también mayores cantidades de micronutrientes. Éstas no se aplican tan frecuentemente como los anteriores; por lo tanto, a medida que se remueven más micronutrientes algunos suelos no pueden liberar suficiente cantidad para cubrir las demandas de los actuales cultivos de alto rendimiento.

El desarrollo de las especies forestales depende de la presencia de nutrientes en el suelo en cantidades relativamente importantes de macronutrientes y en menor escala los micronutrientes que, usualmente se encuentran en las cenizas de

plantas utilizados . Cuando falta alguna de dichas sustancias alimenticias o existe en muy escasa proporción en el suelo, las plantas sufren anomalías en su crecimiento. El rendimiento de la producción está condicionado por la ley del mínimo, o sea por la sustancia que más escasea. La falta general de alimentos conduce a deficiente desarrollo de todos los órganos, y los árboles adquieren portes bajos (Torres, 1998).

Otras veces, la disminución del vigor vegetativo de las plantas, por la carencia de las sustancias alimenticias del suelo, es el origen indirecto de la aparición de enfermedades que suelen atribuirse equívocamente a ciertos organismos patógenos incapaces de producirlas cuando dichas plantas se desarrollan normalmente. Las exigencias de sales minerales del suelo en diferentes especies forestales hacen sentir de forma distinta la carencia de unas u otras sustancias, hasta el extremo de no poderse aplicar los mismos tratamientos a otras especies, a pesar que tengan los diagnósticos de las enfermedades motivadas por la carencia de un nutriente. Estos síntomas por falta de algún macroelemento o microelemento del suelo consisten generalmente en decoloraciones parciales e irregulares, de color blanquecino, amarillento o purpúreo de las hojas, que se van extendiendo desde sus extremidades o bordes hacia sus zonas centrales hasta decolorarlas e incluso desecarlas totalmente al escasear por completo alguno de los elementos esenciales para su desarrollo. En general puede afirmarse, que el conocimiento actual de los efectos producidos en las especies forestales por la falta de las sustancias minerales del suelo es muy escaso y que es fácil llegar a conclusiones erróneas o contradictorias (Torres, 1998).

Estos efectos son muy complejos, pues a veces el exceso de un elemento inhibe la asimilación de otros presentes en el suelo en menores cantidades; y otras veces los síntomas carenciales sólo son puestos en evidencia cuando las restantes condiciones ecológicas sean tan favorables y lleven a crecimientos tan vigorosos, y que la demanda nutricional sea muy elevada. En general se puede

afirmar que los síntomas carenciales son más visibles en las plantas jóvenes que en las adultas, y se observan mejor en los viveros que en las masas forestales (Torres, 1998).

Los métodos más comúnmente utilizados para diagnosticar las enfermedades de carencia son los diagnósticos visuales, los análisis del suelo, los análisis de las hojas, y la utilización de plantas jóvenes para poder reproducir los síntomas que se observan al prescindir en el suelo de determinados nutrientes y comprobar a su vez cómo desaparecen dichas anomalías al adicionar al suelo los nutrientes sospechosos de producirlas (Torres, 1998).

La disponibilidad de nutrientes es influenciada por un factor importante: el pH en el suelo, cuyos rangos de 6-8, 6-7.5, 6.8-7.6 son deseables para la disponibilidad de nitrógeno, potasio y fósforo respectivamente (Brady y Weil, 2008). Porta et al. (2000) confirman que en el rango de pH 6.6 – 7.3, los carbonatos son estables lo cual provoca el mínimo efecto tóxico, mientras que a pH igual a 7 los efectos son los deseados ya que se encuentran disponibles los micronutrientes en las cantidades deseadas.

2.1.3. Tipos de fertilización

2.1.3.1. Fertilización química

Se caracterizan porque se disuelven con facilidad en el suelo y, por tanto, las plantas disponen de esos nutrientes, son los más usados, especialmente en agricultura. Sin embargo, estos causan alteraciones en el suelo, degradándolo, y además contribuyen a la contaminación. Estos fertilizantes químicos, utilizados en exceso, producen contaminación a los pozos de agua que se encuentran cercanos a las proximidades de los cultivos (Llerena, 2009).

2.1.3.2. Fertilización orgánica

Los tipos de abonos orgánicos son:

El extracto de algas, es normalmente un producto compuesto por carbohidratos promotores del crecimiento vegetal y producción de aminoácidos, este es cien por ciento solubles. Este producto es un bioactivador, que actúa favoreciendo la recuperación de los cultivos frente a situaciones de estrés, incrementando el crecimiento vegetativo, floración, fecundación, cuajado y rendimiento de frutos (INFOAGRO, 2009).

Los abonos que contienen bioestimulantes y enraizantes vegetales. Estos debido a su contenido y aporte de auxinas de origen natural, vitaminas, citoquininas, microelementos y otras sustancias favorecen el desarrollo y crecimiento de toda la planta. Este tipo de abono es un producto de fácil absorción por las plantas a través de hojas o raíces, y por los distintos agentes que promueven la asimilación.

Los abonos que contienen elevadas cantidades de aminoácidos libres. Actúan como activador del desarrollo vegetativo, mejorando el tamaño y coloración de los frutos, entre otras características. El aporte de aminoácidos libres facilita que la planta ahorre energía en sintetizarlos, a la vez facilita la producción de proteínas, enzimas, hormonas, etc.

Por último podemos destacar los típicos de abonos orgánicos, que poseen gran cantidad de materia orgánica, por lo que favorecen la fertilidad del suelo, incrementan la actividad microbiana de éste, y facilitan el transporte de nutrientes a la planta a través de las raíces, las sustancias húmicas es el cual posee la cualidad de incrementar el contenido y la distribución de azúcares en los vegetales, por lo que elevan la calidad de los frutos y flores, incrementando la resistencia al marchitamiento. El aporte de distintos elementos nutritivos es fundamental para el desarrollo fisiológico normal de la planta, ya que alguna carencia en los mismos pueden provocar deficiencias en las plantas que se manifiesta de diferentes formas.

En la fermentación anaeróbica la materia orgánica al pasar por este proceso microbiano (desperdicios, ceniza, maleza, etc.) es transformada en vitaminas, aminoácidos, azúcares y minerales solubles, los cuales pueden ser absorbidos y utilizados por las plantas. Las sustancias que generalmente se encuentran en los

biofertilizantes son tiamina-vitamina B1, piridoxinicotínico, vitamina B6, ácido nicotínico, etc. (Roestrepo, 1998).

2.2. Efectos más importantes de los abonos orgánicos en las propiedades del suelo

- **En el pH:** Toda materia orgánica al ser incorporada al suelo sufre un proceso de descomposición, formando ácidos orgánicos e inorgánicos; por lo tanto tiende a acidificar el medio, bajando el pH del suelo (Cabezas, 2001). Al respecto, Tisdale y Nelson (1998), afirman que el carbono, nitrógeno, azufre y fósforo que se libera en forma de ácidos durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, realizan una acción disolvente sobre los minerales del suelo, liberando elementos nutritivos.
- **En la capacidad de intercambio catiónico:** La materia orgánica al transformarse en humus, aumenta la capacidad de cambio; y con la arcilla constituye la parte activa del complejo adsorbente regulador de la nutrición de la planta, incrementando la fertilidad potencial del suelo, y además actúa protegiendo a los macro y micronutrientes de la lixiviación (Núñez, 1965).
- **Fitoreguladoras y sustancias orgánicas en los biofertilizantes:** Barrio (2001) afirma que en los últimos años se observa en el mercado de insumos agrícolas una oferta creciente de productos a base de micronutrientes y sustancias orgánicas como alternativas para mejorar los rendimientos. Muchos de estos productos son obtenidos por procesos de descomposición industrial de materias orgánicas como turbas, leonarditas, algas o residuos industriales como plumas, agua de cola, etc.

Un producto a base de melaza de caña se presenta en extracto estabilizado y concentrado, con buenos efectos sobre los cultivos, pero su uso es limitado

debido a que generalmente son muy caros o se requiere aplicarlos en grandes cantidades para poder observar sus efectos.

Por otro lado, los bioles son una rica fuente no sólo de nutrientes sino también de hormonas y diferentes sustancias orgánicas, provenientes de la fracción húmica de la materia orgánica descompuesta.

Si a esto le sumamos la facilidad de su elaboración y sus costos bajos en la producción comercial, tanto para la obtención de micronutrientes como hormonas y vitaminas que se usan, sobre todo en la agricultura de gran escala y altos insumos.

Entre los principales fitoreguladores y sustancias orgánicas relacionadas con la producción de las plantas tenemos:

- **Los fitoreguladores:** Son sustancias elaboradas en base a hormonas vegetales naturales o de bioactivos sintéticos, que al ser aplicados a los cultivos en pequeñas dosis, regulan, estimulan o detienen el crecimiento de las plantas (Suquilanda, 1995).
- **Las auxinas:** Entre las principales tenemos al ácido indol acético que se sintetiza a partir del triptófano. Las auxinas se originan en el ápice del tallo y en los tejidos jóvenes y se mueve principalmente hacia debajo del tallo. Sus actividades incluyen: la formación de órganos, organización de tejidos, alargamiento celular, síntesis de ARN y de las proteínas, entre otros. Las auxinas se utilizan para mejorar el enraizamiento, aumentar el rendimiento del fruto, y para la inducción de la partenocarpia, etc. (Bidwell, 1993).
- **Las Giberelínicas:** Se sintetizan en muchas partes de las plantas, pero especialmente en las áreas de activo crecimiento como los embriones o tejido meristemático. Además se mueven en forma pasiva con la corriente

- de transporte por el xilema o floema. Sus principales acciones son el alargamiento celular, división celular, inducción de enzimas, entre otras (Bidwell, 1993).
- **Las Citoquininas:** Se forman en las raíces y se transportan a las hojas y tallos, a pesar de que no se mueven en la planta con tanta facilidad como la giberelínica o auxinas, sus efectos son: división celular, alargamiento celular, formación de órganos, etc. (Bidwell, 1993).

2.3. Los biofertilizantes como mejoradores del suelo

En cuanto a los EM, cuyo acrónimo se debe a su promotor, el Dr. Teruo Higa, que consta de las letras iniciales de "microorganismos eficaces". Es un líquido que contiene muchos microorganismos. Fue desarrollado por primera vez en 1982 como una alternativa a los productos químicos en el ámbito de la agricultura. Luego, con el tiempo, a través de extensas investigaciones y experimentos, fue muy reconocido por su eficiencia en diversos ámbitos, incluida la rehabilitación del medio ambiente. En el compostaje de residuos orgánicos, la reducción de olores en las operaciones ganaderas, el tratamiento de aguas residuales (Higa, 2009) son algunas de sus aplicaciones.

Higa (2009) afirma que los microorganismos usados en el *EM* son producto de bacterias lácticas, levaduras, y bacterias fotótrofas. Además los EM son capaces de excluir cualquier patógeno y a los microorganismos que son dañinos para los seres humanos, animales y plantas ya que cuenta con microorganismos benéficos que se han ido usando a través del tiempo.

Después de lo expuesto anteriormente, resulta importante investigar su efecto en las propiedades físicas y químicas del suelo.

En cuanto a los biofertilizantes tenemos dos tipos: E.M, los cuales son producto de bacterias lácticas, levaduras, y bacterias fotosintéticas; B.Lac,

originado por la fermentación láctica de residuos de quesos, leche, yogurt y carnes. En estos se da la reacción de oxidación-reducción interna, en la que algunos átomos de la fuente de energía se reducen por fosforilación a nivel de sustrato, la que describen a continuación:

a) Microorganismos eficientes (EM)

Según Higa (2009), en la actualidad hay numerosos alimentos fermentados en el mundo, pero la mayoría de estos tuvieron su génesis en descubrimientos accidentales, como por ejemplo cuando alguien escupe el arroz y luego es fermentado, o cuando la leche que se dejó en una bolsa de cuero fermentado se transforma en yogurt. Esto nos muestra cómo las bacterias beneficiosas existen en todas partes, en el aire que nos rodea y en la superficie de los objetos. Pero la realidad ahora es que la atmósfera dominante contiene una gran cantidad de oxígeno y los microorganismos utilizan oxígeno para descomponer el material orgánico. En la mayoría de los casos los resultados son de oxidación o putrefacción. Debido a esto, en la industria de procesamiento de alimentos, la tecnología debe tener bacterias benéficas, cultivadas individualmente, y está muy desarrollada.

Sin embargo, entre los tres ambientes, suelo, agua y aire, en el último hay mayor presencia de microorganismos, pero estos pueden cambiar dependiendo de la cantidad de alimento y/o condiciones que presente en los diferentes ambientes. Así pues en campos plantados, si hay mucha putrefacción los microorganismos benéficos no actúan y las plantas estarán propensas a enfermedades y a muchos insectos perjudiciales; pero si encontramos mayor cantidad de microorganismos benéficos, entonces estos campos prosperarán. Como se observa, la diferencia entre los dos casos es la microflora.

En cualquier medio, los seres vivos o microorganismos viven en equilibrio, y dependiendo del tipo de microorganismos, y a su vez alguno

de estos excretan sustancias con el fin de hacer un entorno más favorable para ellos mismos.

Por lo que en casos de malas condiciones, es necesario el uso de EM para transformar la microflora, reactivándola, ya que un gramo de suelo contiene aproximadamente un centenar de millones de microorganismos benéficos que no es una cantidad abrumadoramente grande; sin embargo, estos asumen un papel dominante cuando son aplicados al suelo y vía foliar, lo cual ayudará a mejorar la situación en el suelo y las condiciones en el aire.

b) Bacterias lácticas (B. Lac)

Es un producto que se origina debido a la fermentación láctica de residuos de quesos, leche, yogurt y carnes. La reacción es de oxidación-reducción interna en la que algunos átomos de la fuente de energía se reducen por fosforilación a nivel de sustrato. En la fermentación láctica, el azúcar es transportada hasta ácido láctico; y existen 2 tipos: la fermentación homoláctica, cuando el ácido láctico es prácticamente el único producto formado, se emplea para esto la vía de Embden Meyernof-Parnas. La fermentación heteroláctica, cuando se forman también otros productos como ácido acético, etanol, CO₂, entre otros. En este caso se emplea la vía de las pentosas fosfato (Madigan et al., 2004).

Debido a la fermentación láctica se forman microorganismos como:

b.1. Bacterias lácticas

Este grupo reúne un número de géneros que se caracteriza por su capacidad de fermentar los glúcidos, produciendo ácidos lácticos. Estas bacterias se agrupan por las siguientes características (Madigan et al., 2004):

- Son bacterias Gram-positivas generalmente inmóviles, nunca esporuladas, cataliza negativamente, oxidasa-negativas y generalmente nitrato reductasa negativas.
- Su capacidad de biosíntesis es débil, lo que explica su poliauxotropía para diversos aminoácidos, bases nitrogenadas, vitaminas y ácidos grasos, pero también en su metabolismo fermentativo son incapaces de sintetizar el núcleo hemo de las porfirinas; están normalmente desprovistas de citocromo y, en consecuencia, son incapaces de realizar cualquier respiración aeróbica o anaeróbica.
- Son bacterias anaerobias facultativas microaerófilas, únicamente capaces de fermentar en anaerobiosis.

Los principales géneros de estas bacterias son *Streptococcus sp.*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, de los cuales los tres primeros tienen fermentación homoláctica, y el género *Lactobacillus* tiene fermentación homoláctica (se denomina así la fermentación cuyo único producto final es el ácido láctico) mientras que la especie con el género *Bifidobacterium* realizan fermentación acética y láctica (es una ruta metabólica anaeróbica que ocurre en el citosol de la célula, en la cual se oxida parcialmente la glucosa para obtener energía y donde el producto de desecho es el ácido láctico. Leveau y Bouix, 2000).

b.2. Los Lactobacilos

Debido a la variedad del género *Lactobacillus*, las especies están presentes en medios muy diferentes. Los mesófilos (*Lactobacillus casei*, subespecie *casei*, *L. planctarum*, *L. curvatus*, *L. brevis*) que se caracterizan por un amplio espectro de fermentación y están presentes en la leche y en quesos, en leches fermentadas, en los vegetales fermentados, los productos de

panificación, carnes frescas o fermentadas, los salchichones y el tubo digestivo del hombre y de los animales.

La presencia de termófilos son espectros estrecho de fermentación, es más limitada; en las leches fermentadas como yogurt, y en ciertos quesos fabricados a una temperatura superior a 40°C como el parmesano (Leveau y Bouix, 2000).

Los ácidos lácticos producidos durante la fermentación muestran ser muy eficiente en la nutrición de las plantas, debido a que es un fertilizante que posee nitrógeno, potasio y micronutrientes, sin embargo no aporta concentraciones de fósforo, es por ello que la aplicación de este producto se debe ser aportado por fuentes externas, para obtener mejores rendimientos en cuanto al crecimiento de las plantas, el cual conlleva a obtener plantas más vigorosas y por ende más resistentes al ataque de insectos dañinos (Bossio, 2004).

2.4. Descripción y características del Shihuahuaco

2.4.1. Descripción Botánica

El “Shihuahuaco” es un árbol cuyo nombre taxonómico es *Dipterix sp.*, otro sinónimo botánico es *Coumaruna micrantha* (Harms) Ducke; pertenece a la familia: Leguminosae (FABOIDEAE).

2.4.2. Distribución geográfica

En el Perú el shihuahuaco está distribuido en los bosques amazónicos de la Región Loreto, Ucayali, San Martín y Madre de Dios con una densidad que en la actualidad va de 4 a 5 árboles por hectárea.

2.4.3. **Ecología del Shihuahuaco**

El Shihuahuaco es propio de bosques primarios, con una temperatura media anual de 26 °C. Se desarrolla bien cuando la precipitación varía entre 1000 a 4000 mm/año. Esta especie se encuentra en bosques primarios no inundados; en formaciones ecológicas de bosque muy húmedo premontano tropical, bosque húmedo tropical y bosque seco tropical. Se halla en un rango de altitud de 100 a 700 msnm, prefiere colinas suaves con suelos bien drenados y húmidos. De acuerdo a la clasificación de suelos de la FAO esta especie prefiere suelos cambisoles, textura franco con contenido de arena y limoso, moderadamente ácido (pH = 5.6 – 6.0).

Mediante observaciones de la velocidad de crecimiento efectuadas en vivero, se clasifica como una especie de mediano crecimiento (más de 15 años, para su aprovechamiento), lo cual constituye también una limitante para la sobrevivencia de esta especie (Ugamoto y Pinedo; 1987).

2.4.4. **Descripción del género *Dipteryx* (Shihuahuaco)**

Hojas: Hojas paripinnadas, es decir la hoja acaba con un par de foliolos, el pecíolo y raquis son alados presentando una prolongación alada; con pequeños apéndices (estípulas) en la base de la hoja o intersección de la hoja con el tallo.

Foliolos: Dispuestos alternamente, de consistencia coriácea y no tiene estípulas. A veces los foliolos son totalmente o parcialmente transparente (diáfano) marcados con puntos, depresiones o glándulas translúcidas, otras veces son transparente pero sólo son marcados con depresiones o glándulas translúcidas. Los foliolos de este género pueden ser duraderas, o presentar muchos tumores que son producidos por insectos y enfermedades, formando manchas en la superficie de la hoja que se puede reconocerse rápidamente.

Fruto: El fruto es una drupa, comprimido, espeso e indehisciente. El fruto es aceitoso con una pared carnosas que incluye a la semilla aromática; la parte carnosas del fruto es amarga e incomedible por el hombre.

Semilla: La semilla es de forma ovado-oblonga, también descrito como cilíndrico fusiforme; tiene una radícula terminal, cuelga con una pendiente en la cavidad del fruto y no presenta ningún endosperma. El embrión de la semilla es recto y las primeras hojas desarrolladas (cotiledones) son gruesas. La semilla es olorosa y rica en una sustancia aromática llamada cumarina. Cuando las semillas son frescas y almacenadas la germinación ocurre entre 8 y 10 días, obteniéndose 100 % de germinación (Flores, 1998).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo descriptiva, longitudinal y prospectiva, ya que se evaluaron los resultados de los tratamientos en un periodo de tiempo, y el estudio fue orientado a sucesos que están por ocurrir.

3.2. Formulación de hipótesis

La hipótesis de investigación planteada es: La aplicación de biofertilizantes obtenidos a partir de una colección de suelos y B.Lac aportarán condiciones en el suelo y promoverán la actividad microbiana, para el establecimiento de los individuos de Shihuahuaco (*Dipteryx* spp).

3.3. Definiciones operacionales

3.3.1. Área de estudio: La investigación fue desarrollada en el proyecto de reforestación que ejecuta la empresa Bosques Amazónicos S.A.C., localizado a 46 km de la ciudad de Pucallpa y a 12 km del predio Marianita, en el distrito de Campo Verde, provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali. En la siguiente figura (figura N°1), se observa la ubicación del proyecto de reforestación al inicio de las plantaciones (2002) y en la Figura 2, se muestra el mapa de la plantación forestal con las unidades de manejo forestal (UMF).

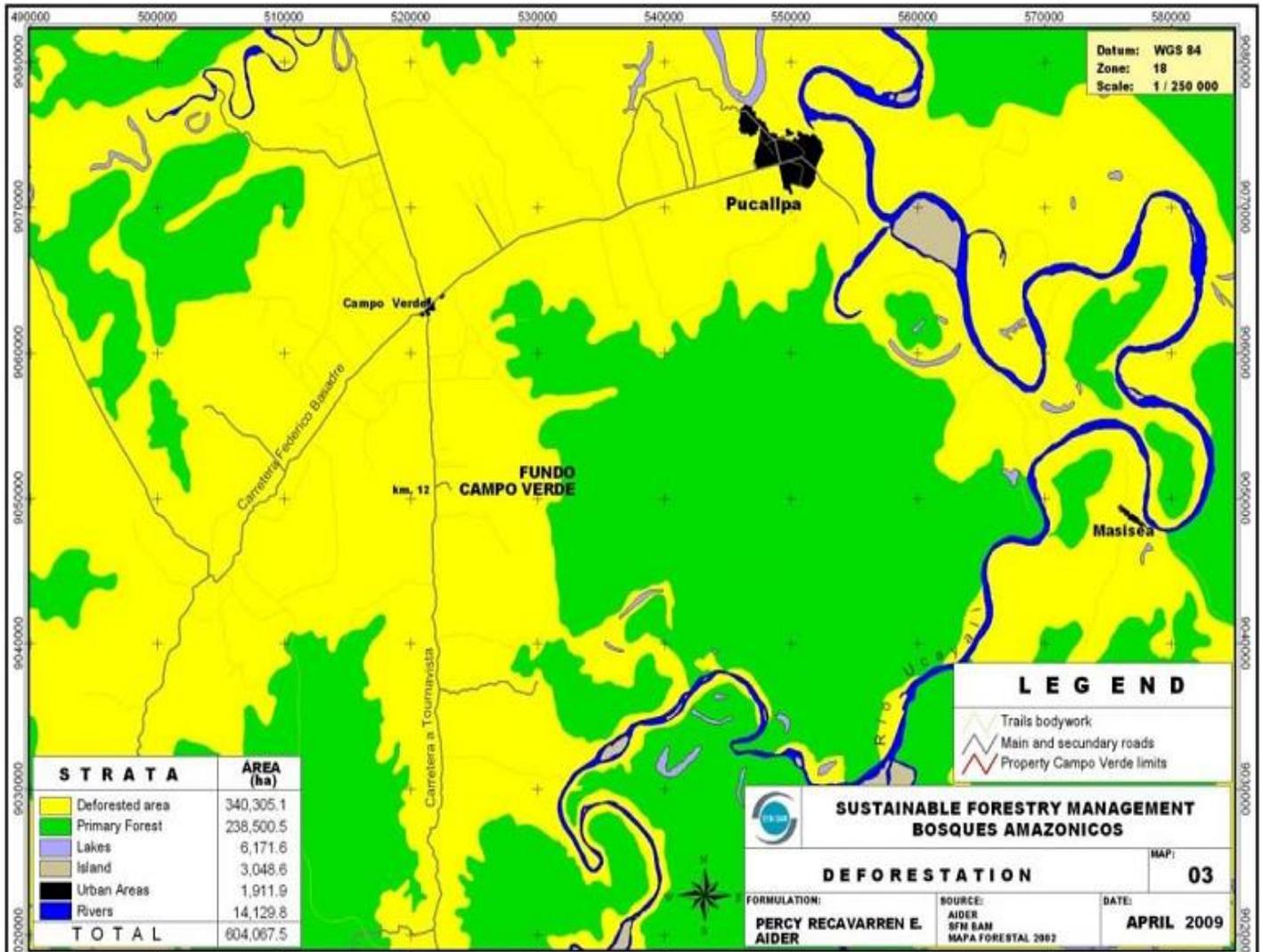


Figura 1: Ubicación del proyecto de reforestación al inicio de las plantaciones (2002). Las áreas verdes representan los bosques, mientras que las amarillas representan las áreas no boscosas (áreas degradadas).

Fuente: Voluntary carbon standard (VCS) proyecto: Reforestación de tierras degradadas en Campo Verde con especies nativas-Pucallpa-Perú, 2007

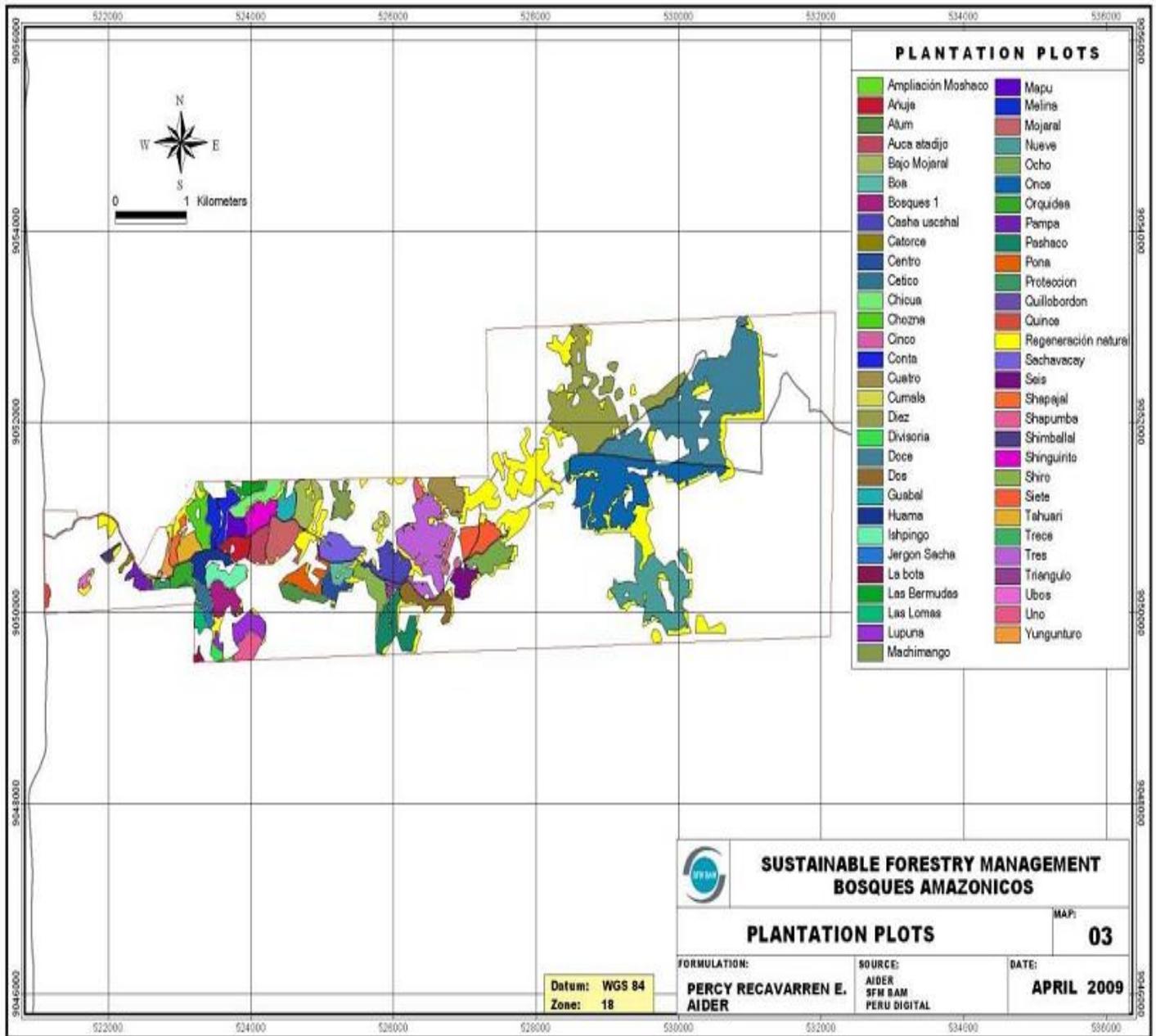


Figura 2: Mapa de la plantación forestal con las unidades de manejo forestal (UMF) reforestadas. Fuente: Voluntary carbón standard (VCS) proyecto Reforestación de tierras degradadas en Campo Verde con especies nativas – Pucallpa-Perú, 2007.

La reforestación está comprendida por la asociación de tres especies: marupa, guaba y shihuahuaco, de las cuales la última fue evaluada. La distribución de estas especies se muestra en la figura 3. Cabe resaltar que la presente reforestación está en suelos degradados, es decir con deficientes concentraciones de fósforo, nitrógeno y potasio; así mismo en la presente área se desarrollaron cultivos de pastizales y las actividades de pastoreo.

La distribución de los individuos está en función de las curvas de nivel, así mismo, actualmente para el manejo de la presente plantación se utilizan productos químicos para el control de malezas y fitosanitario, cuyos nombres comerciales y formulas, las maneja reservadamente la empresa que se dedica al mantenimiento de la presente.

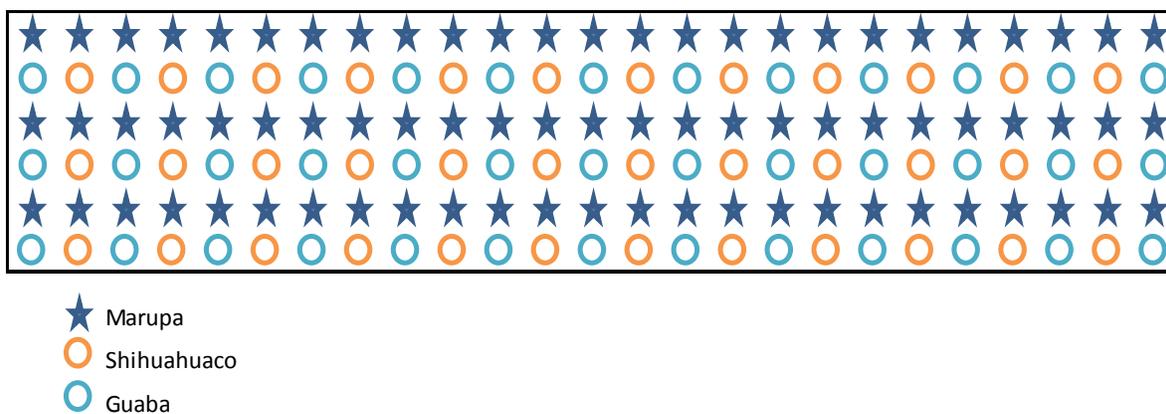


Figura 3: Distribución de las especies.

3.3.2. Metodología

3.3.2.1. Para la obtención de los biofertilizantes:

- Se procedió a seleccionar árboles-madre de shihuahuaco, en función del vigor: la altura, diámetro de fuste, diámetro de copa y calidad de fuste, en la estación experimental de Von Humboldt
- Consecuentemente se tomó 1 kg de muestra de suelo, de los 15 cm superficiales, de cada uno de los individuos seleccionados de shihuahuaco.
- Las muestras fueron incorporadas en un recipiente plástico hermético y se añadió un medio de cultivo, para la propagación de los microorganismos. El medio de cultivo, está compuesto de los siguientes insumos: salvado de trigo, agua desionizada, melaza y levaduras. Este medio de cultivo está bajo condiciones de pH entre 4 y 5, a una temperatura entre 18 y 22 °C.
- Luego de un mes de incubación, se procedió a filtrar, para obtener el biofertilizante líquido de suelos de bosque natural donde se desarrolla la

especie *Dipteryx* spp. Este biofertilizante se propagó, para las respectivas aplicaciones en los plantones de Shihuahuaco sembrados en áreas degradadas.

3.3.2.2. Selección de parcelas:

En las plantaciones de Bosques Amazónicos, se procedió a seleccionar 3 parcelas con plantas de un año aún no establecidas (aún no prendidas en campo definitivo), en las presentes parcelas se encontraron 3 tipos de suelos degradados. Posteriormente se procedió a clasificar cada parcela, en función al análisis de caracterización y análisis microbiológico completo, para determinar las características químicas y biológicas del suelo, antes de aplicar los tratamientos.

A continuación se describe el uso anterior y pendiente de cada parcela seleccionada:

- **Pijuayal:** Parcela en donde antes de reforestar se realizaron labores de sobre pastoreo en pendientes entre 10 % a 20 %
- **Topal:** Parcela en donde antes de reforestar se realizaron labores de pastoreo en pendientes entre 31 % y 40 %
- **Unidos:** Parcela en donde antes de reforestar se realizaron labores de pastoreo en pendientes mayores a 41 %.

3.3.2.3. Tratamientos aplicados:

Se realizaron 4 tratamientos, que consistieron en aplicaciones mensuales al 10 % de biofertilizantes al suelo, durante 9 meses.

Los tratamientos fueron los siguientes:

- Tratamiento 1 (T1): B. Lac al 10 % aplicado al suelo
- Tratamiento 2 (T2): Biofertilizantes producidos a partir de suelos en zonas de altura (pendientes fuertes), donde se desarrollan árboles de Shihuahuaco. Este tratamiento se aplicó en soluciones de 10%; es decir por cada Litro de solución se incorporaron 100 ml de biofertilizante.
- Tratamiento 3 (T3): Biofertilizantes producidos a partir de suelos en zonas inundables, donde se desarrollan árboles de Shihuahuaco. Este tratamiento se aplicó en soluciones de 10 %; es decir por cada litro de solución se incorporaron 100 ml de biofertilizante.
- Tratamiento 4 (T4): Testigo con abonamiento y fertilización convencional.

3.3.2.4. Factores evaluados:

Se evaluaron los 4 tratamientos (incluido el testigo) y los 3 tipos de vigores de los plántones en la población de cada parcela, los cuales se rigen a la siguiente escala:

Tabla 1: Escala de vigor en función del diámetro de base y altura total, para individuos de un año.

Parámetro	Vigor Bajo (1)	Vigor medio (2)	Vigor alto (3)
Diámetro de base	≤ 0,16 cm	0,16 - 1,27 cm	> 1,27 cm
Altura	≤ 1 m	1 m - 1,6 m	> 1,60 m

La escala fue elaborada por Mesta (2011), para la plantación de *Dipteryx* spp, de la zona de estudios, para esta se consideraron inventarios realizados durante los últimos 4 años, y las proyecciones de crecimiento de tres edades diferentes (1, 2 y 3 años).

3.3.2.5. Selección del número de individuos por parcela:

Se procedió a limitar parcelas de 36 individuos de Shihuahuaco, correspondiendo 9 individuos a cada tratamiento y 3 a cada clase de vigor. Cuya distribución de tratamientos se muestra en la Figura 4:

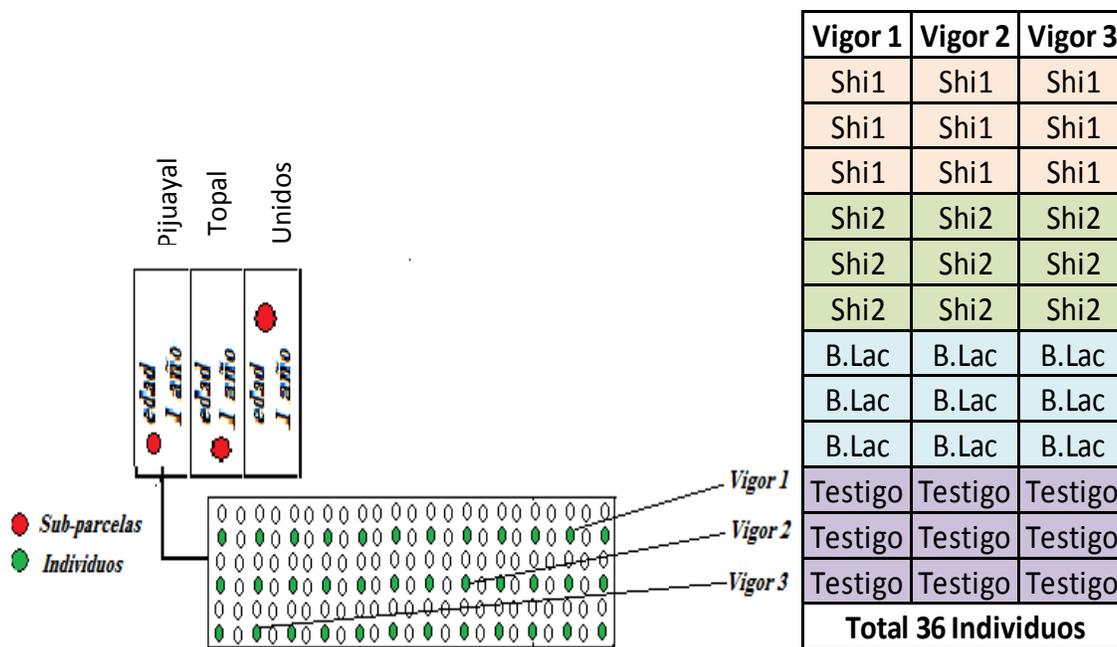


Figura 4: Distribución de las 3 parcelas y los 36 individuos Shihuahuaco y selección de los puntos para realizar las calicatas según la variable vigor.

3.3.2.6. Toma de muestras antes y después de aplicar los tratamientos:

Antes de aplicar los tratamientos se procedió a realizar una calicata por vigor en cada parcela, es decir se obtuvieron 9 muestras de cada parcela con fines de caracterización y 9 muestras con fines de análisis microbiológico.

Después de aplicados los tratamientos se procedió a realizar un muestreo por tratamiento y vigor al pie de cada plantón, obteniendo un total de 36 muestras por parcela, obteniendo un total de 108 muestras las cuales fueron sometidas al análisis microbiológico.

3.3.2.7. Aplicación de tratamientos:

Previo a la aplicación de tratamientos se procedió a realizar una limpieza alrededor de la planta, en forma circular, considerando el diámetro de copa, para posteriormente realizar una zanja en forma de anillo, a este procedimiento se le llamará en términos técnicos: “plateo”, cuyas especificaciones técnicas se muestran en la Figura 5:

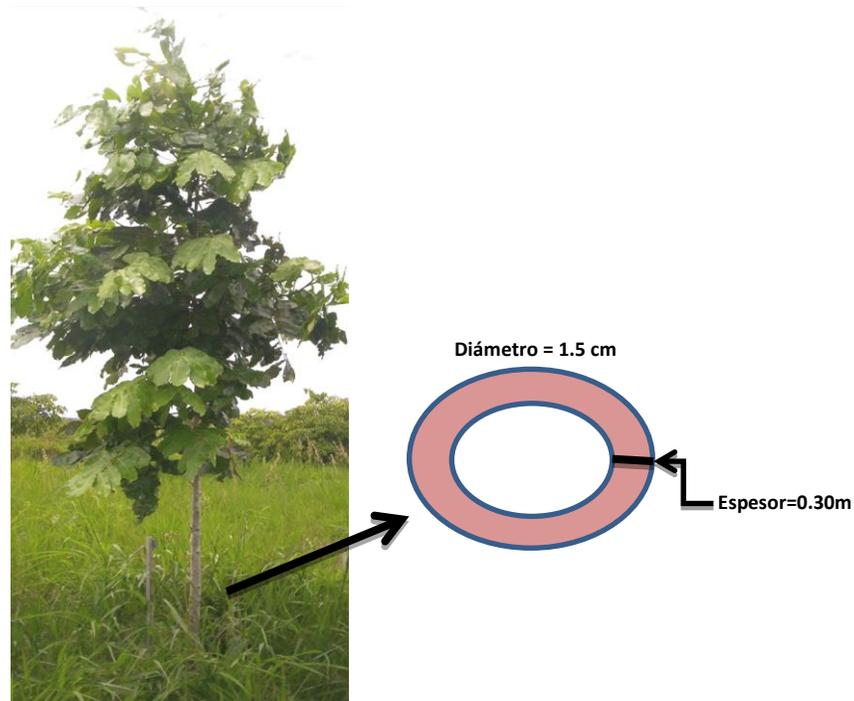


Figura 5: Plateo y construcción de anillo para aplicación de biofertilizante.

3.3.2.8. Variables evaluadas

a) Variables evaluadas en la producción de los biofertilizantes:

a.1) Caracterización química del biofertilizante

Se realizó en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina (LASPAF – UNALM), considerando los siguientes parámetros: pH, C.E, sólidos totales, materia orgánica, N total, P total, K total, Calcio total, Magnesio

total, Sodio total, Hierro total, Cobre total, Zinc total, Boro total, Nitrógeno nítrico y amoniacal.

a.2) Caracterización microbiológica del biofertilizante.

Se analizó la presencia de poblaciones de *Azotobacter* y *Azospirillum*. Estas poblaciones, fueron determinadas con la metodología expuesta en los protocolos del 2009 del Laboratorio de Microbiología de suelos de la UNALM; y fueron calculadas empleando el método del número más probable (NMP).

b) Evaluación de la actividad giberelínica y de auxinas de los biofertilizantes:

- **Para la actividad de auxinas**, se realizó un bioensayo en el laboratorio de fisiología vegetal de la Universidad Nacional Mayor de San Marco, en rabanito (*Raphanus sativus*), los cuales se germinaron en bandejas con sustratos, luego fueron sometidos a los tratamientos por 24 horas, posteriormente se realizaron cortes de tal manera que se obtuvieron los vasos centrales, los que se observaron en el estereoscopio y se contabilizó el número de primordios presentes, por cada solución y dosificación, descritas a continuación:
 - Solución 1 (a partir de suelos de zonas no inundables): 0.25 %, 0.5 %, 0.75 %, 1 % y 1.5 %.
 - Solución 2 (a partir de suelos de zonas inundables): 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1% y 1.5%.
 - Ácido naftalen acético (ANA): 2.5 mg/L, 5 mg/L, 7.5 mg/L y 10mg/L
 - Testigo: sin ninguna aplicación, sólo se incorporó agua.

- **Para la actividad giberelínica**, se realizó en el laboratorio de fisiología vegetal de la Universidad Nacional Mayor de San Marco un bioensayo en lechuga (*Lactuca sativa*), las cuales fueron germinadas en bandejas

con sustratos, luego se sometieron a cortes, de tal manera que se obtuvieron segmentos de hipocótilo de 5mm sin raicillas y sin folíolos, posteriormente se procedió a sumergirlas en los tratamientos por 72 horas, pasado este periodo de tiempo se volvieron a medir los segmentos, medidas que se registraron en una base de datos. Los tratamientos aplicados se describen a continuación:

- Solución 1 o Shi1 (a partir de suelos de zonas no inundables): 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1% y 1.5%.
- Solución 2 o Shi2 (a partir de suelos de zonas inundables): 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1% y 1.5%.
- ácido giberélico (AG₃): 0.1 mg/L, 1 mg/L, 10 mg/L y 100mg/L
- Testigo: sin ninguna aplicación, sólo se incorporó agua.

c) Variables a evaluar en el suelo antes y después de aplicados los tratamientos:

c.1) Se evaluaron las siguientes variables químicas, para caracterizar los suelos en que se aplicaron los tratamientos:

- El pH del suelo, mediante la medida del potenciómetro de la suspensión suelo: agua, relación 1:1.
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC).
- Concentración de fósforo extraíble, mediante el método de Olsen.
- Concentración de potasio extraíble, mediante la extracción con acetato de amonio.
- Concentración de nitrógeno, mediante el método de Kjeldahl
- Concentración de materia orgánica.

c.2) Se evaluaron las siguientes variables microbiológicas, antes y después de aplicados los tratamientos:

- Respiración en el suelo
- Bacterias totales
- Actinomicetos totales
- Hongos totales
- Cuantificación de bacterias nitrificantes
- Cuantificación de bacterias fijadoras de nitrógeno
- Biomasa microbiana

- **VARIABLES EVALUADAS EN LOS INDIVIDUOS DE SHIHUAHUACO, ANTES Y DESPUÉS DE APLICADOS LOS TRATAMIENTOS:**

Las variables a evaluar se basaron en el vigor de cada individuo:

- Diámetro de base antes y después de aplicados los tratamientos, el cual será medido con un vernier electrónico.
- Altura total antes y después de aplicados los tratamientos, el cual será medido con un hipsómetro marca Sunnto.

3.3.2.9. Diseño de la Investigación

Se aplicó el diseño estadístico, de bloques completos al azar con un arreglo factorial de 3 vigores de planta, 4 tratamientos y 3 repeticiones.

3.3.2.10. Población y muestra

La población de los individuos de Shihuahuaco consta de 12 Unidades de Manejo Forestal (UMF) de 1 año de edad, de donde se seleccionaron 3 UMF o parcelas con área correspondiente, en las cuales se limitara una subparcela representativa en cada UMF que contendrá 36 individuos de shihuahuaco. En cada sub-parcela se realizó una división aleatoria por tipo de vigor (12 individuos

de cada vigor: Bajo, Medio y Alto), luego se les designó un tratamiento a cada individuo al azar. (3 individuos por tratamiento y por vigor).

3.3.2.11. Instrumentos de colecta y de datos:

- i) Para limitar las parcelas se usó un GPS para georeferenciarlas y una data en el programa Windows Excel versión 2010, para su respectivo almacenamiento.
- ii) Para realizar las evaluaciones del vigor de los individuos, se empleó un vernier y clinómetro para medir los diámetros y alturas respectivamente, antes y después de los tratamientos.
- iii) Para extraer las muestras de suelos antes y después de los tratamientos, se procedió a realizar calicatas y coleccionar las muestras con sumo cuidado para no contaminarla con la pala, y se almacenó en bolsas estériles, para trasladarlas se colocaron un cooler de tecnopor para no alterar sus condiciones de temperatura y humedad

3.3.2.12. Procedimientos de análisis de datos

Los datos obtenidos fueron sometidos al análisis de varianza (ANVA). Los promedios fueron comparados mediante la prueba de comparación de medias HSD de Tukey ($P < 0.05$). Este análisis se realizó para cada una de las variables empleando el paquete *Agricolae* del ambiente para cómputo estadístico R versión 3.0.2 (R Core Team, 2013).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización química de los biofertilizantes

El biofertilizante comercial B.Lac® mostró el mayor contenido de materia orgánica y nitrógeno, sin embargo arrojó contenidos bajos de fósforo y potasio. En los demás elementos analizados, los contenidos son similares a los biofertilizantes preparados para este ensayo (Tabla 2).

Tabla 1: Análisis químico de los biofertilizantes

Caracterización química de los biofertilizantes	Biofertilizante ^(*)		
	Shi1	Shi2	B.Lac
pH	3.61	3.60	3.50
C.E	19.40	16.90	17.50
Sólidos totales (g/L)	65.40	53.60	68.60
M.O en solución (g/L)	46.40	37.70	49.80
N total (mg/L)	1106.00	1428.00	1629.00
P total (mg/L)	100.36	71.28	68.24
K Total (mg/L)	4380.00	4440.00	4240.00
Ca Total (mg/L)	170.00	140.00	121.00
Mg Total (mg/L)	406.00	326.00	397.00
Na Total (mg/L)	170.00	140.00	150.00
Fe Total (mg/L)	17.80	14.34	13.34
Cu Total (mg/L)	0.46	0.40	0.40
Zn Total (mg/L)	1.50	0.74	0.63
Mn Total (mg/L)	0.10	0.18	0.18
B Total (mg/L)	6.12	5.96	6.00
S Total (mg/L)	1040.00	867.00	864.00

(*) Shi1: Biofertilizante obtenido a partir de suelos de bosque no perturbado, en zonas no inundables; Shi2: Biofertilizante obtenido a partir de suelos de bosque no perturbado, en zonas inundables. B.Lac: biofertilizante a partir de residuos lácticos.

4.2. Caracterización microbiológica de los biofertilizantes

El análisis microbiológico indica la presencia de bacterias del género *Azotobacter* sp en concentraciones apreciables, a pesar del pH muy ácido, a las que podría deberse el contenido de nitrógeno de estos biofertilizantes (Tabla 3). Se pudo identificar que el biofertilizante B.Lac tiene mayor población de *Azotobacter* sp, lo cual corrobora su alta concentración de nitrógeno; Asimismo contiene concentración de bacterias *Azospirillum*, casi semejante al biofertilizante Shi1 (Tabla 3).

Tabla 2: Caracterización microbiológica de los biofertilizantes

Código de Muestra	Bacterias fijadoras de N ₂ de vida libre (UFC/ml de biofertilizante)	
	<i>Azotobacter</i> sp	<i>Azospirillum</i> sp
Shi1 (suelo no inundable)	6.3 x 10 ⁴	11.0 x 10 ⁵
Shi2 (suelo inundable)	4.3 x 10 ⁴	4.3 x 10 ⁵
B.Lac	7.3 x 10 ⁴	10.8 x 10 ⁵

4.3. Evaluación de la actividad giberélica y de auxinas

4.3.1. Prueba de actividad giberélica:

Los biofertilizantes B.Lac, Shi1 y Shi2, mostraron actividad giberélica ya que presentaron la misma tendencia que la actividad del AG₃, tal como se muestra en la figura 6, donde también se observa que la adición de los biofertilizantes induce en buena medida el incremento de la longitud del segmento, siendo Shi2 mejor que Shi 1, B.Lac y el AG₃ para la concentración de 1% y a la mitad de dicha concentración es casi semejante a Shi1, pero promueve la elongación mucho mejor que el AG₃ y B.Lac. Sin embargo, para las 3 soluciones de biofertilizantes, concentraciones menores (0.5 %) dan mejores respuestas, asemejándose a los valores máximos obtenidos con AG₃ (0.1 ml/L de AG₃). Cabe señalar que los segmentos tratados con Shi2 tenían un

excelente vigor (turgentes y mantenían su coloración) durante todo el periodo de evaluación en comparación con los segmentos tratados con Shi1, B.Lac y AG3.

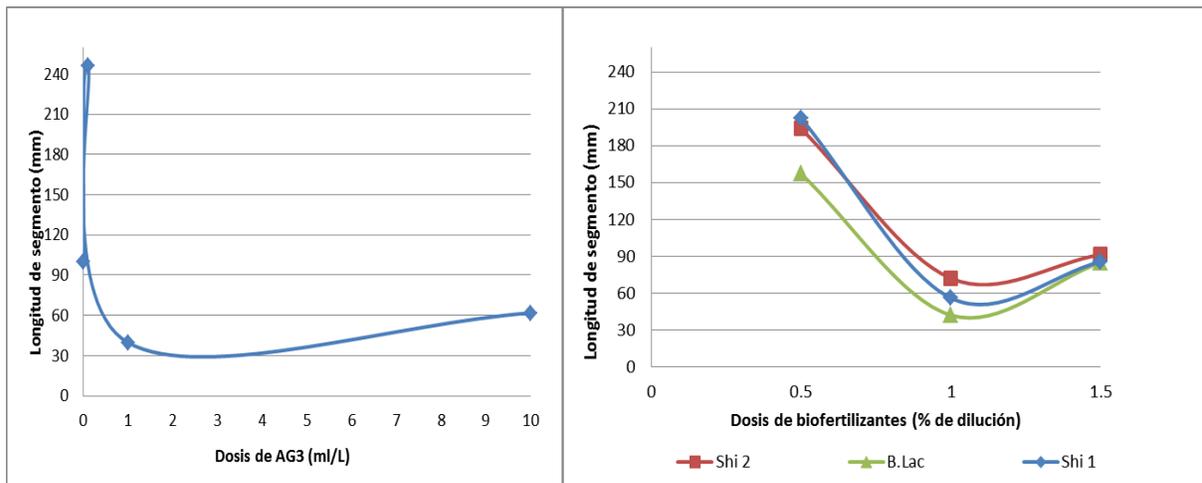


Figura 6: Elongación de segmentos de hipocótilo con las dosis de biofertilizante y AG3

Los resultados indican que los biofertilizantes promocionan el crecimiento vegetal y este se relaciona con la capacidad de los consorcios microbianos para producir o metabolizar compuestos del tipo fitohormonal, como ácido indol-acético, citoquininas (Tien et al., 1979); giberelinas (Bottini et al., 1989) y etileno (Strzelczyk et al., 1994), así como otras moléculas reguladoras del crecimiento vegetal, tales como el ácido abscísico (ABA) (Perrig et al., 2007) y la diamina cadaverina (CAD) (Cassán et al., 2003). Además Fulchieri et al. (1993) encontraron que plántulas de maíz (*Zea mays* L.) inoculadas con tres cepas de *Azospirillum lipoferum* mejoraron significativamente el crecimiento de la raíz y de la parte aérea. En estos ensayos, el AG₃ fue identificado en la fracción ácida libre del extracto vegetal y estos resultados permitieron especular sobre la capacidad bacteriana de incrementar *in vivo* el pool de giberelinas con actividad biológica sobre el crecimiento vegetal de plantas inoculadas, por lo que esta actividad giberélica se puede explicar por la presencia de *Azospirillum* spp, ya que éstas promueven el crecimiento de las

plantas de varias especies (Okon y Labandera-González, 1994). Sin embargo, el mecanismo por el cual *Azospirillum* spp. y otras rizobacterias promueven el crecimiento de la planta aún no se ha dilucidado (Glick et al., 1999, entre otros). La producción de fitohormonas (Tien et al., 1979; Okon y Kapulnik, 1986), incluyendo las giberelinas (Bottini et al., 1989; Fulchieri et al., 1993; Lucangeli y Bottini, 1997), es un mecanismo que se ha propuesto. Las giberelinas son una clase de fitohormonas con muchos efectos demostrados en los procesos fisiológicos (Davies, 1995).

4.3.2. Prueba de actividad auxínica:

Cuando se compara la elongación de los segmentos hipocótilos de rabanito producida por el patrón de ácido naftalen-acético (ANA) con la producida por los biofertilizantes se apreció que los biofertilizantes preparados (Shi1 y Shi2), presentaron actividad auxínica, mientras que el biofertilizante comercial B.Lac no la mostró. El comportamiento de la actividad de auxinas en los biofertilizantes es menor que el ANA para todas las dosificaciones, sin embargo tienen la misma tendencia en su comportamiento (figura 7). Así mismo, la adición de las soluciones de los biofertilizantes Shi1 y Shi2, indujo levemente la formación de primordios radicales (figura 8), siendo el Shi1 en dosificaciones menores de 1 el que tuvo una mejor respuesta.

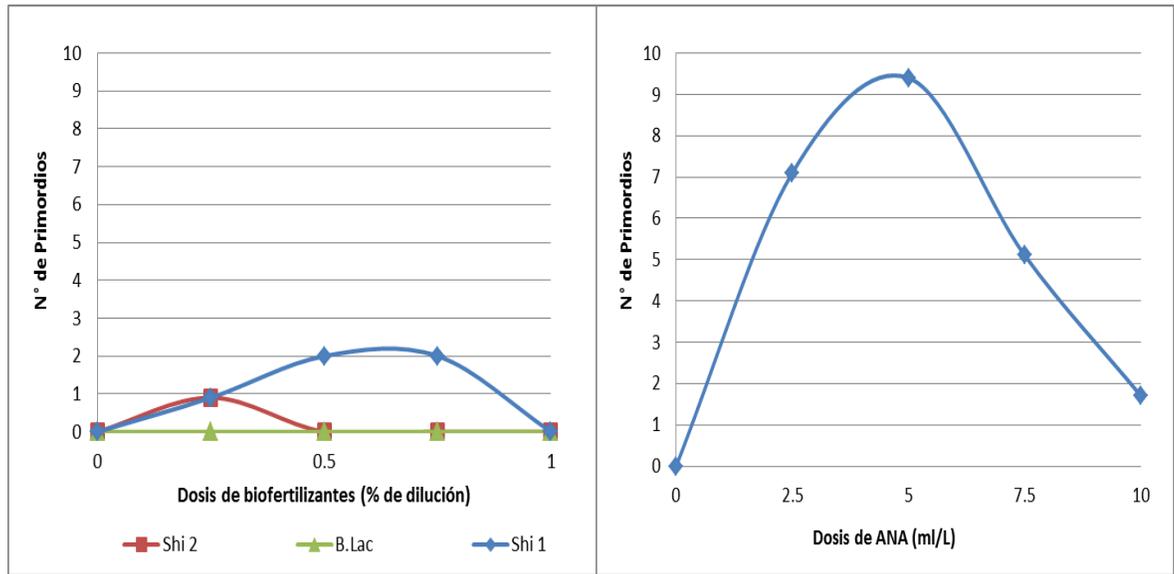


Figura 7: Número de primordios radicales en segmento del hipocótilo de rabanito (*Raphanus sativus*) como respuesta a la aplicación de cinco diluciones de los tres biofertilizantes y el ANA.



Figura 8: Número de primordios radicales en segmento del hipocótilo de *Raphanus sativus* “rabanito” como respuesta a la aplicación del ácido indol acético a diferentes diluciones.

La actividad auxínica en biofertilizantes preparados a partir de suelo puede deberse a una fuente primaria de auxinas exógenas proveniente de la flora microbiana rizosférica, donde casi el 80% de los grupos de bacterias establecidos serían capaces de producir compuestos tipo ácido indol-3-acético (AIA) (Cheryl and Glick 1996). La respuesta de la planta al AIA exógeno puede variar de benéfica a deletérea, dependiendo de la concentración incorporada en los tejidos de la planta. En este sentido, algunos autores consideran que el aumento del contenido endógeno de la hormona por la actividad microbiana del suelo ó sobre la planta, podría suplementar transitoriamente los niveles sub-óptimos del hospedador y modificar parcialmente el metabolismo celular con la consecuente promoción del crecimiento. Este es el caso de bacterias del género *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*, para las que ha sido descrita la producción de auxinas como parte de la capacidad promotora del crecimiento, fundamentalmente en el desarrollo del sistema radical y en la formación de nódulos; resultados congruentes con lo observado en la presente investigación.

4.4. Análisis de caracterización y microbiológico de los suelos de las 3 parcelas (UMF) antes y después de aplicados los tratamientos:

4.4.1. Análisis de caracterización

El pH fue determinado por el método potenciométrico en extracto acuoso de suelo (relación 1:1). Los suelos de las tres parcelas antes de aplicados los tratamientos mostraron suelos fuertemente ácidos ($\text{pH} < 5$), tal como se observa en los resultados de análisis (Tabla 4). Los contenidos de Ca y Mg y las altas concentraciones de Al, indican que es un suelo pobre. Después de la aplicación de los tratamientos (Tabla 5) se observa que los contenidos de Ca y Mg se mantuvieron. La conductividad eléctrica fue medida en el extracto anterior, cuyos resultados antes y después de aplicar los tratamientos son similares, en ambos casos son menores a 0.05 dS/m.

La textura fue determinada por el método de Bouyoucos. La textura no fue afectada por los tratamientos aplicados, lo que puede deberse a que el periodo de los tratamientos no fue suficiente para modificar esta característica física del suelo.

En el resto de determinaciones no se observaron variaciones después de aplicados los tratamientos, los suelos siguen manteniendo valores que los ubican dentro de los rangos de suelos con materia orgánica, fósforo y potasio bajos y con una alta concentración de Al^{3+} e H^+

Tabla 4: Propiedades físicas y químicas de los suelos antes del experimento

Características		Pijuayal	Topal	Unidos
Arena	(%)	66	51	72
Limo	(%)	17	30	21
Arcilla	(%)	17	19	7
Clase textural	(----)	Fr. A.	Fr.	Fr. A.
pH (H ₂ O)	(----)	4.82	4.61	4.74
C.E. (1:1)	(dS/m)	0.03	0.03	0.04
M.O.	(%)	0.52	0.82	0.72
Fósforo extractable	(ppm)	1.63	3.20	1.13
Potasio extractable	(ppm)	53.00	71.00	43.00
CIC	(cmol _c /kg)	5.54	8.64	4.32
Ca ²⁺	”	1.27	0.84	1.00
Mg ²⁺	”	0.40	0.4	0.29
K ⁺	”	0.13	0.12	0.06
Na ⁺	”	0.15	0.14	0.17
H ⁺ + Al ³⁺	”	2.00	4.30	1.20
PSB	(%)	35.00	20.00	36.00

Fuente: LASPAF-UNALM

Tabla 5: Características físicas y químicas promedios de los suelos después de aplicados los tratamientos.

Características	Pijuayal				Topal				Unidos			
	B.Lac	Shi1	Shi2	Test	B.Lac	Shi1	Shi2	Test	B.Lac	Shi1	Shi2	Test
Arena (%)	66	65	65	63	50	49	54	47	72	69	70	70
Limo (%)	16	15	16	15	29	22	34	32	23	21	24	23
Arcilla (%)	18	20	19	22	21	29	22	31	5	10	6	7
Clase textural (----)	Fr. A	Fr. A	Fr. A	Fr. A	Fr.	Fr.	Fr.	Fr.	Fr. A	Fr. A	Fr. A	Fr. A
<hr/>												
pH (H ₂ O) (----)	4.60	4.84	4.74	4.70	4.50	4.66	4.72	4.65	4.56	4.70	4.68	4.72
C.E. (1:1) (dS/m)	0.02	0.04	0.03	0.03	0.01	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04
CaCO ₃ (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
M.O. (%)	0.80	0.90	0.92	0.68	0.98	0.90	0.89	0.70	0.90	0.80	0.85	0.72
Fósforo extractable (ppm)	2.90	2.84	2.73	1.73	5.70	4.95	5.72	3.63	2.40	2.63	2.21	1.10
Potasio extractable (ppm)	53	52	51	48	60	54	58	42	58	54	53	47
<hr/>												
CIC (cmol _c /kg)	5.40	4.9	4.8	5.10	8.54	8.84	6.50	6.39	4.32	5.40	4.30	3.50
Ca ²⁺ "	1.30	1.10	1.15	1.09	0.82	1.80	1.50	1.50	1.20	1.40	1.39	0.80
Mg ²⁺ "	1.41	1.40	1.39	1.40	1.40	1.10	1.20	1.10	0.90	0.80	0.90	0.70
K ⁺ "	0.15	0.13	0.13	0.10	0.17	0.16	0.16	0.15	0.09	0.08	0.09	0.08
Na ⁺ "	0.10	0.10	0.10	0.14	0.14	0.12	0.12	0.13	0.10	0.12	0.12	0.17
H ⁺ + Al ³⁺ "	1.50	1.60	1.60	2.10	4.3	1.20	1.10	1.10	2.40	1.70	1.20	0.70

Fuente: LASPAF-UNALM

4.4.2. Análisis microbiológico de los suelos de las 3 parcelas (UMF) antes y después de aplicados los tratamientos

4.4.2.1. Biomasa microbiana

El análisis realizado para la variable biomasa en el suelo, arrojó que entre parcelas, tratamientos y vigores, existe un p-valor menor a 0.05 (Anexo 1), lo cual indica que

estos factores influyeron en el incremento de biomasa. Así mismo, se determinó que existe diferencia significativa entre tratamientos, con la prueba de Tukey (Tabla 9), donde se comprobó que todos los tratamientos a excepción del testigo (T₄), son semejantes, siendo el biofertilizante Shi2 (T₃) el más eficiente en la producción de biomasa. La diferencia notoria con el testigo, se puede explicar con el deficiente aporte de material orgánico (hojarasca), ya que los demás tratamientos aportan a la producción de biomasa aérea en la especie reforestada, según estudios de vigor realizados por Mesta (2011).

4.4.2.2. Respiración en el suelo

La aplicación de los microorganismos a partir de los diferentes biofertilizantes afectó la respiración microbiana en el suelo. Esto depende de las interacciones entre el tipo de suelo (parcela), el vigor de las plantas y el aporte de microorganismos (biofertilizante), tal como se observa en el anexo 2. Del mismo modo, con la prueba de Tukey (Tabla 9), podemos confirmar el efecto del tratamiento 1 (B.Lac), que mostró mayores valores de respiración del suelo, mientras que el resto de los tratamientos se asemejan al testigo. Estos resultados se pueden explicar debido a que el biofertilizante B.Lac contiene mayor concentración de poblaciones microbianas.

La disminución de la respiración al comparar el inicio y después de aplicados los tratamientos (Tabla 9 y 10), puede explicarse a que la época en que se muestreo coincidió con la estación húmeda lo cual significa que se muestreo un suelo saturado, por lo que la respiración microbiana se vio afectada y se contabilizó como material dentro del análisis de biomasa.

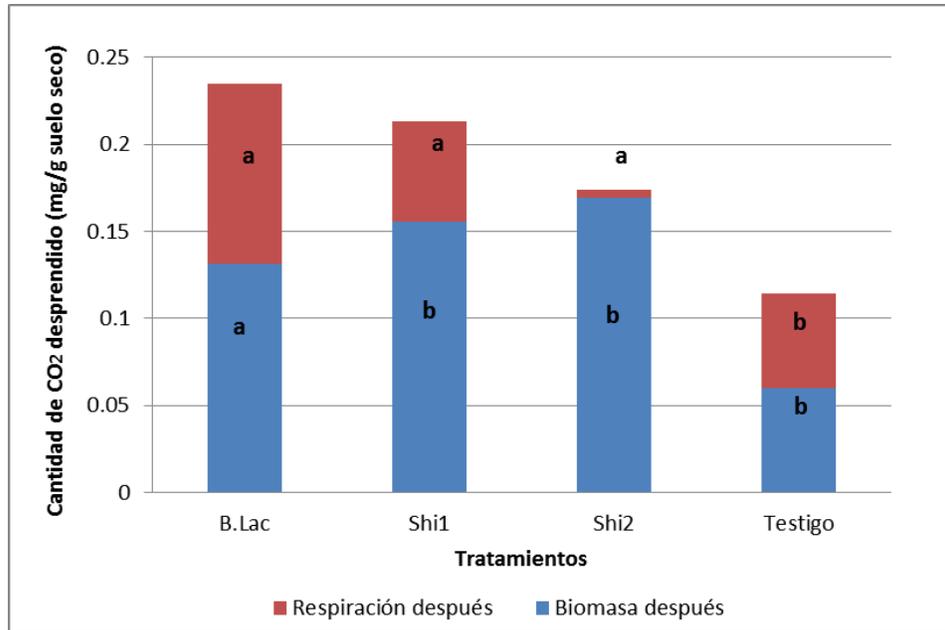


Figura 9: Prueba de Tukey para biomasa y respiración microbiana después de aplicados los tratamientos

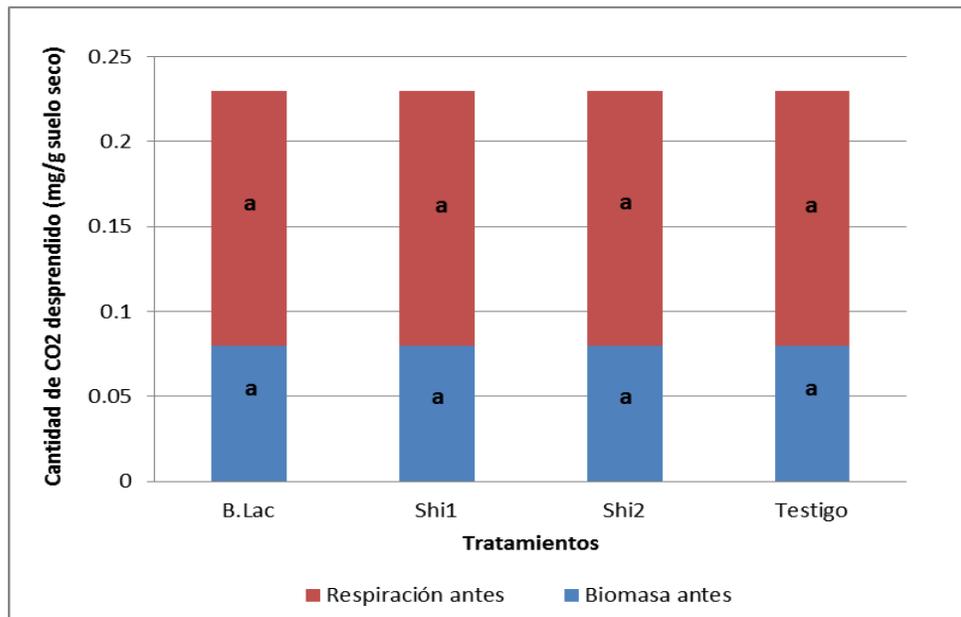


Figura 10: Prueba de Tukey para biomasa y respiración microbiana antes de aplicados los tratamientos

4.4.2.3. Población total de bacterias, hongos y actinomicetos:

Las características de los suelos de cada parcela afectaron el incremento de las poblaciones microbianas totales (Anexos 3,4 y 5); sin embargo, las poblaciones de bacterias se ven afectadas también cuando se analizan las interacciones entre parcela (tipo de suelo), vigor de planta y los tratamientos. Por lo que para las poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos se rechaza la hipótesis nula cuando se compara el efecto de los tratamientos en los diferentes tipos de suelo, es decir los tratamientos muestran medias diferentes en cada tipo de parcela a pesar que los análisis de suelos indican que las concentraciones determinadas ubican a los suelos en los mismos rangos de la escala del laboratorio de suelos (UNALM – Facultad de Agronomía Departamento de suelos), por lo que siguen siendo denominados suelos pobre, pero con actividad microbiana.

Para la población de bacterias, se observa que adicionalmente la interacción entre tipo de suelo (parcela), vigor y tratamiento rechazan también la hipótesis nula, por lo que las medias de los tratamientos difieren debido a los factores parcela y vigor. La prueba de Tukey, tal como se muestra en las figuras 11, 12 y 13 indican que para:

- Las medias de las poblaciones totales de hongos no presentan diferencia significativa entre los tratamientos, y el tratamiento que presentó mayor población de este tipo de microorganismos fue el biofertilizante B.Lac.
- Las medias de las poblaciones de bacterias, presentaron diferencia significativa, sin embargo el tratamiento que mostro mayor población de bacterias al igual que hongos fue el biofertilizante B.Lac, sin embargo se observa que es semejante al testigo, lo cual puede deberse a que las poblaciones de bacterias de los tratamientos con Shi1 y Shi2 no tienen la capacidad para establecerse en un periodo de tiempo de 6 meses, tal vez necesitan mayor número de aplicaciones para que muestren su efecto directo en el suelo y planta.
- Referente a las medias de las poblaciones de actinomicetos; antes de

- aplicar los tratamientos no se evidenció ningún organismo de este tipo; luego de aplicados los tratamientos, se observó un aumento significativo de actinomicetos, pero sin diferencias entre los tratamientos; sin embargo las medias poblacionales del tratamiento con biofertilizante B.Lac fue el que presentó mayor población de actinomicetos.

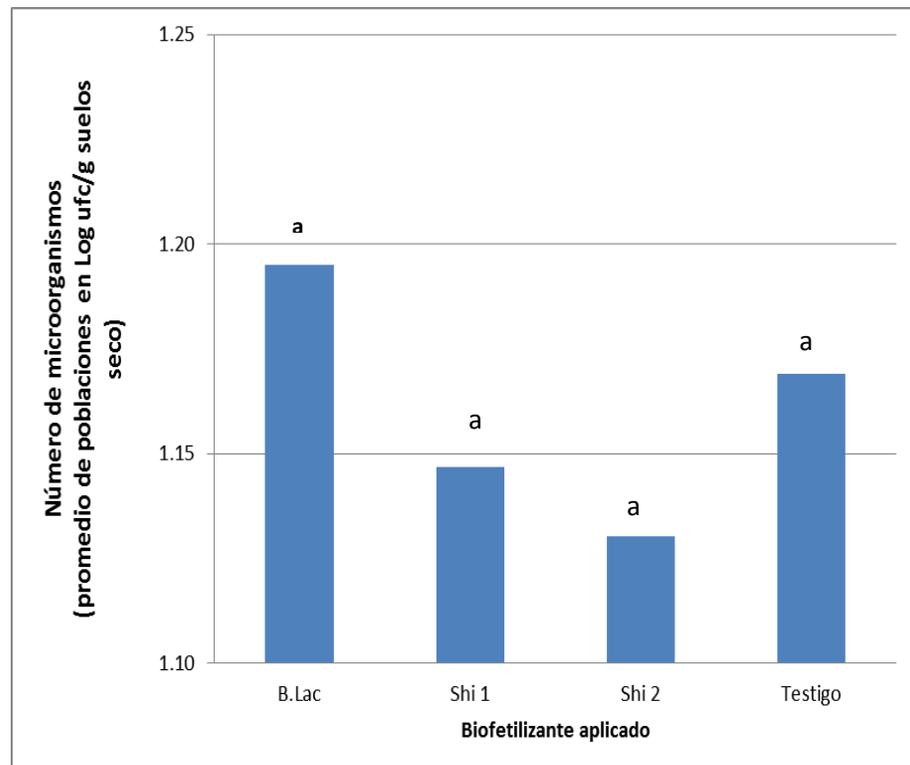


Figura 11: Evaluación de hongos totales, para cada tipo de tratamiento. Las medias con igual letra no difieren entre sí, según la Prueba de Tukey ($p > 0.05$).

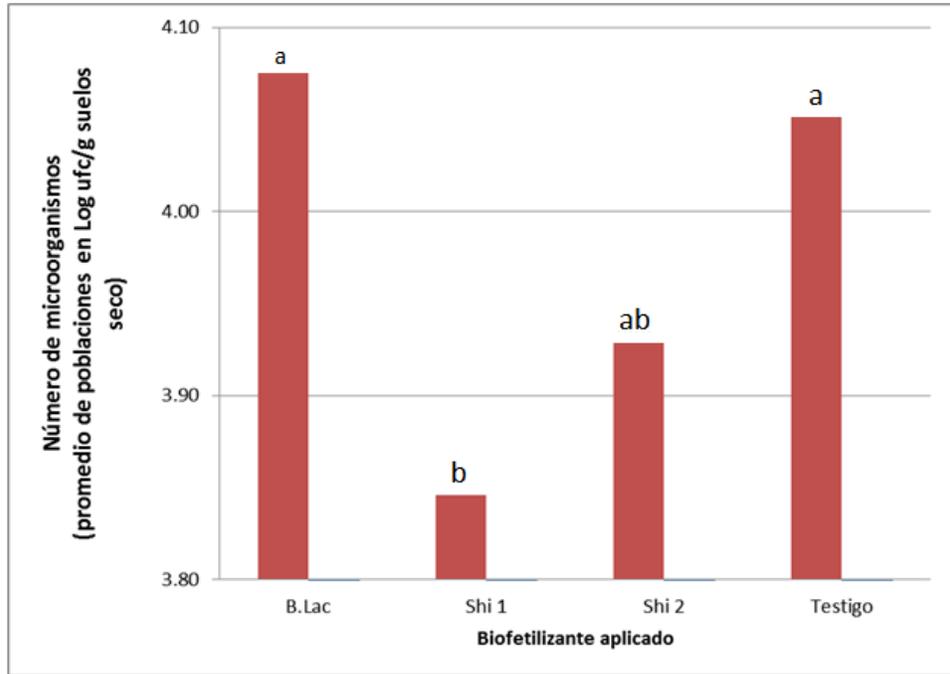


Figura 12: Evaluación de bacterias totales, para cada tipo de tratamiento, después de las aplicaciones. Las medias con igual letra no difieren entre sí, según la Prueba de Tukey ($p > 0.05$).

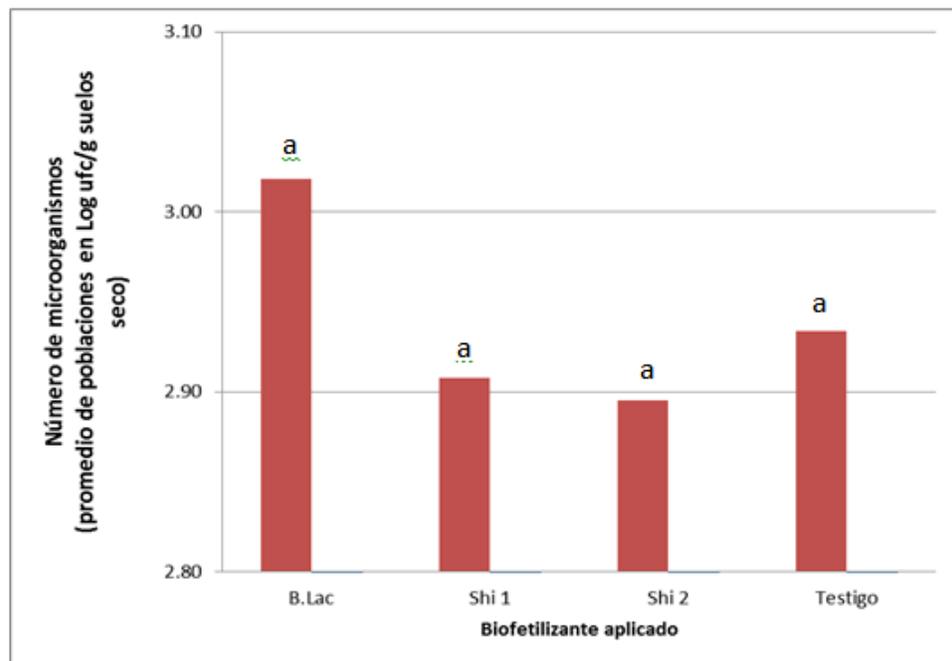


Figura 13: Evaluación de actinomicetos totales, para cada tipo de tratamiento, después de las aplicaciones. Las medias con igual letra no difieren entre sí, según la Prueba de Tukey ($p > 0.05$).

4.4.2.4. Población de bacterias nitrificantes

Las poblaciones de bacterias nitrificantes se vieron afectadas por el tipo de suelo de las parcelas y el vigor de los plantones de Shihuahuaco (anexo 6), ya que los valores de p son menores de 0.05, indicando que existe una alta significancia, es decir las poblaciones de bacteria nitrificantes encontradas en los suelos se deben a los tratamientos estudiados. La parcela Pijuayal (figura 14) tiene mejores condiciones a nivel de suelo para alberga a las colonias de las bacterias nitrificantes, y en este caso los plantones de vigor 1 (figura 15) también son los más recomendables para que las poblaciones de bacterias nitrificantes se presenten con abundancia, la presente afirmación puede explicarse, ya que plantones con menor diámetro y atura tienen mejor capacidad para adaptarse a las condiciones microbiológicas generadas por las bacterias nitrificantes.

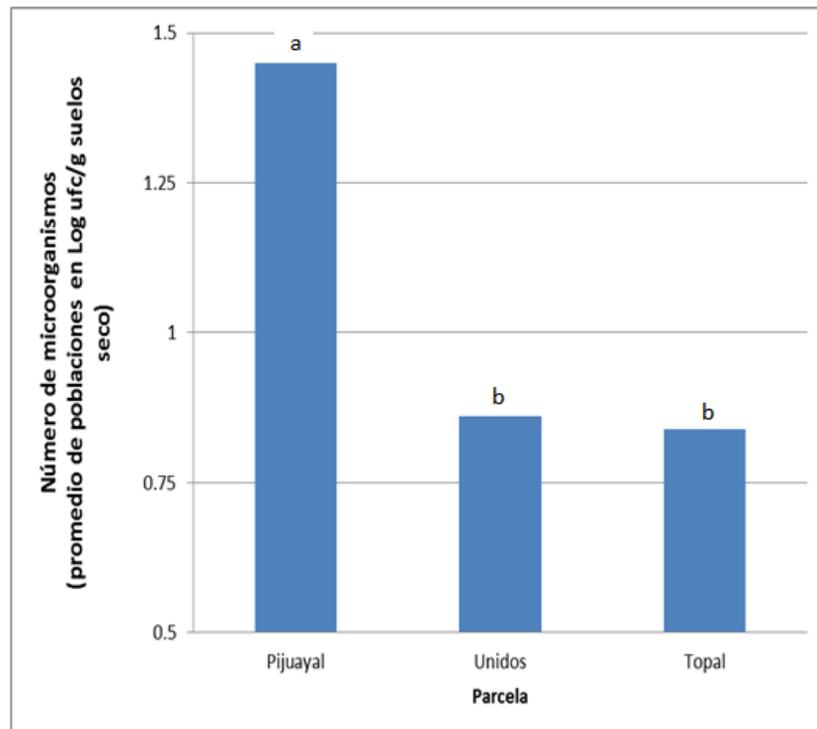


Figura 14: Prueba de Tukey para la variable dependiente Bacterias nitrificantes con el factor tipo de suelo (parcela), con un nivel de confianza de 95.0%.

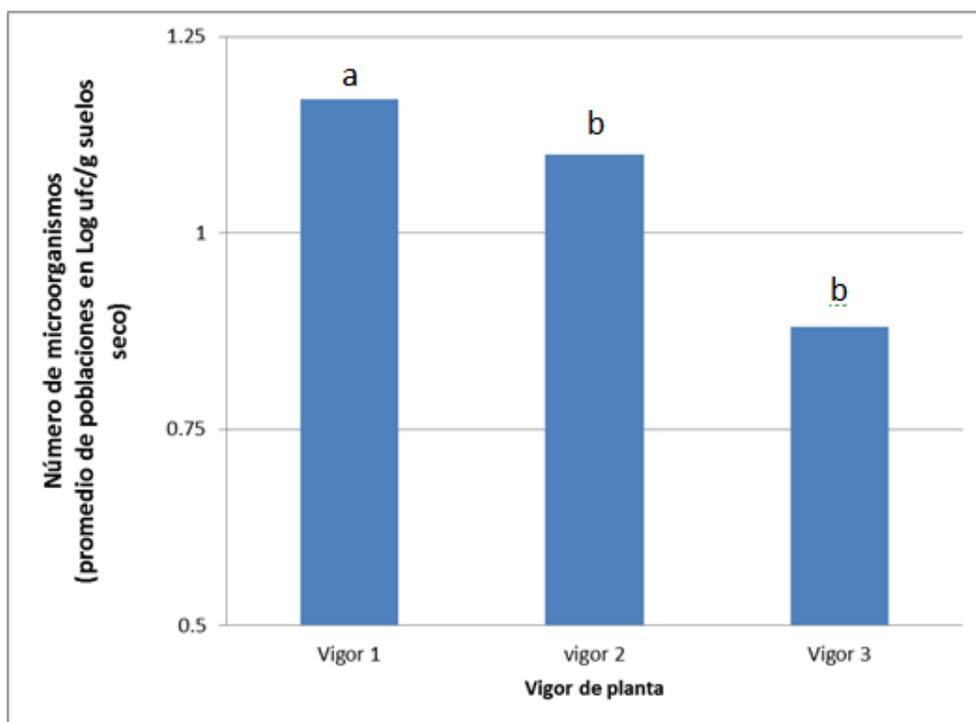


Figura 15: Prueba de Tukey para la variable dependiente Bacterias nitrificantes con el factor tipo de suelo (parcela), con un nivel de confianza de 95.0%.

4.4.2.5. Población de bacterias fijadoras de nitrógeno

Las poblaciones de bacterias fijadoras de N_2 incrementan con la aplicación de tratamientos y las respuestas de estos se ven afectadas por los factores parcelas, tratamientos y cuando ambos factores interactúan, ya que el p-valor es menor a 0.05 (Anexo 7); sin embargo, el factor vigor no es importante para la colonización de bacterias fijadoras de nitrógeno. Así mismo, la prueba de tukey corrobora que el suelo de la parcela Pijuayal (figura 16) asimila mejor las inoculaciones, pero el tratamiento B.Lac (figura 17), es el que mejor funciona para establecer las colonias fijadoras de nitrógeno, y el factor vigor resulto ser indiferente, lo cual explica que cualquier nivel de vigor el Shihuahuaco va a promover las semejantes concentraciones de poblaciones.

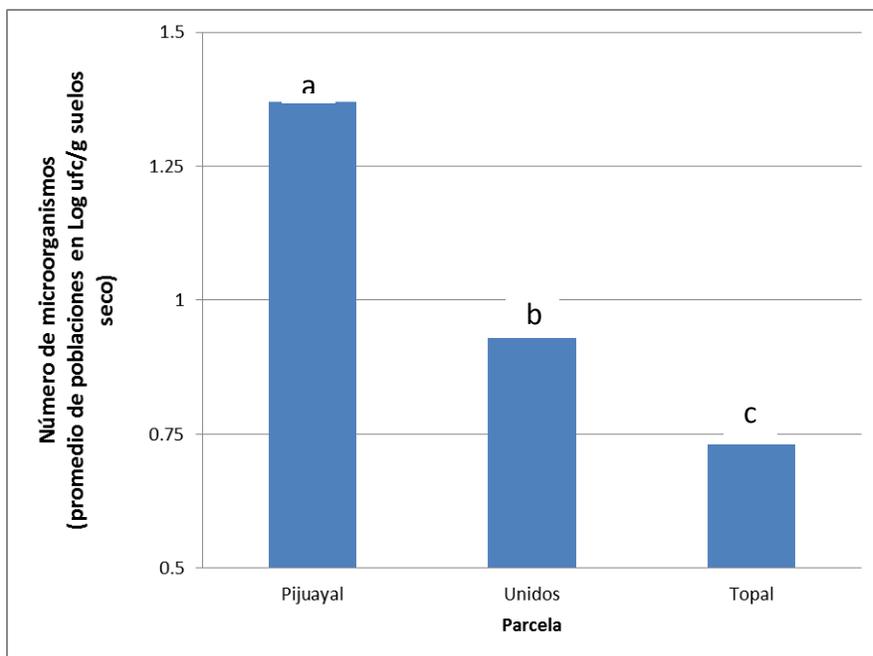


Figura 16: Efecto de la aplicación de tres biofertilizantes sobre la población de bacterias fijadoras de nitrógeno con el factor tipo de suelo (parcela). Valores seguidos con la el misma letra no son significativamente diferentes de acuerdo a la Prueba HSD de Tukey, con un nivel de confianza de 95.0%.

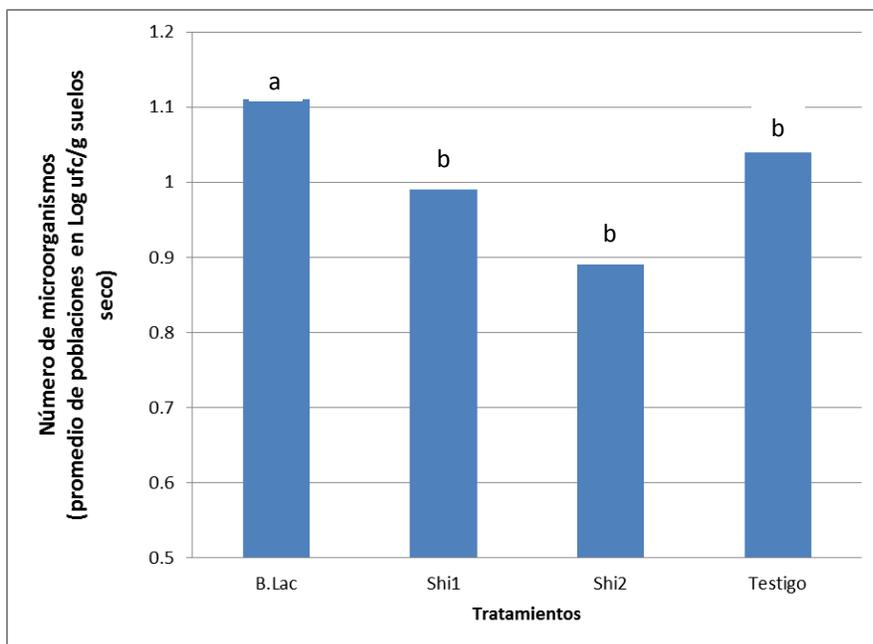


Figura 17: Prueba de Tukey para evaluar la significancia de los tratamientos en la variable dependiente Bacterias fijadoras de nitrógeno, con un nivel de confianza de 95.0%.

4.4.2.6. Poblaciones de *Azospirillum*

Las poblaciones de este tipo de bacterias, si varían en las diferentes condiciones de suelo, tratamiento y también cuando parcela y tratamiento, tratamiento y vigor interactúan (ANVA - Anexo 8). La prueba de Tukey muestra que el mejor suelo para que se establezcan las bacterias *Azospirillum* son los de la parcela Topal (figura 18), cuyos suelos tenían un pH ligeramente más bajo, el porcentaje de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico ligeramente más alto; en el figura 19, se observa que el tratamiento que contiene mayor cantidad de poblaciones de *Azospirillum* es la inoculación con biofertilizante Shi1, lo cual puede explicarse, por la alta concentración de UFC de *Azospirillum* (11.0×10^5) que contiene este biofertilizante.

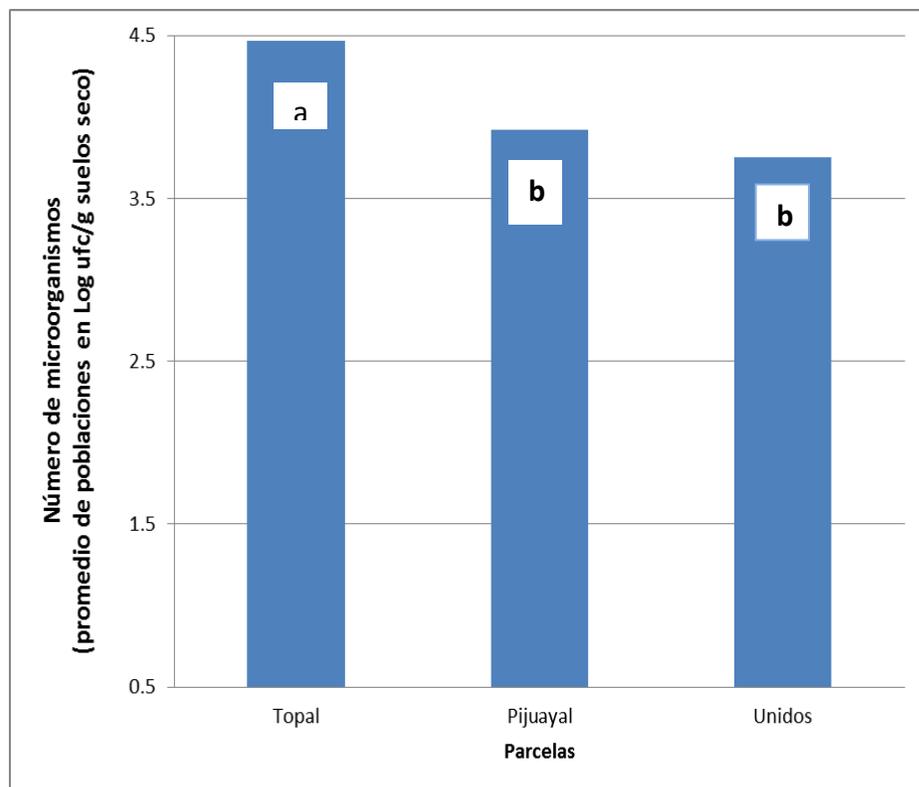


Figura 18: Prueba de Tukey para evaluar la significancia de las parcelas en las medias de del incremento de las poblaciones de *Azospirillum*, con un nivel de confianza de 95.0%.

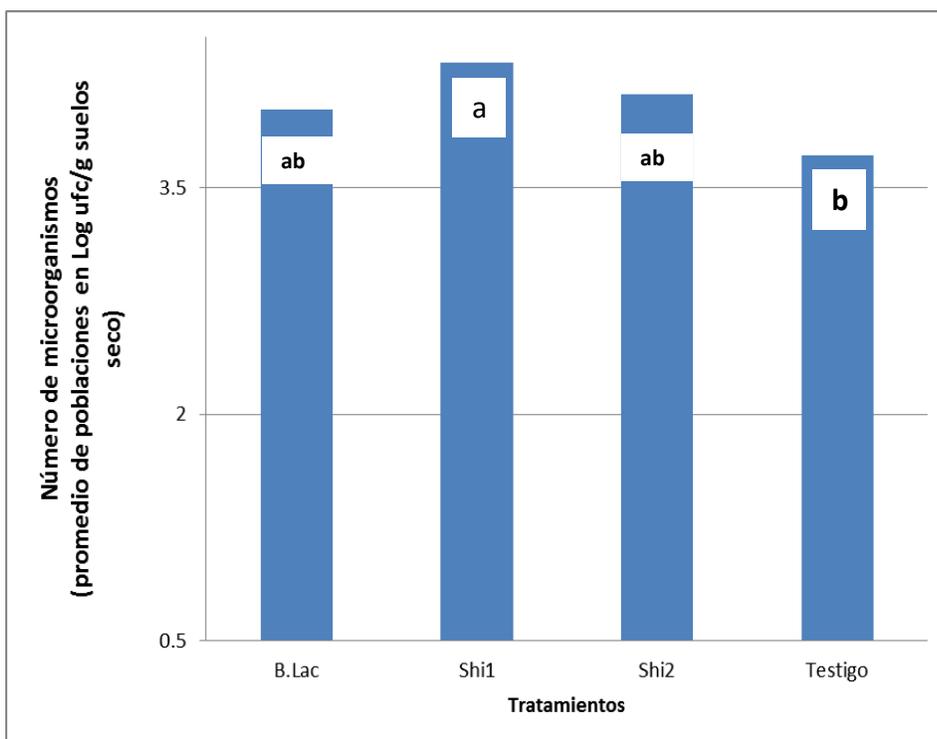


Figura 19: Prueba de Tukey para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, en las poblaciones de *Azospirillum*, con un nivel de confianza de 95.0%.

4.5. Variables evaluadas en los individuos de *Dypterix spp*, antes y después de aplicados los tratamientos:

4.5.1. Altura de planta

Los resultados obtenidos, referentes la altura antes y después de aplicados los tratamientos, indican que existe significancia; es decir, las aplicaciones de biofertilizantes están influyendo en el desarrollo de la altura y diámetro, tal como se muestra en los Anexos 09 y 10 (ANAVA); sin embargo, para el desarrollo en altura de los plantones los factores parcela, vigor y las diferentes interacciones entre estos y los tratamientos, no se ven afectados. Así mismo, se realizó la prueba de Tukey (figura 20), la cual corrobora que existe diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, siendo el tratamiento 4, es decir con el biofertilizante B.Lac, el que presentó mayores tasas de crecimiento, seguido de los tratamientos 2 y 3 a base de microorganismos nativos de la rizosfera de los árboles semilleros de bosque

con suelos no perturbados, entre los cuales no se observa diferencia significativa, y finalmente el tratamiento que presento menor desarrollo en altura es el testigo (sin ninguna aplicación de organismos).

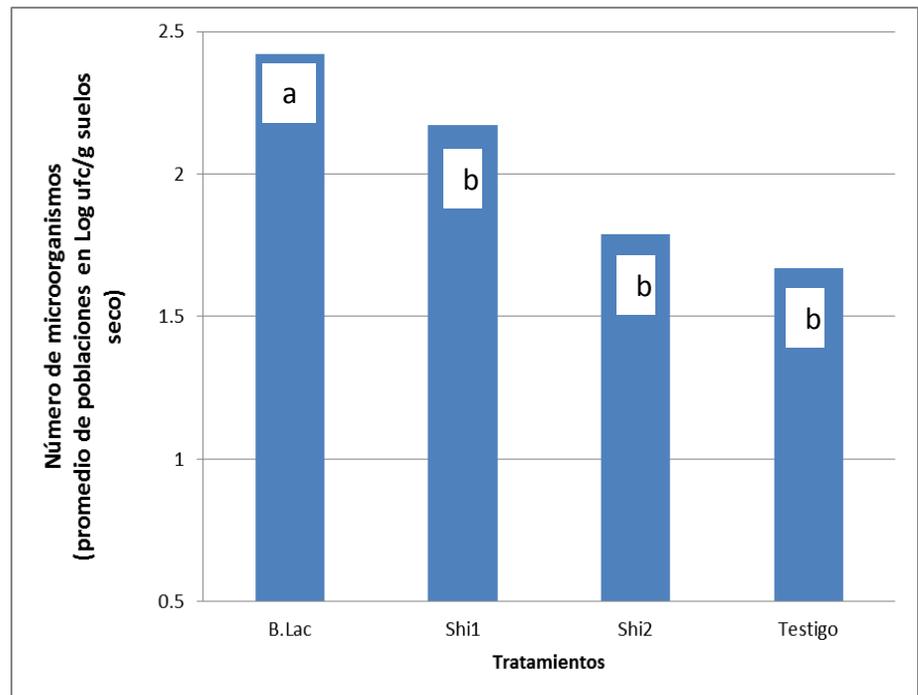


Figura 20: Prueba de Tukey para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, en el incremento en altura de planta (m), con un nivel de confianza de 95.0%.

4.5.2. Diámetro de planta

Al igual que el análisis para la altura total, los resultados obtenidos para el diámetro de base antes y después de aplicados los tratamientos indican que los factores parcela y vigor no afectan a la tasa de crecimiento en diámetro; sin embargo, el análisis entre tratamientos indica que el p-valor es menor a 0.05, por lo que se rechaza la hipótesis nula, es decir que los tratamientos presentan medias diferentes en el desarrollo en diámetro. Por otro lado, la prueba de Tukey indica que la parcela Pijuayal (figura 21) es diferente que las demás y presenta un promedio de tasa de crecimiento en diámetro mayor que el resto de parcelas, pudiéndose explicar por las características de suelo de la parcela. En

cuanto a la diferencia entre tratamientos (figura 22), el tratamiento 1 (B.Lac) es el que mayor efecto tuvo en el desarrollo en diámetro al igual que en la altura.

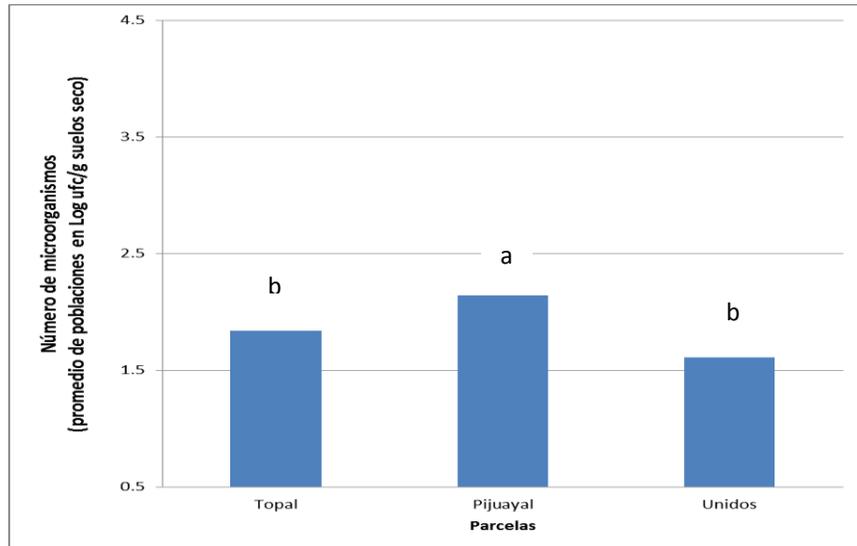


Figura 21: Prueba de Tukey para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, en el incremento en diámetro (cm) de planta, con el factor tipo de suelo (parcela), con un nivel de confianza de 95.0%.

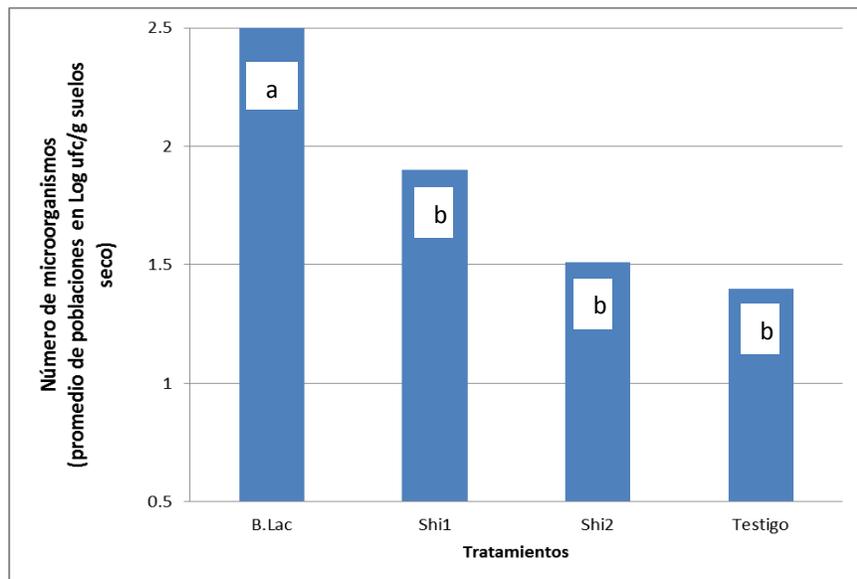


Figura 22: Prueba de Tukey para evaluar las diferencias entre las medias de los tratamientos, del incremento en diámetro (cm) de planta, con un nivel de confianza de 95.0%.

V. CONCLUSIONES

- El aporte de los biofertilizantes incrementó la actividad microbiana en los suelos degradados reforestados con la especie forestal Shihuahuaco, siendo el biofertilizante B.Lac (biofertilizante comercial) el que mostró mayor respiración microbiana y mayores poblaciones totales de hongos, bacterias y actinomicetos.
- Se logro obtener dos biofertilizantes, uno de zona no inundable (Shi 1) y otro de zona inundable (Shi 2), que presentaron poblaciones microbianas y composición química semejantes al biofertilizante comercial. El biofertilizante Shi1, obtenido a suelos de zonas no inundables fue el que mostró mayor población de *Azospirillum*.
- Los tres biofertilizantes mostraron actividad giberelica pero sólo los dos preparados a partir del suelo de Shihuahuaco mostraron actividad auxínica.
- La aplicación de los biofertilizantes incrementó la actividad microbiana, respiración, biomasa y poblaciones totales en el suelo, siendo el biofertilizante producido a partir de suelos de zonas inundables (Shi2), el que produjo mayor cantidad de biomasa microbiana, en tanto que el biofertilizante B.Lac produjo una mayor respiración y concentración de poblaciones totales de bacterias, hongos y actinomicetos.
- Sólo el biofertilizante B.Lac, afectó el vigor, incrementando el diámetro y la altura de las plantas.

- El efecto de los tratamientos aplicados no fue influido por el vigor (diámetro y altura) de las plantas.
- La unidad de manejo forestal o parcela que respondió mejor a los tratamientos, fue Pijuayal: Su pH ligeramente menor, mayor contenido de materia orgánica y mayor capacidad de intercambio catiónico resultaron adecuados para la colonización de las poblaciones microbianas del biofertilizante B.Lac.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis bioquímico a los biofertilizantes para determinar los tipos y las concentraciones de hormonas que contienen.
- Deben considerarse trabajos con dosificaciones más altas de biofertilizantes y un mayor periodo de evaluación, para evaluar el efecto en las propiedades físico-químicas del suelo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEGRE, J.; LOLI, O.; LA TORRE, B. (2005). Manual práctico de fertilidad de suelos. 38p. Facultad de Agronomía. UNALM.

AYALA, D. (2010). Efecto de dos biofertilizantes en el estado sanitario y establecimiento de plantones de *Acacia longifolia*. Tesis Ing. Forestal. UNALM. Lima – Perú.

BARRIO, E. (2001). Calidad de recursos orgánicos, descomposición, disponibilidad de nutrientes y respuesta de los cultivos. Resumen XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Varadero – Cuba.

BIDWELL, R. (1993). Fisiología vegetal. AGT EDITOR S.A. México.

BOSSIO, F. (2007). Obtención de un biofertilizante basado en residuos de pescado y roca fosfatada. Tesis Biólogo. UNALM. Lima – Perú.

BOTTINI, R.; FULCHIERI, M.; PEARCE, D.; PHARIS, R. (1989). Identification of gibberellins A₁, A₃, and iso-A₃ in cultures of *Azospirillum lipoferum*. Plant Physiol 90:45–4.

BRADY, N. y WEIL, R. (2008). The nature and properties of soils. Upper Saddle River. Columbus, Ohio. New Jersey.

BUCKMAN, M. y BRADY, N. (1996). Naturaleza y propiedades de los suelos. Barcelona ES, Montaner y Simón 590p.

CABEZAS, A. (2001). Evaluación biológica de la disponibilidad de nutrientes mediante la técnica del elemento faltante con aplicación foliar en suelo de Costa Central. Tesis Ing. Agr. UNALM. Lima - Perú.

CASSÁN F, et al. (2003). Plant growth promotion by *Azospirillum sp.* through gibberellin production. An alternative model to increase crop yield. *Microbiología Agrícola: Un aporte de la Investigación Argentina para la Sociedad.* (2003) pp: 143-158. Editorial de la Universidad Nacional de Santiago del Estero. ISBN: 987-99083-5-1.

DAVIES P.J. (1995). The plant hormones: their nature, occurrence and functions. in *Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology.* ed Davies PJ (Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands), pp 1–12.

DE ARMAS, U. R. (1988). *Fisiología vegetal.* Ed Pueblo y Educación. La habana- Cuba. 524 pp.

FLORES, A.M. (1975). Estudios de la respuesta a la aplicación de microelementos al follaje en el cultivo de trigo. Tesis. Ing. Agr. Pontificia Universidad Católica Del Perú. Lima. 58 pp.

FULCHIERI M, LUCANGELI C, BOTTINI R. (1993). Inoculation with *A. lipoferum* affects growth and gibberellin status of corn seedlings roots. *Plant Cell Physiol.* 134: 1305–1309.

GLICK BR, PATTEN CL, HOLGUIN G, PENROSE DM.(1999). *Biochemical and Genetic Mechanisms Used by Plant Growth Promoting Bacteria.* (Imperial College Press, London), pp 1–13.

GOMERO, O. L.A. (1986). Efecto de algunos micronutrientes y microorganismos en El cultivo de tabaco rubio. Tesis Ing. Agr. UNALM- Perú 83 pp.

GROSS, A. (1971). *Abonos: guía práctica de fertilizantes.* Madrid, ES: Ediciones MundiPrensa. 526 p.

HAVLIN, J. L.; J. D. Beaton; S. L. Tisdale y W. L. Nelson (1999). *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management.* 6ta Edición. Prentice Hall Inc. 499 p.

HIGA, T. (2009). EM organización de investigación Inc. Sitio oficial del Doc. Higa, Tecnología de EM. Revisado en: www.emrojapan.com

INFOAGRO. (2009). Revisado en: www.infoagro.com/abonos/abonado_salinidad.htm.

LEVEAU, J. BOUIX, M (2000). Microbiología industrial los microorganismos de interés industrial Acribia S.A. Zaragoza – España. 578p.

LOMBARDI, I. (2008). Exposición del Proyecto PD 251/03 (F) “Evaluación de las existencias comerciales y estrategia para el manejo sostenible de la caoba - UNALM-ITTO”. Congreso Forestal Nacional, UNALM. 11 de diciembre.

LLERENA, C. (2009). Apuntes de clase de Ordenación de Cuencas. Departamento de Manejo Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional Agraria La Molina. 2008. 240 diapositivas. Ciclo I.

LOUÉ, A. (1988). Los microelementos en agricultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 354.

LUCANGELI C, BOTTINI R.(1997). Effects of *Azospirillum* spp. on endogenous gibberellins content and growth of maize (*Zea mays* L.) treated with uniconazole. *Symbiosis* 23:63–72.

MADIGAN, M. MARTINKO, J. PARKER, J. (2004). Biología de los microorganismos según Brock. Décima edición Pearson educación, S.A, Madrid. 1096 p.

MANTA, M. (1988). Análisis silvicultural de dos tipos de boque húmedo de bajura en la vertiente Atlántico de Costa Rica. Tesis Mg. Sc. Silvicultura de Bosques Naturales. CATIE.

MANTA, M. (2008). Los nuevos escenarios de la Investigación en Nutrición Pública y Seguridad Alimentaria. Conferencia en el Curso Seminario I de la Maestría en Nutrición Pública y Seguridad Alimentaría. 8 de Julio de 2008. EPG, UNALM. Lima-Perú.

MARTÍNEZ, J. PEÑA, M. (2005). Efecto de la biofertilización en el rendimiento de grano de trigo bajo temporal, en la región central de Nuevo León. Campo Experimental General Terán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km 31 carretera Montemorelos-China, General Terán.

MESTA, C. (2011). Evaluación del desarrollo de *Dipteryx alata* Vogel. (Shihuahuaco) en plantaciones juveniles mixtas instaladas en suelos degradados de la zona de campo verde-Ucayali.

NUÑEZ, E. R. J. (1965). Memoria del II congreso sociedad Mexicana de la ciencia del suelo. Tomo II. 60 pp.

OKON Y, KAPULNIK Y.(1986). Development and function of *Azospirillum*-inoculated roots. Plant Soil 90:3–16.

OKON Y, LABANDERA-GONZÁLEZ C.(1994). Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years of worldwide field inoculation. Soil Biol Biochem 26:1591–1601.

PERRIG, D., BOIERO, L., MASCIARELLI, O., PENNA, C., CASSÁN F. AND LUNA V. (2007). Plant growth promoting compounds produced by two agronomically important strains of *Azospirillum brasilense*, and their implications for inoculant formulation. Applied Microbiology and Biotechnology 75: 1143-1150.

PORTA, J. LÓPEZ, M. ROQUERO, C. (2000). Edafología para la agricultura y medio ambiente. 3Era Edición. Madrid – España. 252 p.

PROABONOS, 2009. Revisado en: www.proabonos.gob.pe.

R Core Team. (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>

ROESTREPO, I. (1998). La Idea y arte de fabricar abonos orgánicos fermentados. SIMAS. Nicaragua.

ROLDAN, G. (2008). Tecnología innovativa apropiada a la conservación in situ de la agrobiodiversidad. Serie N° 2, Capítulo 6- Preparación y uso del Compost: Folleto. INIA.

STRZELCZYK E., KAMPER M.; LI, C. (1994). Cytocinin-like-substances and ethylene production by *Azospirillum* in media with different carbon sources. Microbiol. Res. 149: 55-60.

SUQUILANDA, M. (1995). El biol. Fitoestimulante orgánico. Ed-FUNDAGRO. Ecuador.

TISDALE S. NELSON. (1998). Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management (6th Edition). New Jersey.

TIEN T, GASKIN M, HUBBEL D. (1979). Plant growth substances produced by *Azospirillum brasilense* and their effect on the growth of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.). Appl. Environ. Microbiol. 37: 1016–1024.

TORRES, J. (1998). Patología forestal. Libro Madrid: Fundación Conde del Valle de Salazar: Ediciones Mundi - Prensa, 1998.

UGAMOTO, M.; PINEDO, J. (1987). Técnicas de producción de plantones de la zona forestal Alexander von Humboldt. Pucallpa, Centro Forestal y Fauna (CENFOR XII). Documento de trabajo N°1. 51 p

VOLUNTARY CARBON STANDARD (VCS). (2007). proyecto Reforestación de tierras degradadas en Campo Verde con especies nativas - Pucallpa - Perú.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Análisis de varianza para biomasa después de aplicados los tratamientos.

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Parcela	2	0.017102	0.017102	0.008551	2.11	0.126
Tratamiento	3	0.191359	0.191359	0.063786	15.75	0.000
Vigor	2	0.027771	0.027771	0.013886	3.43	0.036
Error	100	0.404930	0.404930	0.004049		
Total	107	0.641162				

S = 0.0636341 R-cuad. = 36.84% R-cuad.(ajustado) = 32.42%

Anexo 2: Análisis de varianza para Respiración después

Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P
Parcela	2	0.0016362	0.0016362	0.0008181	1.84	0.164
Tratamiento	3	0.0090983	0.0090983	0.0030328	6.82	0.000
Vigor	2	0.0013023	0.0013023	0.0006512	1.46	0.236
Error	100	0.0444670	0.0444670	0.0004447		
Total	107	0.0565039				

S = 0.0210872 R-cuad. = 21.30% R-cuad.(ajustado) = 15.79%

Anexo 3: Análisis de la Varianza para el incremento de la población Bacterias después de aplicados los tratamientos.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6.22	35	0.18	3.93	<0.0001
Parcela	1.27	2	0.64	14.07	<0.0001
Tratam	0.16	3	0.05	1.21	0.3135
Vigor	0.14	2	0.07	1.50	0.2309
Parcela*Tratam	2.22	6	0.37	8.19	<0.0001
Parcela*Vigor	0.12	4	0.03	0.66	0.6250
Tratam*Vigor	1.03	6	0.17	3.79	0.0024
Parcela*Tratam*Vigor	1.28	12	0.11	2.36	0.0126
Error	3.26	72	0.05		
Total	9.48	107			

Anexo 4: Análisis de la Varianza para el incremento de la población de Hongos después de aplicados los tratamientos.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.95	35	0.03	10.47	<0.0001
Parcela	0.43	2	0.21	82.76	<0.0001
Tratam	0.04	3	0.01	5.34	0.0022
Vigor	0.30	2	0.15	58.48	<0.0001
Parcela*Tratam	0.08	6	0.01	5.45	0.0001
Parcela*Vigor	0.02	4	4.0E-03	1.55	0.1981
Tratam*Vigor	0.02	6	3.9E-03	1.50	0.1908
Parcela*Tratam*Vigor	0.05	12	4.3E-03	1.67	0.0924
Error	0.19	72	2.6E-03		
Total	1.13	107			

Anexo 5: Análisis de la Varianza para el incremento de la población de Actinomicetos después de aplicados los tratamientos.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.44	35	0.07	3.27	<0.0001
Parcela	0.77	2	0.39	18.17	<0.0001
Tratam	0.25	3	0.08	3.97	0.0112
Vigor	2.5E-03	2	1.2E-03	0.06	0.9437
Parcela*Tratam	0.54	6	0.09	4.21	0.0011
Parcela*Vigor	0.14	4	0.03	1.61	0.1805
Tratam*Vigor	0.16	6	0.03	1.22	0.3078
Parcela*Tratam*Vigor	0.58	12	0.05	2.27	0.0166
Error	1.53	72	0.02		
Total	3.97	107			

Anexo 6: Análisis de la Varianza para el incremento de la población de bacterias nitrificantes después de aplicados los tratamientos.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11.49	35	0.33	9.95	<0.0001
Parcela	8.54	2	4.27	129.40	<0.0001
Tratam	0.09	3	0.03	0.92	0.4367
Vigor	1.59	2	0.80	24.14	<0.0001
Parcela*Tratam	0.24	6	0.04	1.22	0.3060
Parcela*Vigor	0.22	4	0.06	1.67	0.1660
Tratam*Vigor	0.13	6	0.02	0.67	0.6719
Parcela*Tratam*Vigor	0.67	12	0.06	1.70	0.0839
Error	2.37	72	0.03		
Total	13.86	107			

Anexo 7: Análisis de la Varianza para el incremento de la población de bacterias fijadoras de nitrógeno después de aplicados los tratamientos.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11.21	35	0.32	6.18	<0.0001
Parcela	7.77	2	3.89	74.93	<0.0001
Tratam	0.69	3	0.23	4.44	0.0064
Vigor	0.12	2	0.06	1.12	0.3318
Parcela*Tratam	1.90	6	0.32	6.10	<0.0001
Parcela*Vigor	0.12	4	0.03	0.57	0.6862
Tratam*Vigor	0.23	6	0.04	0.75	0.6102
Parcela*Tratam*Vigor	0.38	12	0.03	0.61	0.8240
Error	3.73	72	0.05		
Total	14.94	107			

Anexo 8: Análisis de la Varianza para el incremento de la población de *Azospirillum* después de aplicados los tratamientos.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	42.35	35	1.21	2.69	0.0002
Parcela	10.04	2	5.02	11.17	0.0001
Tratam	5.42	3	1.81	4.02	0.0106
Vigor	1.69	2	0.84	1.88	0.1605
Parcela*Tratam	8.17	6	1.36	3.03	0.0106
Parcela*Vigor	2.26	4	0.57	1.26	0.2942
Tratam*Vigor	9.44	6	1.57	3.50	0.0043
Parcela*Tratam*Vigor	5.32	12	0.44	0.99	0.4692
Error	32.35	72	0.45		
Total	74.70	107			

Anexo 9: Análisis de la Varianza para el incremento en la altura total de planta.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	40.19	35	1.15	1.42	0.1044
Parcela	0.13	2	0.06	0.08	0.9249
Tratam	9.70	3	3.23	4.00	0.0108
Vigor	1.69	2	0.84	1.04	0.3575
Parcela*Tratam	3.28	6	0.55	0.68	0.6691
Parcela*Vigor	2.75	4	0.69	0.85	0.4967
Tratam*Vigor	6.00	6	1.00	1.24	0.2972
Parcela*Tratam*Vigor	16.65	12	1.39	1.72	0.0807
Error	58.16	72	0.81		
Total	98.35	107			

Anexo 10: Análisis de la Varianza para el incremento en el diámetro de planta.

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>	
Modelo.		56.93	35	1.63	2.07	0.0046
Parcela		5.16	2	2.58	3.29	0.0429
Tratam		24.94	3	8.31	10.60	<0.0001
Vigor		1.94	2	0.97	1.23	0.2969
Parcela*Tratam		6.29	6	1.05	1.34	0.2527
Parcela*Vigor		4.11	4	1.03	1.31	0.2743
Tratam*Vigor		2.33	6	0.39	0.49	0.8102
Parcela*Tratam*Vigor		12.17	12	1.01	1.29	0.2418
Error		56.47	72	0.78		
Total		113.40	107			