

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**Efecto de microorganismos eficientes en la disponibilidad
de fósforo y rendimiento del cacao a
560 msnm - Kimbiri - Cusco**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
Noel Chávez Barrientos**

Ayacucho - Perú

2018

A mis queridos abuelos: Juan y Justina.

Con cariño a mis padres: Jorge y Roberta;
a mis hermanos: Mery, Maritza, Doris y
Jorge Luis.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por acogerme en sus aulas, esperando ser cada día mejor que ayer.

A la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela de formación Profesional de Agronomía. Alma mater de mi formación profesional.

A los Señores Docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, por sus valiosas enseñanzas y orientaciones que me encaminaron al logro de mis metas.

A mi asesor Ing. Juan Benjamín Girón Molina, por su asesoramiento, paciencia, aporte y colaboración en el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Esteban Quispe Gómez, Técnico del Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería; por su generosa colaboración.

A los compañeros de trabajo del SENASA-VRAE; por su apoyo y colaboración desinteresada.

Al señor Jesús Palomino Pozo, amigo y compañero de trabajo, por su apoyo durante la ejecución del presente trabajo en su parcela de experimentación del cultivo de cacao variedad CCN51, en Kimbiri - Cusco.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Índice general	iii
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de anexos.....	vii
Resumen.....	1
Introducción	3
CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Aspectos generales del fósforo en el suelo.....	6
1.3. Importancia del fósforo	8
1.4. Formas de fósforo en el suelo	9
1.5. Microorganismos solubilizadores de fósforo	16
1.6. Microorganismos eficientes (EM).....	18
1.7. Tipos de microorganismos presentes	19
1.8. El cacao (<i>theobroma cacao</i>).....	20
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS	25
2.1. Ubicación	25
2.1.1. Descripción del suelo	26
2.1.2. Característica general del área.....	26
2.2. Metodología	26
2.2.1. Diseño experimental.....	26
2.2.2. Descripción de tratamientos	27
2.2.3. Parámetros evaluados	28
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
3.1. De la disponibilidad de fósforo en el suelo	29
3.2. Del contenido de fósforo en el tejido foliar.....	31

3.3.	Del pH después de la aplicación de microorganismos eficientes.....	34
3.4.	Del rendimiento de cacao	36
3.5.	De la correlación entre los parámetros evaluados	38
	Conclusiones	40
	Recomendaciones.....	41
	Referencia bibliográfica	42
	Anexos	47

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Dosis de tratamientos con microorganismos y roca fosfórica.....	27
Tabla 3.1. Análisis de varianza de la cantidad de fósforo disponible en el suelo en los diferentes tratamientos.....	29
Tabla 3.2. Análisis de varianza de la cantidad de fósforo en el tejido foliar en los diferentes tratamientos.....	32
Tabla 3.3. Análisis de varianza de pH en el suelo al finalizar el experimento..	34
Tabla 3.4. Análisis de varianza del rendimiento de cacao en los diferentes tratamientos.....	36
Tabla 3.5. Coeficiente de correlación entre los parámetros evaluados.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1.	Entradas y salidas de P en el sistema suelo-planta.....	7
Figura 1.2.	División del fósforo en el suelo.....	10
Figura 1.3.	Equilibrio del fósforo en el suelo.....	13
Figura 1.4.	Diferencia colorimétrica entre formas de fosforo insoluble y solubilizado.....	17
Figura 2.1.	Ubicación del experimento.....	25
Figura 3.1.	Fósforo disponible promedio en el suelo al final del experimento.....	30
Figura 3.2.	Tendencia de la aplicación de microorganismos eficientes en p-disponible del suelo.....	31
Figura 3.3.	Contenido de fósforo en el tejido foliar del experimento.....	33
Figura 3.4.	Tendencia de la aplicación de microorganismos eficientes en el contenido de P en las hojas.....	34
Figura 3.5.	pH promedio al final del experimento.....	35
Figura 3.6.	Tendencia de la aplicación de microorganismos eficientes en la variación de pH del suelo.....	36
Figura 3.7.	Rendimiento promedio al final del experimento.....	37
Figura 3.8.	Tendencia de la aplicación de microorganismos eficientes en el rendimiento de cacao.....	38

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Descripción de las dosis de aplicación de los tratamientos de la parcela de investigación.....	48
Anexo 2. Distribución de tratamientos en la parcela.....	49
Anexo 3. Análisis de caracterización de suelos de la parcela con cacao.....	50
Anexo 4 Procedimiento de muestreo de suelo en la parcela de investigación...	51
Anexo 5. Distribución de tratamientos en la parcela de investigación.....	52
Anexo 6. Rotulado de los tratamientos en la parcela de investigación.....	53
Anexo 7 Aplicación de roca fosfórica como abono de base a todos los tratamientos de la parcela de investigación.....	54
Anexo 8. Fosfórica en los tratamientos de la parcela de investigación.....	55
Anexo 9. Resultados de los parámetros evaluados.....	56

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la disponibilidad de fósforo en el suelo y en el tejido de la planta, la variación de pH y el rendimiento de Cacao dentro de un manejo orgánico del cultivo. Se utilizó el Diseño en Bloques Completamente al Azar con cuatro tratamientos y 3 repeticiones; los tratamientos fueron constituidos por 3 dosis de microorganismos de suelo: 15 L.ha⁻¹, 30 L.ha⁻¹ y 45 L.ha⁻¹, adquiridos en el Programa de Pastos, el testigo fue sólo con aplicación de roca fosfórica, distribuidos al azar en tres repeticiones. Se realizaron dos aplicaciones, la primera al momento de la instalación del trabajo de investigación acompañada de la roca fosfórica y la segunda a los 3 meses. Se recolectaron las muestras de los diferentes tratamientos a los seis meses y luego llevados al Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNSCH. Los resultados encontrados permiten arribar a las siguientes conclusiones: Las diferentes dosis de microorganismo tuvieron un efecto solubilizante sobre la roca fosfórica y se tradujo en mayor fósforo disponible incluyendo el tratamiento testigo; este hecho se debió a que los microorganismos autóctonos tienen buen efecto en la solubilización de la roca fosfórica al de los tratamientos. El pH presentó variaciones significativas mostrando el rango más bajo con el tratamiento T2 (15 L. ha⁻¹) y el rango más alto con el tratamiento T4 (45 L. ha⁻¹). Se logró mayor rendimiento de Cacao con el tratamiento T4 (45 L.ha⁻¹ de microorganismos eficientes) con 2105.4 kg.ha⁻¹.

INTRODUCCIÓN

Un aspecto importante para mantener un alto rendimiento en cultivos y su producción, es la nutrición de las plantas. Los microorganismos que forman parte de la rizósfera juegan un rol muy importante, pues son benéficos en la fertilidad del suelo y el desarrollo de las plantas, puesto que intervienen en la toma de nutrientes, controles biológicos contra patógenos y muchas veces sin ellos no se podrían completar los ciclos biogeoquímicos, Kohler et al (2006). En este sentido, la fertilización directa con roca fosfórica, sola o combinada con microorganismos solubilizadores de fósforo, se ha propuesto como una alternativa especialmente adecuada para los ambientes del trópico, en vista que los suelos de esta región son deficientes en fósforo. FAO (2004).

La biosolubilización o aplicación conjunta de roca fosfórica con microorganismos que solubilizan el fosfato insoluble contenido en ella es una técnica que tiene varias ventajas, por lo que ha empezado a ser evaluada con interés. Esta técnica es efectiva, bien sea que se utilicen hongos(Singh, 2011) o bacterias (Khan et al, 2013). Bien sea que se utilicen hongos o bacterias como MSF, los mecanismos involucrados en los procesos de solubilización del P insoluble contenido en la RF pueden incluir la producción de ácidos orgánicos, la acidificación del sustrato por excreción de protones y/o la producción de ácidos inorgánicos (Khan et al, 2013).

El Fósforo después del Nitrógeno, es el nutriente inorgánico más requerido por plantas y los microorganismos, además, en el suelo es factor limitante del desarrollo vegetal a pesar de su abundancia tanto en formas inorgánicas como orgánicas, este nutriente no es posible capturarlo biológicamente desde el aire como ocurre con el nitrógeno (Graetz, 2002).

El manejo racional y sustentable de la fertilidad de suelos hace indispensable aumentar la eficiencia de su utilización, la que no depende de mayores tasas de aplicación de fertilizantes, sino de fomentar procesos de reciclaje y de solubilización del fósforo en el suelo. Los equilibrios de reacción entre las distintas formas de fósforo dependen de los coloides y minerales presentes en el suelo; el pH, la actividad microbiológica y la presencia de enzimas, ácidos orgánicos y la intensidad de la demanda del nutriente. Entonces se considera que la solubilización de las distintas fuentes de fósforo inorgánico por los microorganismos del suelo es una alternativa fundamental para incrementar la cantidad de nutriente disponible para las plantas (Delvaux, 1995).

Se hace necesario mejorar la eficiencia en la producción a través de la profundización en el conocimiento de la planta, implementación de prácticas culturales adecuadas, disminución en la aplicación de pesticidas, fertilizantes edáficos, foliares y una reducción gradual en los costos de producción.

Por lo antes mencionado, se planteó el trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

- 1.- Evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos eficientes en el pH del suelo y la disponibilidad de fósforo.
- 2.- Evaluar el efecto de dosis de microorganismos eficientes en la solubilidad del fósforo de la roca fosfórica y el aprovechamiento por el cultivo de Cacao.
- 3.- Evaluar la influencia de microorganismos eficientes en el rendimiento del Cacao.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. ANTECEDENTES

En los últimos años el uso de microorganismos eficientes como disolvente ha crecido exponencialmente. Pérez (2009), en una investigación hecha con incorporación de microorganismos, señala que todos los tratamientos hay un incremento paulatino de fósforo, pese a que no había efectuado ninguna fertilización fosfatada anteriormente en el cultivo.

Patiño (2013), al hacer aislamientos de bacterias *Burkholderia ambifaria* y *B. lata*, solubilizadores de fósforo, cuando se inocularon en Ají (*Capsicum annum*) se adaptaron a su rizósfera e incrementaron la eficiencia en el uso de roca fosfórica, lo que permitió reducir la aplicación de esta fuente de fósforo a la mitad, sin que ocurran diferencias significativas en la respuesta de las variables de crecimiento producción de biomasa total, área foliar y área y distribución de raíces.

Guzman (2011), al realizar estudios en cuatro suelos encontró 126 posibles bacterias solubilizadores, de los cuales sólo 100 presentaron solubilización del fosforo insoluble del medio de cultivo.

Becerra et al (2011), al realizar una investigación lograron aislar tres cepas nativas de suelos ácidos de cultivos de uchuva (*Physalis peruaviana* L.) con capacidad solubilizadora de fosfato de suelos ácidos. Se aisló una levadura *Candida famata* y dos bacterias *Aeromonas hydro- phila* y *Rhanella aquatilis*, las cuales al no haber presentado actividad antagónica entre sí, y haberse potencializado su actividad solubilizadora de fósforo orgánico en inóculo mixto, además de haber presentado pH muy bajos en las fermentaciones por lo que podrían ser también solubilizadoras de

fósforo inorgánico, pueden ser una muy buena opción para un futuro desarrollo de un bioinoculante mixto.

Vargas (2012), señala que el pH es uno de los factores que más incide en los procesos de solubilización, puesto que a niveles entre 6.5 -7 ayuda a que este proceso ocurra de forma eficiente y a niveles de pH ácidos, el proceso de fijación de fósforo va ser más lento; de igual forma las bacterias rizosféricas que predominan en suelos tipo arenosos, ayudando a la ocurrencia del proceso de solubilización en suelos; pero cabe destacar que la concentración de fósforo en suelos arenosos es baja (20-30ppm) en comparación de los suelos arcillosos (30-50ppm).

Toalombo (2012), indica que al hacer uso de Microorganismos eficientes autóctonos en diferentes dosis y frecuencias empleadas para el cultivo de cebolla blanca (*Allium fistulosum*), estadísticamente no produce diferencia en ninguna de las variables. También Se identificaron tres géneros de microorganismos beneficiosos los mismos que son: Levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus plantarum*), y Bacterias fototrópicas/fotosintéticas (*Rhodopseudomonas sphaeroides*).

1.2. ASPECTOS GENERALES DEL FÓSFORO EN EL SUELO

Después del agua y el N, los dos elementos nutritivos limitantes más comunes en los trópicos son probablemente el P y el S. El P no es un elemento abundante en el ambiente (Coyne, 1996) y se caracteriza por ser muy estable dentro del suelo, ya que no se pierde por lavado ni por volatilización, como si sucede con el N y el S. Esta alta estabilidad implica baja solubilidad que en algunos suelos del trópico es el resultado de su muy alta capacidad de fijación de P, lo que genera deficiencias del elemento para las plantas (Perez, 2009).

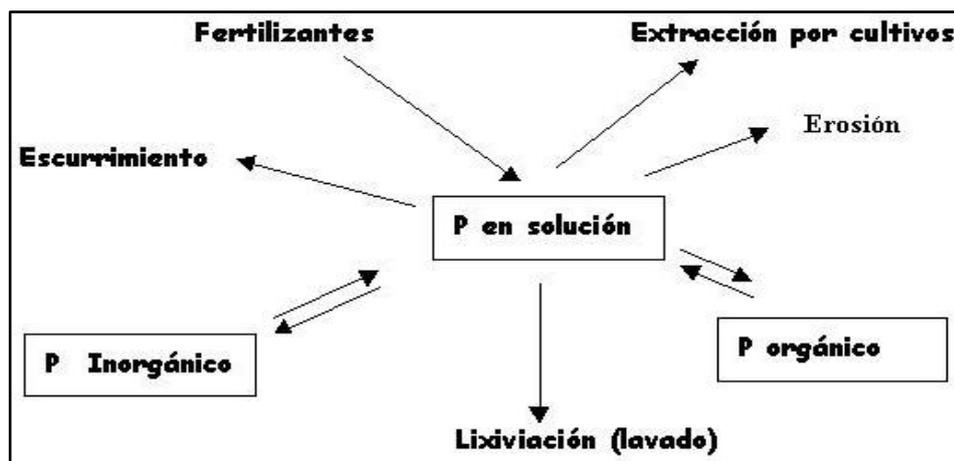


Figura 1.1. Entradas y salidas de P en el sistema suelo-planta

El fósforo a menudo aparece como nutriente limitante en los suelos agrícolas, cualquiera sea su forma de manejo. No es posible capturarlo biológicamente desde el aire, como ocurre con el nitrógeno, y su ciclo natural involucra largos periodos, lo que en términos de manejo agrícola equivale a decir que no se puede depender del ciclo del fósforo, sino de la posibilidad de generar determinados flujos y subciclos de él al interior de los sistemas suelo-agua-organismos vivos. Sin embargo, los subciclos se ven dificultados por el hecho que los equilibrios de reacción del fósforo tienden a mantener la mayor parte de él en condiciones no disponibles para las plantas o los microorganismos (Miller y Tyler, 2006).

La importante interacción de los fosfatos aportados por los fertilizantes con la fase sólida del suelo, hace que el aprovechamiento instantáneo del P aplicado sea realmente escaso. La eficiencia de la fertilización varía según el tipo de suelo (fundamentalmente depende el pH y el tipo de arcillas); fuente de fertilizante, y técnica de aplicación, pero en términos generales es muy reducida, alrededor de 10-20%. Sin embargo, el P remanente no se va del suelo, sino que queda en el mismo generando efectos residuales en cultivos posteriores. Esta es una característica muy importante ya que es posible desarrollar esquemas de fertilización fosfatada variando la dosis de fertilizante en función de la relación insumo/producto. Cuando esta relación es favorable, es factible incrementar el nivel de P aplicado, mientras que en años desfavorables, es posible no fertilizar aprovechando el efecto residual o reducir la dosis (Guerrero, 2001).

1.3. IMPORTANCIA DEL FÓSFORO

Desde el punto de vista práctico, interesa conocer las entradas y salidas de P del sistema suelo-planta y cómo es la movilidad del nutriente en el suelo. Como se desprende de la observación del ciclo global del P, la única entrada al sistema proviene de fertilizantes fosfatados, mientras que las salidas pueden ser por extracción en las cosechas, situaciones de erosión mínima; escurrimiento, lixiviación (de escasa importancia). A medida que el P disponible en la solución del suelo es absorbido por las plantas, es repuesto a partir de la mineralización del humus, de las fracciones más lábiles de las arcillas y en forma mucho más lenta, desde la mineralogía primaria.

Este reaprovisionamiento de P hacia la solución del suelo, se realiza mediante un equilibrio químico dinámico. Por lo mencionado previamente, en plantíos productivos sin fertilización, la disponibilidad de P se va reduciendo en forma progresiva, a diferencia de nutrientes como el N, en donde, además del agregado de N vía fertilizante, puede existir fijación biológica del N atmosférico a través de la simbiosis entre ciertas bacterias (por ejemplo, del género *Rhizobium*) y las leguminosas (Hayman, 1973).

El fósforo es uno de los elementos críticos para la producción agropecuaria debido a su relativa escasez edáfica, la elevada retención por parte de la matriz del suelo, la falta de reposición natural y la progresiva escasez de sus fuentes naturales. En el suelo se mueve por difusión y solo se desplaza por escasos milímetros, debido a su intensa interacción en la matriz del suelo; entonces la absorción del nutriente depende en gran medida del grado en que las raíces exploran los dominios del suelo (Rizobacter, 2007).

El fósforo es fundamental en procesos fisiológicos y bioquímicos de los vegetales (RAO, 1992). Se encuentra en altas concentraciones en los tejidos meristemáticos, epicentro del crecimiento activo de las plantas. Es fuente primaria de energía vía ATP, forma parte de las coenzimas NAD y NADP y de los azúcares fosfatados, nucleótidos, ácidos nucleicos (ADN y ARN), nucleoproteínas, fosfolípidos y ácido fítico. Por su participación activa como transmisor de energía en procesos

metabólicos claves para las células: fosforilación, fotosíntesis, respiración, glicólisis, síntesis y descomposición de carbohidratos, grasa y proteínas, su deficiencia se expresa en menor crecimiento aéreo de la planta y considerable reducción del sistema radical (Salisbury y Ross, 1994).

Muchos microorganismos comunes del suelo, poseen la habilidad para mineralizar formas orgánicas de fósforo allí presente, incluyendo las especies *Bacillus*, *Serratia*, *Arthrobacter*, *Streptomyces*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* y otros. Un alto porcentaje de la población microbial del suelo tiene tal habilidad, con valores promedios del orden del 50%; en esto hay diferencia con respecto a la transformación del Nitrógeno (Burbano, 1989).

1.4. FORMAS DE FÓSFORO EN EL SUELO

1.4.1. Fracciones de fósforo en el suelo

Las fracciones del P en el suelo son complejas y su disponibilidad para las plantas, es afectada por una gran diversidad de procesos (Olsen y FEK 1980). Se ha propuesto que en mucho, esta disponibilidad depende de la interacción entre sus diferentes formas en el suelo y los procesos que determinan el paso de las formas poco disponibles a las disponibles (Soto, 1988).

El Po es la principal fuente de P para la agricultura con poco o ningún uso de los fertilizantes, de ahí que su conservación y manejo sea de gran significado práctico en los sistemas agrícolas tradicionales o de uso mínimo de insumos, donde la fracción se enriquece con las deposiciones de restos vegetales y animales sobre la superficie (Bertsch, 1995).

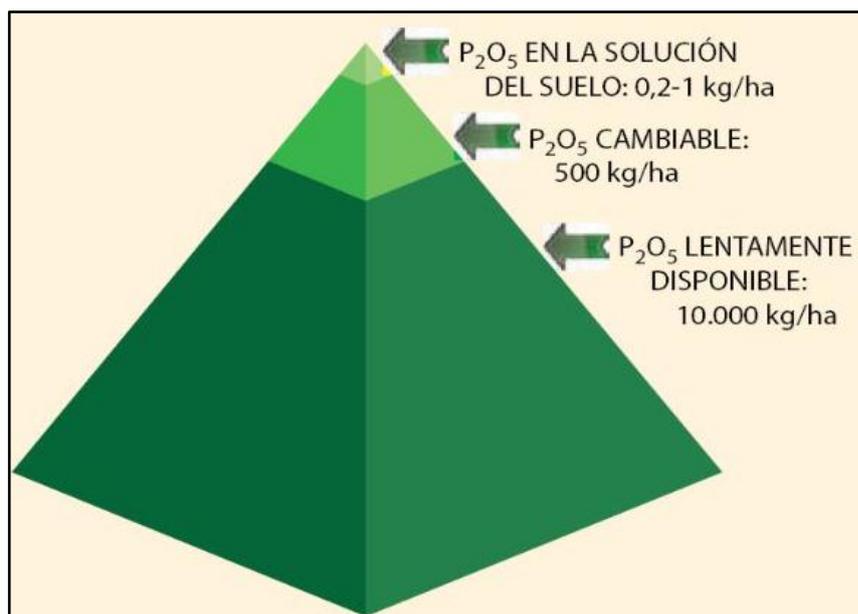


Figura 1.2. División del fósforo en el suelo

Entre los fosfatos inorgánicos se diferencian tres fracciones:

- Fosfatos nativos o precipitados que se encuentran en el suelo formando parte de los minerales del mismo.
- Fosfatos adsorbidos al complejo coloidal.
- Fosfatos solubles, presentes en la solución del suelo.

Según Bertsch (1995), el Pi nativo o precipitado está generalmente dividido en tres fracciones activas y dos relativamente inactivas. Las fracciones activas son fosfatos enlazados con Ca (P-Ca), con Al (P-Al) y a Fe (P-Fe). Los fosfatos de calcio están presentes como partículas definidas, mientras que los P-Al y los P-Fe se presentan como películas adsorbidas en las superficies de arcilla y limo. La fracción relativamente inactiva es el P-ocluido y consiste en compuestos de P-Fe rodeados de un revestimiento inerte de otro material que evita la reacción de estos fosfatos con la solución del suelo. El P-ocluido puede considerarse inerte dada su baja solubilidad, e incluso si están estrechamente ligadas a las partículas del suelo son inaccesibles para las plantas (Cross y Schlessinger, 1998).

El P está retenido o fijado en el suelo cuando no es posible extraerlo con ácidos diluidos, por lo cual no se considera disponible para las plantas. La retención del P en

el suelo puede ser de carácter débil, cuando no hay simple absorción por las cargas positivas que tienen los coloides del suelo. Las cargas positivas del complejo coloidal se producen en todos aquellos puntos donde hay OH terminales (bordes rotos, alófana, materia orgánica, sesquióxidos) y las condiciones son lo suficientemente ácidas que permiten la protonación de esos OH. En el caso de los fosfatos estas reacciones de intercambio aniónico conducen muchas veces a la formación de Pi precipitado, como los sesquióxidos (Bertsch, 1995).

La disponibilidad de un nutriente se entiende como la fracción que está en el suelo en condición de ser absorbida por las raíces. Tanto el Po como el Pi para ser disponible para las plantas son transformados por acción microbiana (mineralización y solubilización). En los ecosistemas naturales, los procesos biológicos influyen directamente sobre la disponibilidad de P que se deriva de la materia orgánica del suelo. La descomposición y mineralización de los fosfatos incorporados en la biomasa de bacterias, hongos y plantas retoman el Pi a la solución del suelo (Harrison, 1982). Por otra parte los microorganismos pueden inmovilizar entre 20 y 50% del fósforo orgánico de la superficie del suelo, especialmente en suelos con baja disponibilidad del elemento, donde únicamente una pequeña fracción (aproximadamente 1% por año), es mineralizada para contribuir a la disponibilidad de P para la planta (Harrison, 1982).

El P inorgánico (Pi), tiene su origen en la descomposición y desintegración de rocas y materiales parentales que contienen apatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})_2$). Se encuentra en los suelos como partículas pequeñas de fluorapatita, hidroxiapatita, cloroapatita y fosfatos de hierro, aluminio o calcio o en combinación con fracciones arcillosas del suelo. Las formas inorgánicas también se combinan con el humus o sus fracciones orgánicas: huminas y ácidos fúlvicos formando complejos órgano-fosforados (Kass, 1996).

En el caso del P la única fracción disponible inmediatamente para las plantas es el P en solución, en la cual los contenidos son muy bajos para satisfacer las necesidades de las plantas. Las principales formas de P disponible son aniónicas y muy solubles

(HPO_4 y H_2PO_4). Su predominancia varía según el pH, en suelos con pH ácido, se favorece la forma H_2PO_4 , la más abundante en los suelos tropicales (Gil, 1995).

La baja concentración de P disponible requiere de reposición constante en la solución del suelo, lo cual se produce a través de la mineralización y solubilización del P que está disponible en equilibrio con el P en solución. Sin embargo, para conocer su dinámica se debe considerar algo más que el contenido en la solución, se deben entender varios factores en conjunto que condicionan el P disponible (León, 1972).

Factor intensidad, es el más importante y está representado por la concentración del P en la solución del suelo. Factor cantidad, representado por el contenido de P realmente disponible.

Factor capacidad o poder tampón de P, representado por las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo de poder mantener o restablecer el P en la solución del mismo, en niveles adecuados a través de la disolución del elemento de la fase sólida.

El factor difusión, representado por las características que permiten a los iones fosfato migrar de la superficie de la fase sólida del suelo, donde se disuelven, hasta la superficie de las raíces.

Adicionalmente, se podría agregar a estos factores, el sistema radical de las plantas que las hacen más o menos hábiles para captarlo, al igual que la presencia de las Micorrizas arbusculares.

1.4.2. Clases de fósforo en el suelo

La entrada de fósforo al suelo se inicia con la acumulación superficial de los residuos de organismos que viven en el suelo (plantas, animales, microorganismos). La participación de los residuos incorporados al suelo en el ciclo del P está directamente relacionada con la cantidad y calidad de los mismos. Otra fuente son las aplicaciones de abonos de síntesis o químicos y las adiciones de materiales a través de abonos orgánicos y coberturas vegetales. Las aplicaciones de fertilizantes químicos o abonos

orgánicos al suelo aumentan el P disponible, debido a los productos de reacción que se suceden en el suelo (Institute, 1987).

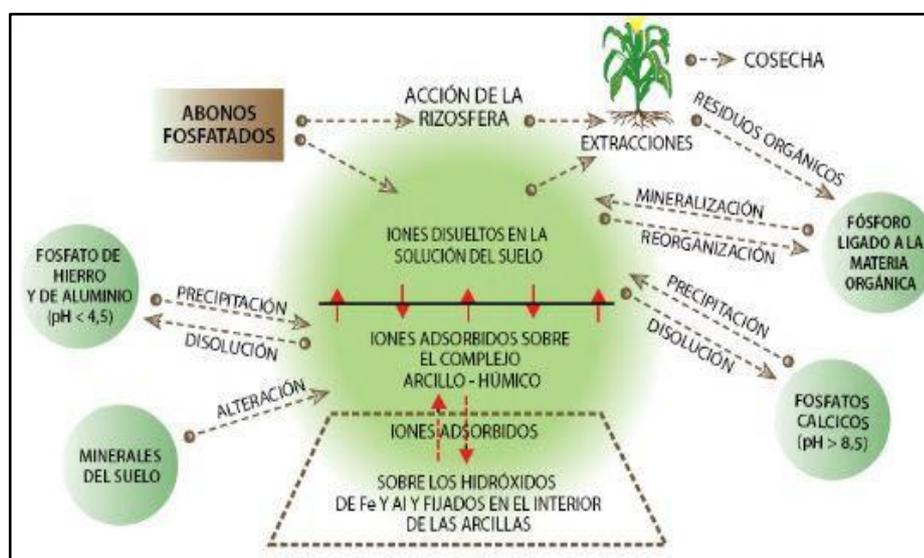


Figura 1.3. Equilibrio del fósforo en el suelo

El principal factor que incide sobre la eficiencia de los fertilizantes fosfóricos es su solubilidad, fertilizantes hidrosolubles como el superfosfato triple (SPT) y el fosfato de amonio (DAP y MAP) varían en su efectividad, el segundo puede superar el SPT debido a la mayor solubilidad del P y la presencia de amonio que estimula el aprovechamiento del P al disminuir el pH en la rizosfera (Guerrero, 2001).

El Fosfato Diamónico (DAP) aplicado en suelos ácidos, pobres en calcio y con elevadas concentraciones de aluminio, produce una reacción alcalina, teóricamente ventajosa, ya que promovería mayor eficacia del abono, en comparación con SPT, que tiene una reacción fuertemente ácida que provoca alta precipitación hacia fosfatos insolubles de aluminio y hierro. Sin embargo, el uso de DAP puede generar efectos fitotóxicos, generalmente cuando se aplican a la siembra ocasionando quemazón en los brotes, debido a la liberación de NH_3 (hidrólisis del amonio) e intensificado por la reacción alcalina del DAP. El MAP tiene un efecto fitotóxico menor debido al pH de su reacción. En general la solubilidad de los fertilizantes fosfóricos representa beneficios para los cultivos a corto plazo; después, el P se fija a los coloides del suelo (arcilla y humus) (León, 1972).

Los abonos orgánicos tienen una forma de acción diferente a los fertilizantes químicos, ya que son fuentes de lenta liberación de nutrientes que, depende directamente de la descomposición del abono, además de los contenidos de nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos esenciales y no esenciales ligados a ellos (Gómez, 2000).

El contenido de nitrógeno es una de las principales características usadas para evaluar la calidad de un abono orgánico. En importancia de valoración le sigue el contenido de P, donde valores por encima del 1% se consideran buenos y mayores del 2% excelente. La gallinaza es considerada como el material con más alto contenido de N (entre 4,5 a 6%). Es importante recordar que al usar materiales orgánicos en el abonamiento se conozca la cantidad de nutrientes que puede ser liberada en la descomposición, así como la dinámica de la liberación de nutrientes (Gómez, 2000).

El uso de materiales orgánicos como residuos de cosecha, abonos verdes, estiércoles y compost entre otros, permiten el mantenimiento de la materia orgánica del suelo, debido a que son materiales ricos en elementos nutritivos para los organismos del suelo, incluyendo las plantas. Además estos materiales al descomponerse dejan un residuo estable (humus) de buena calidad (Muñoz, 2001).

La comparación en los efectos de la aplicación de los materiales orgánicos sobre la dinámica del P en suelos ácidos han demostrado que la gallinaza es un material con enorme potencial en estos suelos con alta fijación de P, ya que la gallinaza tiene gran capacidad para saturar o bloquear los sitios de retención de P y aumentar los contenidos del mismo en las diferentes fracciones (Muñoz, 2001).

Es importante tener en cuenta que desde el punto de vista de la nutrición vegetal, la solubilización debe ocurrir dentro de la rizosfera puesto que más allá tendría poco efecto debido, fundamentalmente, a dos razones : 1) la lenta difusión del fósforo en el suelo y 2) la falta de sustratos fuera de la zona rizosférica. Los exudados radicales y residuos vegetales proveen el sustrato energético para soportar la intensa actividad microbiológica característica de la rizosfera y para llevar a cabo la solubilización de

fosfatos. La actividad de los microorganismos solubilizadores fuera de la zona rizosférica adquiere especial importancia cuando las plantas son susceptibles a ser micorrizadas (Burbano, 1989).

1.4.3. Residualidad del fósforo

La residualidad de este elemento se interpreta como la prolongación en el tiempo de su efecto en el cultivo donde se aplicó o en aquellos establecidos con posterioridad. La residualidad depende de factores climáticos, la naturaleza del suelo, tipo de manejo, dosis y tipo de fertilizante, cultivo, presencia o ausencia de otros nutrientes y del agua. El tiempo de duración del efecto residual de las aplicaciones de fertilizantes, dependerá de las transformaciones de P entre las fracciones disponibles y no disponibles y la remoción de nutrientes por la planta (Guerrero, 2001).

Algunos fertilizantes como las rocas fosfóricas se han caracterizado porque el P se va liberando lentamente, lo cual disminuye su fijación y permite valores residuales más prolongados que al utilizar un fertilizante soluble en agua. La distribución y disponibilidad de fósforo a largo plazo en el suelo, es controlada por procesos geoquímicos, como la meteorización de minerales primarios que proporciona fosfato a la fracción disponible del suelo (Smeck, 1985).

De acuerdo con (Mckean, 1991), en suelos tropicales con alta capacidad de fijación de P, es importante conocer las cantidades de P adsorbidas inicialmente y las liberadas desde los componentes del suelo. La continua liberación de P adsorbido tiene gran significado agronómico debido a que la tasa de restitución de P al medio (desorción), es frecuentemente el factor que limita el P que los cultivos pueden aprovechar. La absorción y desorción del P juegan papel importante en el efecto residual de las aplicaciones de este elemento. La reacción inicial de la adsorción es el comienzo rápido y luego va cambiando hasta volverse lenta; la tasa y duración de esta reacción es importante para determinar la efectividad residual del P.

Un efecto residual complementario está asociado al impacto a largo plazo que tienen algunas aplicaciones de fertilizantes inorgánicos, sobre la calidad y capacidad productiva del suelo. Al respecto, los resultados son contradictorios y se ha

demostrado que aplicaciones consecutivas de fertilizantes químicos disminuyen la capacidad productiva de los suelos (Hayman, 1973).

1.5. MICROORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FÓSFORO

La mayor actividad de los microorganismos se realiza desde la superficie del suelo hasta unos 20 centímetros de profundidad, las colonias de microorganismos permanecen adheridas a las partículas de arcilla y humus (fracción coloidal) y a las raíces de las plantas que les suministran sustancias orgánicas que les sirven de alimento y estimulan su reproducción. Estas exudaciones dependen del buen estado nutricional de la planta y así favorecen el crecimiento de los microorganismos que son importantes para ella. Su actividad y desarrollo están asociados a la disponibilidad de sustratos a transformar. La colonización de algunos grupos microbianos sobre las fracciones orgánicas e inorgánicas, dependen de la función que se esté cumpliendo en la transformación (degradación de carbohidratos o de proteínas, amonificación, nitrificación, oxidación, reducción, mineralización, solubilización). Por lo tanto, mientras algunos microorganismos actúan sobre un sustrato, otros se desarrollan en los productos de la transformación (Alexander, 1980).

Las bacterias relacionadas con la liberación del fósforo se han considerado siempre como paradigma de las Rizobacterias Promotoras del crecimiento Vegetal (PGPR - Plant Growth Promoting Rhizobacteria) y han sido conocidas por mucho tiempo como BSPI (Bacterias solubilizadoras del fosfato inorgánico). Son muy variadas y están ampliamente extendidas por todos los suelos y condiciones ambientales.



Figura 1.4. Diferencia colorimétrica entre formas de fósforo insoluble y solubilizado

Las rizobacterias (PGPR) promotoras del crecimiento de las plantas aparecen libres en el suelo, son capaces de adaptarse, colonizar y persistir en la rizosfera de la planta favoreciendo el crecimiento y desarrollo de ésta en su actividad, estas bacterias pueden ser beneficiosas, neutras o negativas para las plantas, y son capaces de mejorar la estructura del suelo y proteger al vegetal frente a tensiones de diverso orden, por lo cual puede llamárseles también biofertilizantes, ya que producen fitohormonas y suprimen patógenos del suelo (Cloepper y Schrat, 1978).

Desde hace unas décadas el uso de “fosfohongos”, tales como cepas de *Aspergillus sp.*, y *Penicillium sp.*, están siendo utilizadas para incrementar la solubilidad de la roca fosfatada y del fósforo en el suelo (Beever y DJWB, 1980).

La importancia de la actividad de los microorganismos en el ciclo del fósforo se manifiesta por el alto contenido de este elemento en el tejido microbiano, en contraste con el contenido relativamente pequeño en cultivares (Mulder, 1967).

La inoculación de microorganismos tales como cepas de *Aspergillus*, *Paecilomyces*, *Penicillium* y *Azotobacter* en los fosfocomposts han acortado el tiempo de maduración del mismo hasta en cuatro semanas con un aumento de la calidad y contenido de fósforo y nitrógeno (Mathur, 1980). (Ortuño, 1979); encontró en un ensayo de incubación al utilizar fosfato tricalcico como fuente de fósforo insoluble,

que *Aspergillus Níger* comenzó a solubilizar a las 24 horas, llegando al máximo a los 7 días, también cuantificaron que la fijación biológica de este elemento en los procesos metabólicos es menor que su mineralización al estado de fosfato asimilable. El grupo microbiano solubilizador de fósforo es el de las Bacterias existiendo una gran cantidad de géneros capaces de solubilizar fósforo entre otros los *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Micrococcus* y *Pseudomonas* (*Putida* y *Fluorescens*) uno de los más relevantes desde el punto de vista de la solubilización del nutriente. La última especie ha demostrado tener una altísima capacidad de solubilización tal como queda demostrado en numerosos trabajos sobre el fosfato tricalcico insoluble (Rizobacter, 2007).

Corredor y Baquero (1988), realizaron en Dibulla (Guajira) 219 aislamientos primarios seleccionando un total de 80 ME nativos potenciales. Para la clasificación preliminar tuvieron en cuenta el porcentaje de poblaciones presentes, debido a que la permanencia y la frecuencia de aparición son importantes para su estudio, con una aproximación al conocimiento de la biodiversidad microbiana de la región. Los porcentajes que encontraron fueron: Bacterias 83.75%, Actinomicetos 8,75%, Hongos 6,25% y Levaduras 1.25%. Este proceso de investigación no tiene antecedentes preliminares en el Caribe Colombiano y es de vital importancia para identificar elementos de la biodiversidad nativa, útiles en el desarrollo de tecnologías para la producción orgánica. El principal camino que siguen los microorganismos para disolver los fosfatos insolubles, es a través de la secreción de ácidos orgánicos tales como el láctico, oxálico y cítrico; otro mecanismo es bajar el pH a su alrededor por el desprendimiento de CO₂ que se produce durante la respiración, contribuyendo así a la mayor disolución de los fosfatos (Burbano, 1989).

1.6. MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM)

Rodríguez (2009), manifiesta que los microorganismos eficientes (EM) fueron desarrollados en la década de los 70, por el profesor Teruo Higa de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón. Teóricamente este producto comercial se encuentra conformando esencialmente por tres diferentes tipos de organismos: levaduras, bacterias ácido lácticas y bacterias fotosintéticas, las

cuales desarrollan una sinergia metabólica que permite su aplicación en diferentes campos de la ingeniería, según sus promotores.

Hurtado (2001), manifiesta que los microorganismos eficientes actúan de manera que toman sustancias generadas por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo. Las raíces de las plantas secretan sustancias que son utilizadas por los microorganismos eficientes para crecer, sintetizando aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas.

Los EM son un grupo muy grande de organismos, que cumplen multitud de funciones en el suelo y mantienen en orden los ciclos normales de múltiples sustancias. Esta labor es permanente y gracias a ella, la vida en el suelo se mantiene. Estos organismos viven naturalmente en el suelo (bacterias, hongos, actinomicetos) y cumplen múltiples funciones, especialmente degradando y/o transformando diversos materiales para que sean aprovechados en la nutrición de las plantas. Intervienen además en los ciclos biogeoquímicos en la naturaleza (Fundases, 2007).

1.7. TIPOS DE MICROORGANISMOS PRESENTES

1.7.1. Bacterias ácido lácticas

Biosca (2001), manifiesta que estas bacterias producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras. El ácido láctico es un fuerte esterilizador, suprime microorganismos patógenos e incrementa la rápida descomposición de materia orgánica. Las bacterias ácido lácticas aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa, transformando esos materiales sin causar influencias negativas en el proceso. Ayuda a solubilizar la cal y el fosfato de roca.

1.7.2. Bacterias fotosintéticas

Biosca (2001), indica que son bacterias autótrofas que sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuente de energía. Las sustancias sintetizadas comprenden aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, promoviendo el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los metabolitos son absorbidos directamente

por ellas, y actúan como sustrato para incrementar la población de otros microorganismos eficientes.

Earth (2008), expresa que estas bacterias funcionan como un componente importante del EM. Ayudan a mantener el balance con otros microorganismos benéficos, permitiendo a coexistir y funcionar juntamente con los mismos.

1.7.3. Levaduras

Biosca (2001), indica que estos microorganismos sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Las sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas, producidas por las levaduras, promueven la división celular activa. Sus secreciones son sustratos útiles para microorganismos eficientes como bacterias ácido lácticas y actinomiceto. Earth (2008), manifiesta que la levadura ayuda a fermentar la materia orgánica y contiene vitaminas y aminoácidos.

1.7.4. Actinomicetes

APNAN (2003), manifiesta que funcionan como antagonistas de muchas bacterias y hongos patógenos de las plantas debido a que producen antibióticos (efectos biostáticos y biácidas). Benefician el crecimiento y actividad del *Azotobacter* y de las micorrizas.

1.7.5. Hongos de fermentación

APNAN (2003), expresa que los hongos de fermentación como el *Aspergillus* y el *Penicilina* actúan descomponiendo rápidamente la materia orgánica para producir alcohol, esteres y sustancias antimicrobianas. Esto es lo que produce la desodorización y previene la aparición de insectos perjudiciales.

1.8. EL CACAO (*Theobroma cacao*)

1.8.1. Importancia del cacao.

El género *Theobroma* es originario de América Tropical, específicamente de la cuenca alta del río Amazonas. El género posee algunas especies de gran relevancia

económica en los trópicos, principalmente *Theobroma cacao* y en mucho menor grado *T. grandiflorum* y *T. bicolor*. Las semillas de *T. cacao* se han empleado a lo largo de la historia para la preparación de bebidas y otros alimentos, como moneda, bebida ceremonial y tributo a reyes. Esta especie se encuentra actualmente distribuida a lo largo de las regiones lluviosas de los trópicos, desde los 20° de latitud norte hasta los 20° de latitud sur (Hardy, 1961).

1.8.2. Biología y botánica del cacao

El cacao es una planta alógama, de ciclo vegetativo perenne y diploide ($2n=20$). El árbol de cacao alcanza alturas de 2 m hasta de 20 m cuando tiene condiciones óptimas de crecimiento (sombra intensa, temperatura, viento, agua y suelos apropiados). La planta proveniente de semilla presenta un tronco vertical que puede desarrollarse en forma muy variada dependiendo de las condiciones ambientales, el cual empieza su etapa de producción a los dos años después de establecido en el campo. Las plantas de origen clonal obtenidas mediante injerto o estacas presentan una conformación diferente sin el predominio de un eje principal (Enriquez , 1987).

El cacao posee una raíz principal pivotante, con hojas simples, enteras y de colores variables que van desde morado hasta verde pálido, con pecíolo corto, posee flores pequeñas, hermafroditas y pentámeras con cinco lóculos donde hay de 6 a 12 óvulos. Las flores al igual que los frutos se producen en racimos pequeños, sobre el tejido maduro del tronco y de las ramas. Generalmente su polinización es entomófila, principalmente llevada a cabo por individuos del género *Forcipomya*. Una planta puede llegar a producir de 100.000 a 150.000 flores por año, de las cuales sólo se fecunda entre el 0,1 y 0,3% por lo que las demás caen (Enriquez , 1987).

Los frutos maduran entre 5 y 6 meses después de la polinización. Poseen un mesocarpo de contextura lisa o arrugada que se divide en cinco carpelos interiormente. Los frutos son de tamaño y forma muy variable, generalmente tienen forma de baya de 30 cm de largo y 10 cm de diámetro. Tienen forma elíptica y son de diversos colores al madurar (rojo, amarillo, morado y café); contienen entre 20 y 40 semillas que están cubiertas de una pulpa mucilaginoso de color blanco, cuyos

cotiledones pueden ser de color blanco y/o violetas. Las semillas una vez secas alcanzan pesos entre 0,8 y 1,5 gr cada una (Enriquez , 1987).

1.8.3. Taxonomía y razas cultivadas

Theobroma cacao pertenece al orden Malvales y a la familia Esterculiáceas (Hardy, 1961). Se distinguen dos razas de cacao: forastero y Criollo. Los Forasteros, conocidos también como cacaos Amazónicos y/o amargos son originarios de América del Sur. Su centro de origen es la parte alta de la cuenca del Amazonas en el área comprendida entre los ríos Napo, Putumayo y Caquetá. Es la raza más cultivada en las regiones cacaoteras de África y Brasil y proporcionan más del 80% de la producción mundial (Motamayor, 2001).

Los forasteros se caracterizan por sus frutos de cáscara dura y leñosa, de superficie relativamente tersa y de granos aplanados, pequeños de color morado y sabor amargo.

Dentro de esta raza se destacan distintas variedades como Cundeamor, Amelonado, Sambito, Calabacillo y Angoleta. La variedad Nacional originaria de Ecuador se caracteriza por ser un cacao fino y de gran aroma y también pertenece a este grupo (Enriquez, 1987)

Los Criollos (palabra que significa nativo pero de ascendencia extranjera), se originaron también en Sudamérica, pero fueron domesticados en México y Centro América y son conocidos también como híbridos de cacao dulce. Se caracterizan por sus frutos de cáscara suave y semillas redondas medianas a grandes, de color blanco a violeta, que se cultivan principalmente en América Central, México, Colombia y parte de Venezuela.

Poseen sabores dulces y agradables, donde los árboles son de porte bajo y menos robustos con relación a otras variedades. Sin embargo este grupo se caracteriza por su alta susceptibilidad a las principales enfermedades (Enriquez, 1987).

Según Motamayor (2001) los cacaos Trinitarios están conformados por híbridos que comprenden las mezclas entre el criollo y el forastero tipo amelonado, que aparentemente se mezclaron naturalmente en el Caribe, siendo los genotipos típicos de Granada, Jamaica, Trinidad y Tobago. Este grupo aparentemente se originó cuando un genotipo criollo se cruzó naturalmente con un genotipo amelonado del Brasil. Por esta razón, estos materiales presentan características morfológicas y genéticas de ambas razas. Ocupan del 10 al 15% de la producción mundial. Presentan granos de tamaño mediano a grande y cotiledones de color castaño (Soria, 1966).

1.8.4. Requerimientos edafoclimáticos

Altitud y Temperatura: El clima propicio para el desarrollo del cacao corresponde a la franja de ubicadas desde el nivel del mar hasta 1.300 m. de altitud, con temperaturas entre 22°C y 30°C en promedio, la mínima no bajar de 15°C.

Precipitación: 2.500 milímetros anuales, preferiblemente distribuidos equitativamente durante el año. Humedad relativa: Cerca del 80%. Vientos: Los fuertes y permanentes son inconvenientes, se debe instalar barreras rompe-vientos.

Sombra: los árboles de cacao prosperan bajo el dosel de otros árboles de mayor porte, por lo cual en los primeros años de vida la planta necesita mayor cantidad de sombra (70%); después del tercer año y a medida que sus copas se agrandan y cierran los requerimientos de sombrero disminuyen (30%). Las condiciones extremas de sombra, tanto por exceso como por escasez, son perjudiciales para los rendimientos de la producción, ya que favorecen la aparición de plagas y enfermedades (Amores, 2008).

Suelo: La selección de un suelo apropiado es fundamental para obtener cultivos de cacao de alta productividad. Si este no cumple los requisitos mínimos para el desarrollo adecuado de la planta, el cultivo no funcionará aunque se utilicen materiales élite de alto rendimiento. La textura del suelo es una propiedad de gran importancia para la agricultura. En el caso del cacao, la mejor textura corresponde a suelos francos a franco-arcillosos(Thompson, 1982). Pero (Amores, 2008) selecciona a los suelos aluviales, de textura franco-arcillosa, franco-limosa y franco-arenosa,

suelto y profunda, que le permitan la raíz principal penetrar de 80 a 150 centímetros, como las condiciones idóneas.

El pH debe estar en el rango de 6.0 a 7.5 en la capa superficial, sin ser excesivamente ácido (pH menor a 4.0) o alcalino (pH mayor a 8.0), hasta una profundidad de un metro (Thompson, 1982).

Además, el suelo debe tener materia orgánica que incrementa la habilidad del suelo para retener nutrientes y disminuir la compactación, entre otros beneficios (Sanchez, 1988). La descomposición de la materia orgánica, produce la liberación de N y S, como única abastecedora natural de ambos nutrientes además de su importante contribución al P al suelo. Los agregados particularmente los más grandes, imparten una estructura conveniente a las capas superiores de los suelos con alta productividad. La estructura se mantiene estable por los compuestos orgánicos y residuos secretados por la micro fauna y micro flora que habita el suelo. Estos compuestos unen las partículas de arena, limo y arcilla para formar los agregados, lo que a su vez conduce a la formación de la estructura granular que es la ideal para la mayoría de los cultivos.

El cacao durante su ciclo productivo deposita cantidades considerables de hojarasca, entre $145 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ a los 4 años de plantado hasta 500 y 1500 Kg ha^{-1} , a los 10 y 15 años respectivamente, en el Bosque húmedo premontano (bh-PM) es mayor la acumulación, alcanza $2000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Leiva, 2012).

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. UBICACIÓN

El Experimento se condujo en el Distrito de Kimbiri, Provincia de La Convención, Región Cuzco; pertenece a la cuenca formada por los ríos Apurímac y Ene, localizados entre los paralelos $12^{\circ}18'$ a $13^{\circ}22'$ de Latitud Sur y los meridianos $72^{\circ}55'00''$ a $74^{\circ}17'23''$ de Longitud Oeste, abarcando una superficie de 1'486,077 hectáreas. En este ámbito geográfico se encuentran pisos ecológicos de ceja de selva, selva alta y baja; con altitudes que van desde los 400 a 1900 msnm (<http://www.minagri.gob.pe>)

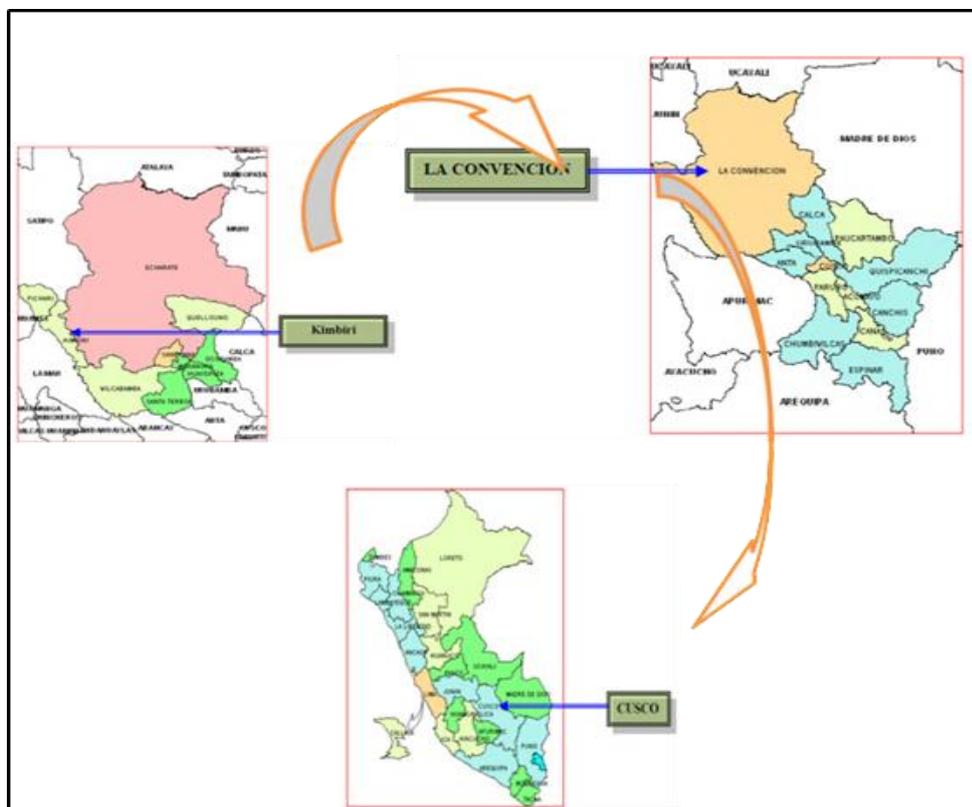


Figura 2.1. Ubicación del Experimento, (Fuente. Elaboración propia, 2014)

Se utilizaron terrenos con cultivo de Cacao del productor Sr. Jesús Palomino Pozo, ubicado a 12°35'09.124 Latitud Sur y 73°47'52.77 Longitud Oeste. Cuya extensión de cultivo de Cacao era de 1.5has, teniendo una densidad de siembra de 1111 plantas por hectárea, a una altitud de 560msnm.

2.1.1. Descripción del suelo

Los suelos del VRAE, en particular del Distrito de Kimbiri son desde muy ácidos a ácidos (pH: 4.5 – 5.5), con contenido ligeramente alto de M.O. (4.4%); de textura franca a franco-arcillosa y en algunos lugares cierto nivel de pedregosidad (<http://www.minagri.gob.pe>).

El sistema de plantación para el cacao en la parcela de estudio es cuadrado, teniendo 3.0 m de distancia entre plantas para hacer una densidad de 1111 plantas por hectárea. El manejo de la fertilización es completamente orgánico, la fuente de potasio es el sulfato de potasio, como fuentes de nitrógeno y potasio es usado el guano de islas. Esta parcela tiene 4 años de haber sido plantada con cacao de variedad CCN 51.

2.1.2. Característica general del área

Las condiciones climáticas del VRAE, particularmente de los distritos de San Francisco, Kimbiri y Pichari, que son lugares importantes en la producción de cacao, según la clasificación agroecológico es bosque tropical cálido húmedo durante el día, enfría suavemente en la noche, en términos de temperatura, éstas oscilan de 15 – 30°C; con una media de 22.5°C; la precipitación de 2,100 mm y una humedad relativa promedio del 80 %. Si bien hay lluvias todo el año, existen dos épocas marcadas: entre mayo y noviembre la precipitación es escasa, y entre diciembre y abril son abundantes (<http://www.minagri.gob.pe>).

2.2. METODOLOGÍA

2.2.1. Diseño experimental

El experimento se condujo en Diseño Bloque Completamente Randomizado, con 04 tratamientos y tres repeticiones (Calzada, 1982). Cada muestra de suelo fue tomada de 10 plantas que representan una unidad experimental o bloque. A cada tratamiento

se le fertilizó con roca fosfórica a razón de 2kg por planta según el resultado de análisis de suelos.

Análisis estadístico: Para la interpretación de los resultados obtenidos, se realizaron el Análisis de Variancia, las pruebas de contraste y correlaciones.

2.2.2. Descripción de tratamientos

Los tratamientos fueron: Tres Dosis de Microorganismos Eficientes naturales del suelo y un Testigo, siendo éstos Tratamiento 1 (0 L.ha⁻¹), Tratamiento 2 (15 L.ha⁻¹), Tratamiento 3 (30 L.ha⁻¹) y Tratamiento 4 (45L. ha⁻¹), distribuidos en 3 repeticiones. A los cuatro tratamientos se les incorporó, según análisis de suelos, 2 kg de Roca Fosfórica por planta, añadiendo luego las dosis de EM según los tratamientos. Para el presente trabajo se utilizó la dosis de activación al 5% de solución de microorganismos madre, 5% de Melaza y 90 % de agua.

Tabla 2.1. Dosis de tratamientos con microorganismos y roca fosfórica

Tratamientos	Microorganismos de suelo activado		Roca Fosfórica	
	L.ha ⁻¹	ml/planta	kg.ha ⁻¹	kg/planta
T1(testigo)	0	0	2222	2
T2	15	270.0	2222	2
T3	30	540.1	2222	2
T4	45	810.1	2222	2

Se escogió un lote de plantación de cacao de cuatro años de edad de una densidad de 1111 Plantas por hectárea. Donde se marcaron y delimitaron un total de 120 plantas de Cacao, en las cuales se distribuyeron los tratamientos.

En esta delimitación se tomaron muestras de suelo a 20 cm en la zona radicular de las plantas de cacao. Se tomó de cada tratamiento 10 submuestras para hacer el análisis del elemento fosforo; y de igual forma se realizó un muestreo foliar para determinar el contenido de fosforo en las hojas.

Previo a realizar los tratamientos en la parcela experimental se hizo un muestreo de suelo a 20 cm de profundidad, tomando en cuenta la metodología de muestreo de suelos, haciendo un total de 20 sub muestras y se combinaron para hacer una muestra representativa de 01 kilo. La muestra fue llevada al laboratorio previamente marcada y rotulada.

2.2.3. Parámetros evaluados

Fósforo disponible en el suelo

El primer dato de evaluación de muestra de suelo se tomó el mes de agosto del 2014. Pasado los 6 meses (febrero 2015) se hizo el proceso de muestreo de suelo en las unidades experimentales, posteriormente se realizó el análisis químico, para determinar la cantidad de P-disponible, liberado a partir de los tratamientos.

Fósforo disponible en el tejido foliar: El primer dato de evaluación de muestra de tejido se tomó el mes de agosto del 2014. Pasado los 6 meses (febrero 2015). Para determinar la disponibilidad de fósforo en el tejido foliar se tomó muestras de hojas de cacao de las unidades experimentales, posteriormente se realizó el análisis químico, para determinar el P- disponible por efecto de los tratamientos.

pH del suelo: El primer dato de evaluación de muestra de suelo se tomó el mes de agosto del 2014. Pasado los 6 meses (febrero 2015). Se determinó mediante análisis químico a partir del muestreo de suelo de las unidades experimentales.

Rendimiento de grano de cacao

Los datos se tomaron 8 meses después de la instalación (abril 2015), para los cual se tomó el peso de mazorcas por planta de cada unidad experimental y se multiplico por el índice de mazorca para determinar el peso seco. Se evaluaron las almendras por mazorca y luego por planta.

CAPITULO III RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. DE LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO EN EL SUELO

En la tabla 3.1, se muestra el análisis de variancia para la disponibilidad de fósforo en el suelo, en el que se encontró diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos estudiados con un coeficiente de variabilidad de 7.48%, lo cual está por debajo del valor establecido según calzada (Calzada, 1982), para trabajos de campo.

Tabla 3.1. Análisis de variancia del fósforo disponible en el suelo para los diferentes tratamientos

F. variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>F	<0.05
Bloques	2	7.25	3.63	0.37	0.705	NS
Tratamientos	3	1845.86	615.29	63.05	0.000	**
Error	6	58.56	9.79			
Total	11	1911.67				

C.V=7.48%

Luego se procedió a realizar la prueba de contraste tukey (Figura 3.1), en el que se encontró que no existe diferencia significativa entre los tratamientos T4, T2 y T3, siendo estos a la vez superior al testigo T1.

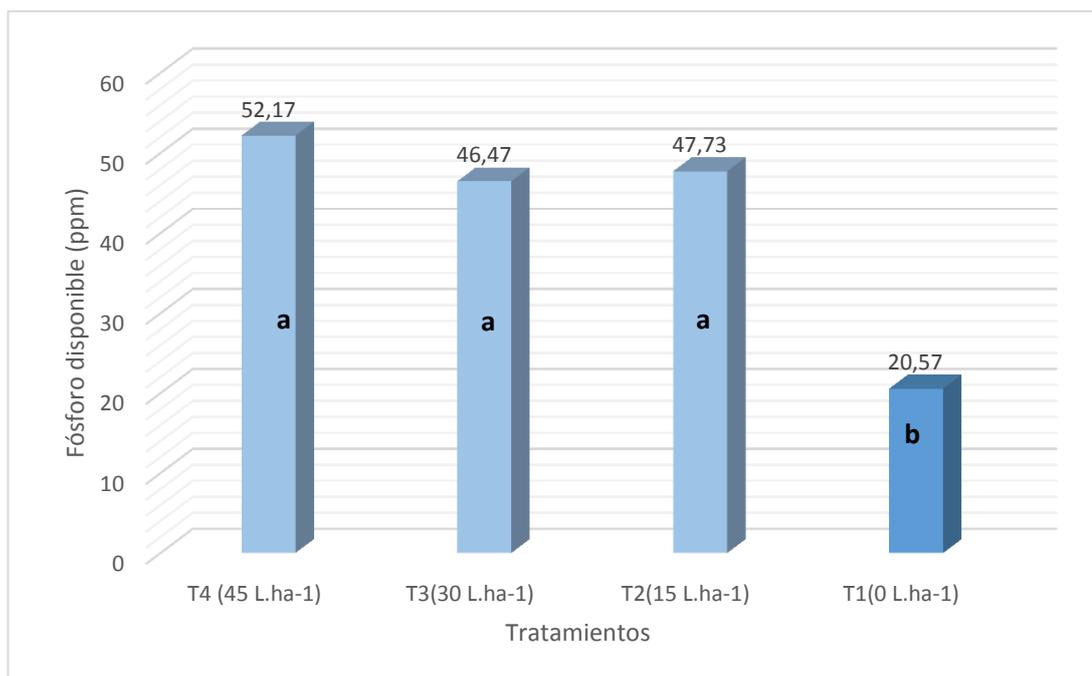


Figura 3.1. Fósforo disponible promedio en el suelo al final del experimento

De la prueba de contraste, podemos indicar que hubo influencia positiva de la aplicación de los microorganismos eficientes en la disponibilidad de fósforo, producto de la secreción de ácidos lácticos y otros, que favorecen la solubilidad de la roca fosfórica, haciendo disponible el fosfato tricálcico que contiene. Toalombo (2012), indica que al hacer uso de Microorganismos Eficaces en diferentes dosis y frecuencias empleadas para cultivo de cebolla blanca (*Allium fistulosum*) no produjo diferencia en sus variables; mientras que en el presente trabajo se encontró lo contrario.

También este resultado puede atribuirse a que se incorporó microorganismos foráneos, que compitieron con los autóctonos, y por ende los tratamientos demoraron un periodo para incrementar su población y así poder producir los ácidos orgánicos que faciliten la solubilización de la roca fosfórica, como lo menciona Valenzuela, et al (2002).

Alexander (1980), menciona que la colonización de algunos grupos microbianos sobre las fracciones orgánicas e inorgánicas, dependen de la función que se esté cumpliendo en la transformación (degradación de carbohidratos o de proteínas,

amonificación, nitrificación, oxidación, reducción, mineralización, solubilización). Por lo tanto, mientras algunos microorganismos actúan sobre un sustrato, otros se desarrollan en los productos de la transformación.

Bonomelli et al (2003), menciona que en algunos casos se ha reportado la solubilización de fósforo inorgánico en ausencia de la detección de ácidos orgánicos, principalmente como resultado de la acidificación del medio de cultivo.

El análisis de regresión (figura 3.2) para estimar la influencia de los tratamientos y el nivel de fósforo disponible, estas muestran un coeficiente de correlación de 0.75, lo que indica que el 75% de la disponibilidad de fósforo se debe a la aplicación de los microorganismos eficientes, lo cual corrobora la gran importancia que tienen estos microorganismos de solubilizar el fósforo haciéndolo disponible para las plantas.

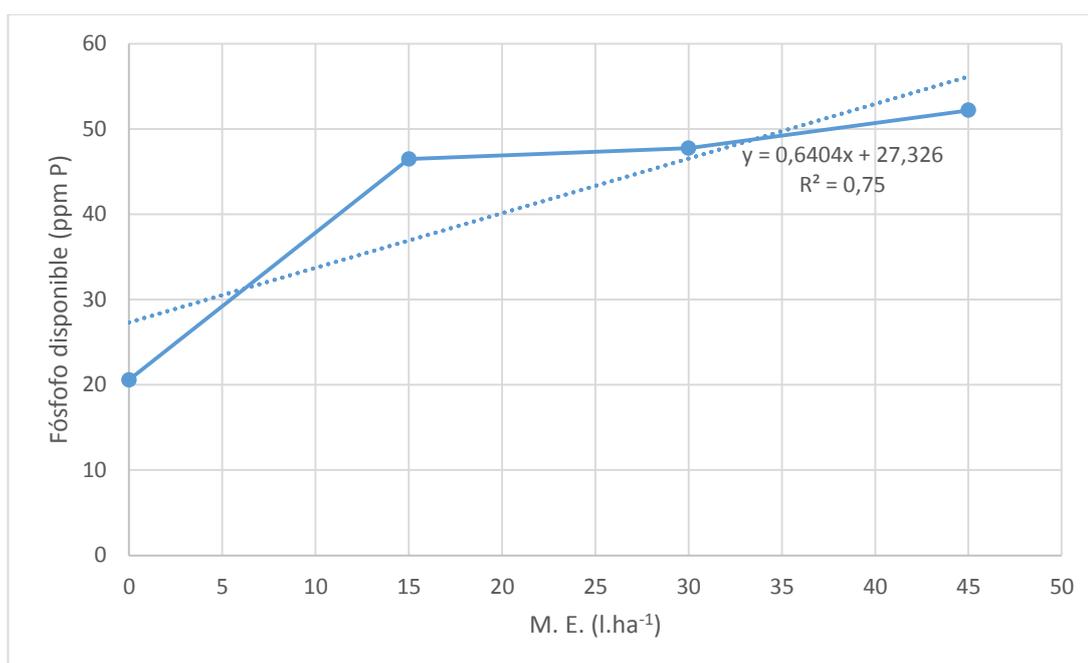


Figura 3.2. Tendencia de la aplicación de microorganismos eficientes en P-disponible del suelo

3.2. DEL CONTENIDO DE FÓSFORO EN EL TEJIDO FOLIAR

En la tabla 3.2, se muestra el análisis de variancia del contenido de fósforo en el tejido foliar, en el que se encontró diferencia estadística altamente significativa entre

los tratamientos estudiados con un coeficiente de variabilidad de 6.44%, lo cual está por debajo del valor establecido según Calzada (1982), para trabajos de campo.

Tabla 3.2. Análisis de varianza del contenido de fósforo en el tejido foliar para los diferentes tratamientos

F. variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>F	<0.05
Bloques	2	0.00200	0.00010	0.11	0.894	NS
Tratamientos	3	0.04232	0.01411	16.08	0.003	**
Error	6	0.00527	0.00088			
Total	11	0.04780				

C.V=6.44%

Posteriormente se procedió a realizar la prueba de contraste Tukey (Figura 3.3), en el que se encontró que no existe diferencia estadística entre los tratamientos T4 y T3, siendo éstos superior a los demás tratamientos; asimismo el Tratamiento T3 y T2 no se diferencian estadísticamente, pero son superiores al Testigo T1. Como observamos la máxima dosis no indica la mayor disponibilidad de fósforo en el tejido foliar. Esto probablemente debido que a todos los tratamientos se incorporó al inicio del experimento roca fosfórica, esto probablemente mejoró la arquitectura de las raíces, ya que aumento la densidad de pelos radicales, necesarias para la absorción de nutrientes, esta es la razón probable por la cual las plantas tratadas presentan mayor cantidad de P en el tejido foliar así como lo menciona Patiño (2010) en su trabajo de investigación.

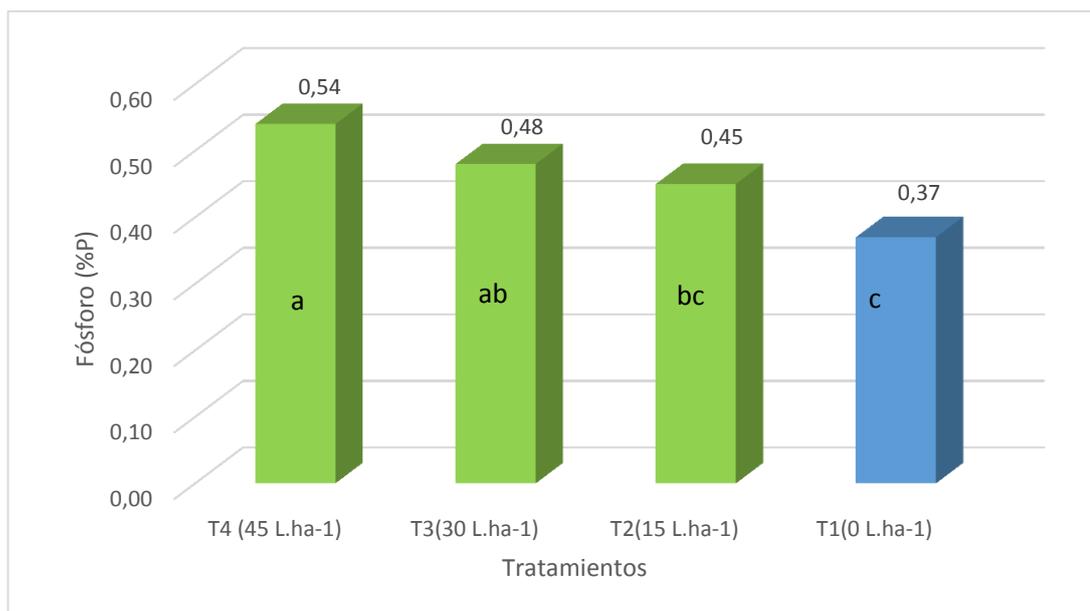


Figura 3.3. Contenido de fósforo en el tejido foliar al final del experimento

El análisis de regresión (figura 3.4) para estimar la influencia de los tratamientos y el nivel de fósforo en las hojas, nos muestran un coeficiente de correlación del 0.972, lo que indica que el 97.2% de la absorción de fósforo por las plantas de cacao se debe a la acción solubilizadora de los microorganismos aplicados al suelo. Tal como indica Hurtado (2001), que los microorganismos eficientes actúan de manera que toman sustancias generadas por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo y que las sustancias secretadas por las raíces de las plantas son utilizadas por los microorganismos eficientes para crecer, sintetizando aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas, que facilitan el crecimiento de las plantas, por lo tanto facilitando la mayor absorción de nutrientes.

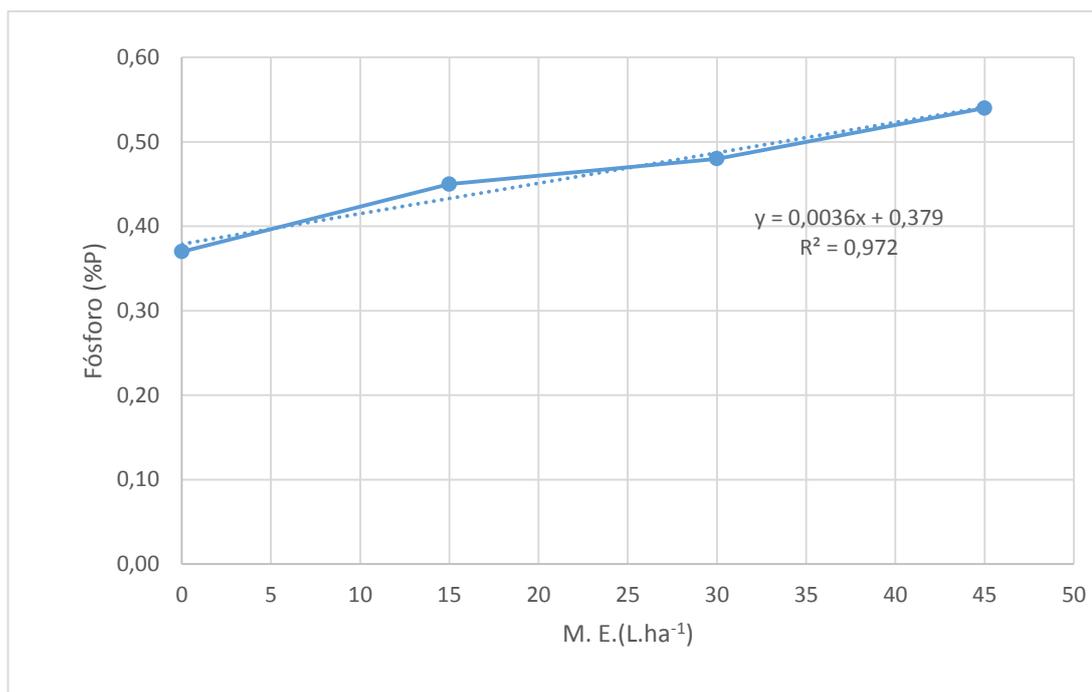


Figura 3.4. Tendencia de la aplicación de microorganismos eficientes en el contenido de P en las hojas

3.3. DEL pH DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES.

Tabla 3.3. Análisis de varianza del pH del suelo al finalizar el experimento

F. variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>F	<0.05
Bloques	2	0.00806	0.00403	3.46	0.100	NS
Tratamientos	3	0.19962	0.06654	57.04	0.000	**
Error	6	0.00700	0.00116			
Total	11	0.21469				

C.V=0.60%

En la tabla 3.3, se observa el análisis de variancia del pH en el suelo, en el que se encontró diferencia estadística altamente significativa entre los tratamientos estudiados con un coeficiente de variabilidad de 0.60%, lo cual está por debajo del valor establecido según Calzada (1982), para trabajos de campo.

Para determinar la importancia de cada uno de estos tratamientos se realizó la prueba de Tukey (Figura 3.5). Esta prueba nos señala que el tratamiento T2 presenta diferencia significativa con respecto a los demás tratamientos (T3, T1 y T4).

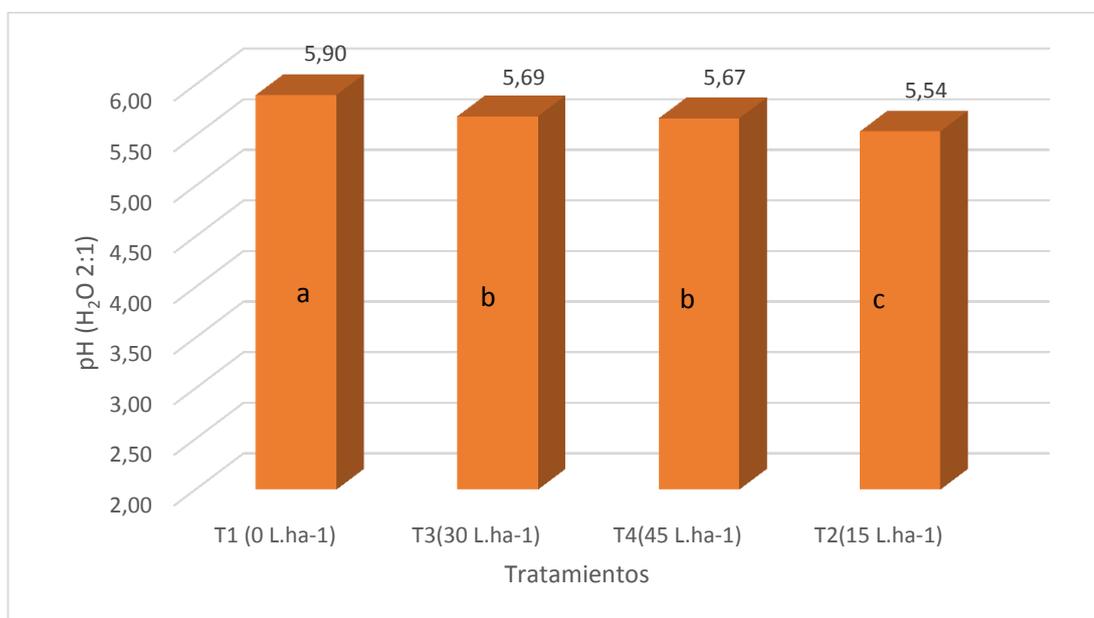


Figura 3.5. pH promedio al final del experimento

Este cambio probablemente pueda deberse a la presencia de la enzima fosfatasa ácida que desempeña su papel primordial en las variaciones en pH de ácidos a neutros en los tratamientos, como lo señala Seeling y Zasoski (1993). De igual manera, este proceso de variación de pH puede deberse sin necesidad de actividad biológica, ya que existen factores como la humedad o cambios fisiológicos y otros.

El análisis de regresión (figura 3.6) muestra la influencia de la aplicación de microorganismos eficientes en el valor de pH del suelo, en el que se encontró un coeficiente de correlación de 0.2189, lo cual indica que sólo el 21.89% de la variación del pH del suelo se debe a la aplicación de los microorganismos del suelo, el resto es debido a otros factores, principalmente medio ambientales y edafogenéticos.

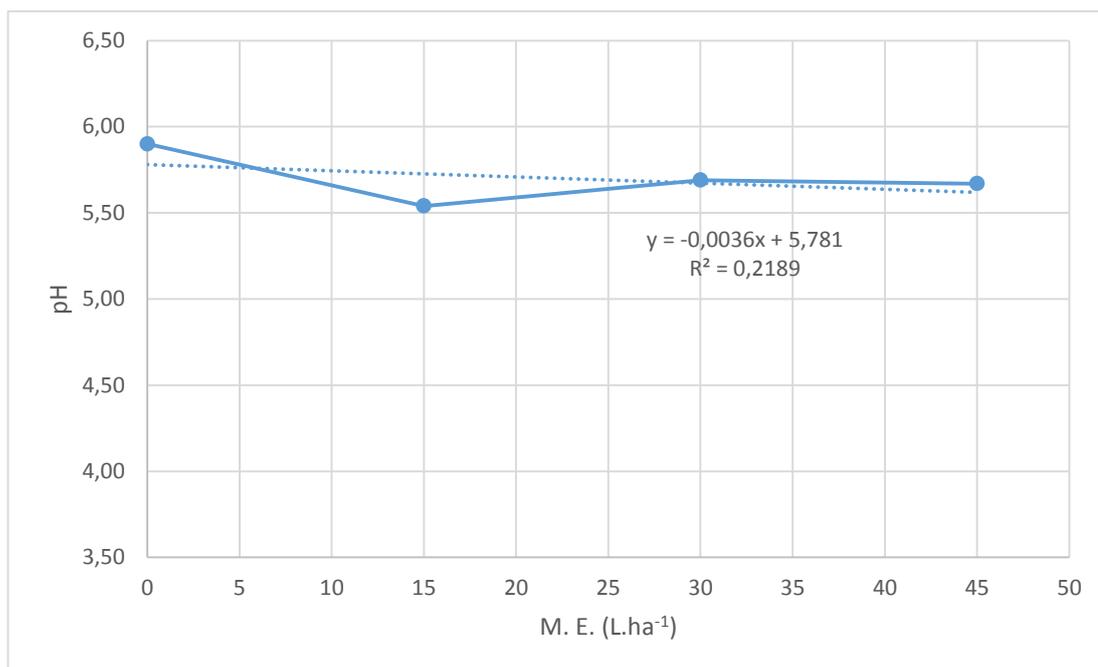


Figura 3.6. Tendencia de la aplicación de microorganismos eficientes en la variación de pH del Suelo

3.4. DEL RENDIMIENTO DE CACAO

En la tabla 3.4, se muestra el análisis de variancia del rendimiento de cacao, en el que se encontró diferencia estadística significativa entre los tratamientos estudiados con un coeficiente de variabilidad de 10.9%, lo cual está por debajo del valor establecido por Calzada (1982), para trabajos de campo.

Tabla 3.4. Análisis de varianza del rendimiento de cacao para los diferentes tratamientos

F. variación	G.L	SC	CM	Fc	Pr>F	<0.05
Bloques	2	82463	41232	3.63	0.093	NS
Tratamientos	3	183550	61183	5.39	0.039	*
Error	6	68087	11348			
Total	11	334100				

C.V=10.9%

Para determinar la importancia de cada uno de estos tratamientos se realizó la prueba de Tukey (Figura 3.7). Esta prueba nos señala que no existe diferencia estadística

entre los tratamientos T4, T3 y T2, siendo éstos superiores al testigo. Sin embargo numéricamente el T4 es superior a los demás tratamientos.

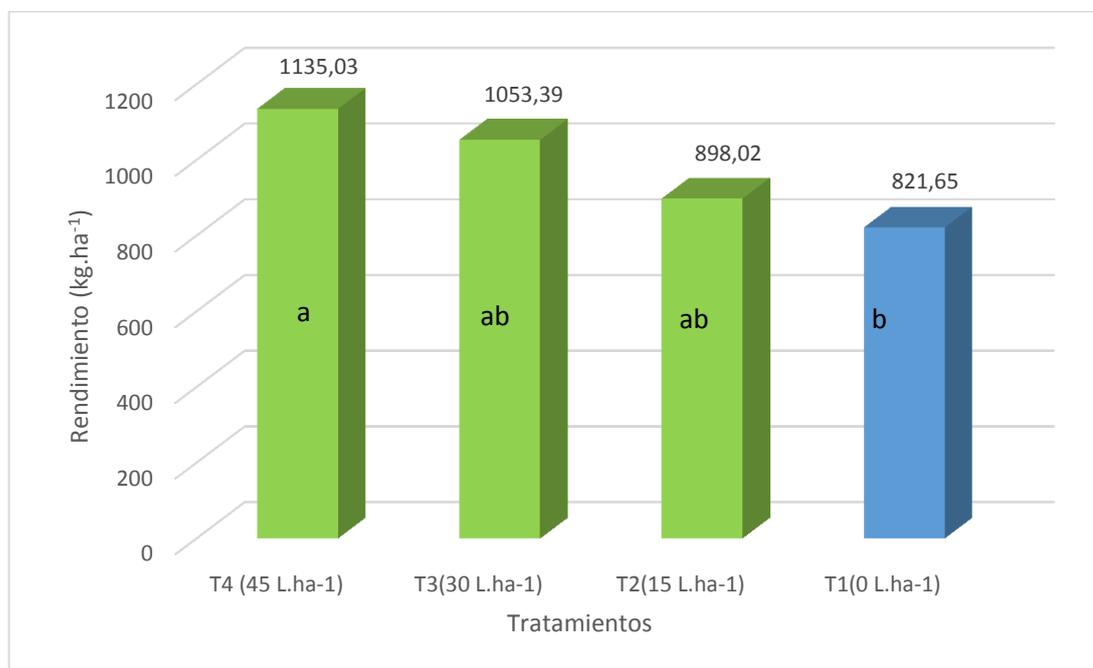


Figura 3.7. Rendimiento promedio al final del experimento

Estos rendimientos sugieren que los tratamientos con alta dosis de microorganismos eficientes, tuvieron efecto positivo y esto se traduciría en mayores rendimientos de cacao. Esta es una de las mejores evidencias que permiten afirmar que las dosis de microorganismos tuvieron un efecto solubilizante en la roca fosfórica en el suelo. FUNDASES (2007), mencionan que los microorganismos tienen efectos en las condiciones químicas del suelo: mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo, solubilizándolos, separando las moléculas que los mantienen fijos, dejando los elementos disgregados en formas que puedan ser absorbidas por el sistema radicular. Según Coyne (1996), indica que las bacterias que solubilizan activamente el fósforo representan un 10% de la población microbiana del suelo. Se trata fundamentalmente de microorganismos de la rizósfera, Como bacillus, micrococus, mycobacterium, Pseudomonas y algunos hongos.

El análisis de regresión (figura 3.8) para estimar la influencia de los tratamientos en el rendimiento de cacao, esta muestra una tendencia lineal con un coeficiente de

correlación de 0.9808, lo que indica que el 98.08% del rendimiento de Cacao es debido a la acción directa y eficiente de los microorganismos.

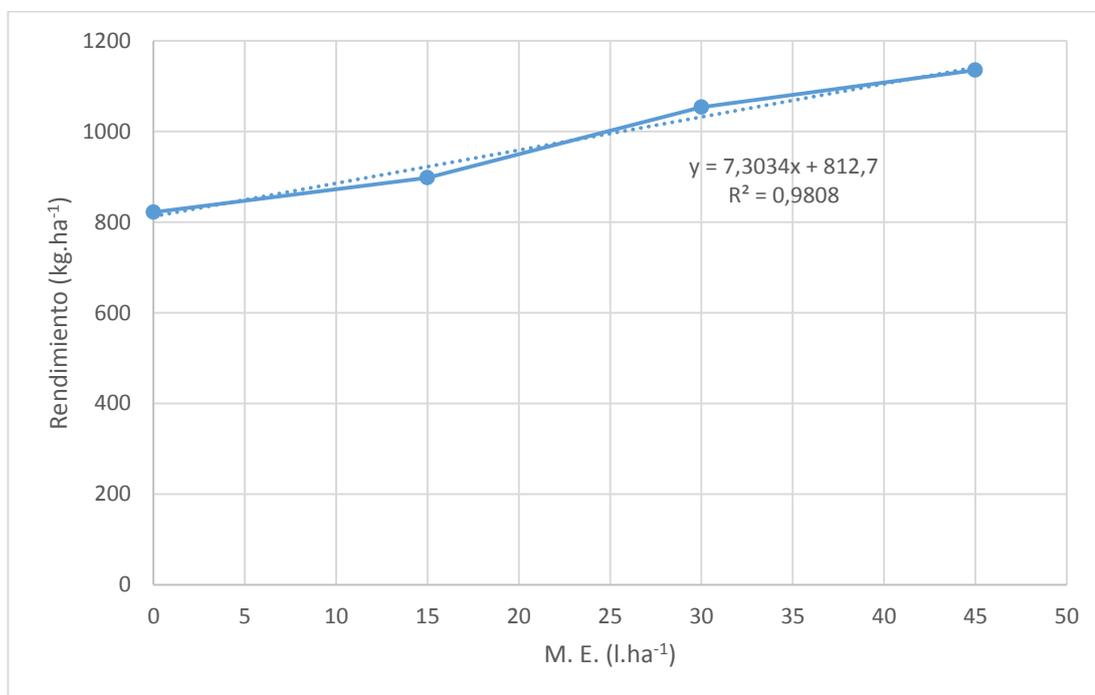


Figura 3.8. Tendencia de la aplicación de microorganismos eficientes en el rendimiento de cacao

3.5. DE LA CORRELACION ENTRE LOS PARAMETROS EVALUADOS

El análisis de correlación (Tabla 3.5) se observa que existe correlación significativa en la concentración de fósforo en las hojas debido a la aplicación de los microorganismos; asimismo el incremento de materia orgánica en el suelo, favorece en la disponibilidad de fósforo del suelo como en la absorción por el cultivo. El rendimiento de almendras de cacao está directamente relacionado con la concentración de fósforo en las hojas.

Tabla 3.5. Coeficiente de correlación entre los parámetros evaluados

	Tto	pH	P-Disp.	P-foliar	M.O.	Rdto.
pH	-0,468 0,532	1				
P-disp.	0,843 0,157	-0,867 0,133	1			
P-foliar	0,986 0,014*	-0,601 0,399	0,913 0,087	1		
M.O.	0,911 0,089	-0,79 0,21	0,99 0,01**	0,961 0,039*	1	
Rdto.	0,99 0,01**	-0,375 0,625	0,787 0,213	0,955 0,045	0,864 0,136	1

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, podemos arribar a las siguientes conclusiones:

1. Los microorganismos eficientes tuvieron efecto solubilizante en la roca fosfórica, que se traduce en la mayor disponibilidad de fósforo del suelo, lográndose numéricamente mayor contenido con el tratamiento T4 (52.17ppmP), seguido de T2 y T3, quienes superaron estadísticamente al Testigo (T1).
2. Numéricamente se logró mayor absorción de fósforo por la planta de Cacao, con la aplicación de 45 L.ha⁻¹ de microorganismos eficientes. Asimismo existe una alta correlación entre el nivel de materia orgánica del suelo con el fósforo disponible del suelo y la absorción por el cultivo, lo que se traduce en el incremento del rendimiento.
3. La aplicación de microorganismos eficientes tuvieron efecto positivo en la disminución del pH del suelo, lográndose mayor disminución con el tratamiento T2 (15 L.ha⁻¹). Así mismo se tiene una alta correlación entre la disminución del pH y la disponibilidad de fósforo en el suelo. Es decir a menor pH la concentración de P disponible tiene efecto ascendente.
4. El rendimiento del Cacao estuvo influenciado por aplicación de microorganismos eficientes. Lográndose numéricamente mayor rendimiento de almendras con el tratamiento T4 (45 L.ha⁻¹) con 1135.03 kg.ha⁻¹.

RECOMENDACIONES

- Realizar más investigaciones con microorganismos solubilizadores de fósforo, con captura de microorganismos que están adaptados a las condiciones edafoclimáticas de la misma zona.
- Aplicar microorganismos eficientes al suelo ($15 - 45 \text{ L.ha}^{-1}$), ya que estos influyen en el pH, que indirectamente favorece la disponibilidad de nutrientes para el cultivo, lo cual se ve en el incremento del rendimiento.
- Realizar estudios de identificación de microorganismos solubilizadores de fosforo en los suelos del VRAEM.
- Realizar estudios de investigación en dosis de roca fosfórica usada como abono de fondo en la agricultura orgánica, previo tratamiento de dosis de microorganismos de suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, M. (1980). Introduction to soil microbiology (p. 481).
- AMORES, F. (2008). Diferencia entre cacao nacional y CCN-51 desde el punto de vista Agronómico, Físico, Químico y organoléptico. En seminario Internacional de cacao. Avances de investigación. Floridablanca Santander.
- APNAN. (2003). Red de Agricultura natural de para la Región Asia/Pacifico Red de Agricultura natural de para la Región Asia/Pacifico. *Manual de Aplicación. (En Línea). Consultado: 28 de Septiembre de 2009. Disponible En: Wwww.apnam.com.*
- BECERRA, J. M., QUINTERO, D., & MATIZ, A. (2011). Caracterización de microorganismos solubilizadores de fosfato aislados de suelos destinados al cultivo de uchuva (*Physalis peruviana L .*) Characterization of phosphate solubilizing microorganisms isolated from soils planted with cape gooseberry (*Physali*, 5(2), 195–208.
- BEEVER, R. E. y D. J. W. B. (1980). Phosphorus, uptake, store and utilization by fungi. In *Adv. Bot* (p. Res. 8: 127-129).
- BERTSCH, F. (1995). Site-specific nutrient management in the Cartago Province. Better crop International (pp. 16–19).
- BIOSCA, A. (2001). Qué son microorganismos eficientes? Retrieved from consultado: 18 de septiembre de 2009. Disponible en:
<http://es.answers.yahoo.com/question/index? qid= 20080731132 826aa6mgbr>
- BONOMELLI, C., BONILLA, C., & VALENZUELA, A. (2003). Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile.. Retrieved from
<http://www.scielo.br/pdf/%0D/pab/v38n10/18299.pdf>
- BURBANO, H. (1989). El Suelo una visión sobre sus componentes bioorgánicos (p. 421 p). Pasto, Colombia.
- CALZADA BENZA, José. (1982). Metodos estadísticos para la investigación. (L. Milagros, Ed.) (Milagros). Lima.

- CHIEN, S. H. y MENON, R. G. (1995). Factors affecting the agronomic José de las Lajas, Cuba. Effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fert. Res*, 41:227-234.
- CLOEPPER, A. y SCHRAT, S. (1978). Plant Growth Promoting Rhizobacterium (pp. 56–65).
- CORREDOR, J. y B. A. (1988). Aislamiento de microorganismos nativos en la Región de Dibulla, Departamento de la Guajira, 67–72.
- COYNE, W. (1996). Fertility Soils. Evaluations of P labeled.
- CROSS, S. and SCHLESSINGER, B. (1998). Soil organic matter pools in volcanic-ash soil under follow and cultivation with applied chicken manure. *European Journal of Science*, 49, 427–436.
- DELVAUX, H. (1995). Determination of total, inorganic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci*.
- EARTH. (2008). Tecnología EM. EMRO (Effective Microorganismo Research Organization Inc.) Limon, 16.
- EDWARDS, A. C. (2010). Genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming. sustainable agricul- ture reviews.
- ENRIQUEZ A, G. (1987). Manual de Cacao para Agricultores. In *Primera Edicion* (p. 9).
- FAO. (2004). Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. *Fert. Plant Nutr. Bull.*, 13.
- FUNDASES. (2007). Fundación de Asesorías para el Sector Rural.
- GIL, C. (1995). Disponibilidad del elemento P en los suelos ácidos de climas tropicales, 16–28.
- GOMEZ, M. . (2000). Isolment desouches a partir de nodosites de legumineuses (p: 191) *Tesis Doctor de la Universite de Bourgogne*.
- GRAETZ, H. A. (2002). *Suelos y Fertilización*.
- GUERRERO, E. (2001). Micorriza. Fundamentos biológicos y estado del Arte. En: Guerrero E. (ed) Micorrizas, recurso biológico del suelo. *Fondo FEN Colombia*, 4–46.
- GUZMAN ESTRADA, Esteban Andres. (2011). Aislamiento y Caracterizacion de Bacterias Solubilizadoras de Fósforo apartir de Cuatro Suelos de La

- Provincia de Chimborazo. Escuela Superior Politecnica De Chimborazo.
- HARDY, F. (1961). Manual del Cacao. In Turrialba (p. 290).
- HARRISON, M. A. (1982). phosphate transporter from mycorrhizal fungus Nature (p. 378).
- HAYMAN, R. . (1973). Phosphorus pools, phosphate transport and phosphate availability, *Annu. Rev. Plant Physiol* (pp. 225–232).
- HURTADO, A. (2001). Qué son microorganismos eficientes?. (en línea). Retrieved from <http://es.answers.yahoo.com/question/index? qid= 20080731132826aa6mgbr>
- INSTITUTE, P. A. P. (1987). Manual de la Fertilidad del suelo.
- KASS, S, E. (1996). Sequential Phosphorus extraction of a P-labeled oxisol under contrasting agricultural systems. *Soil Science Society of America*, 66, 868–877.
- KHAN, M. S.; AHMAD, E.; ZAIDI, A.; y OVES, M. (2013). Functional aspect of phosphate-solubilizing bacteria: Importance in crop production. En: Maheshwari, D. K. et al. (eds.). *Bacteria in agrobiolgy: crop productivity*, Springer-V.
- KOHLER J., F. CARAVACA, L. CARRASCO, A. R. (2006). Efecto de la Inoculación de Rizobacterias Promotoras de Crecimiento (Pgpr) y Hongos Micorrícicos en Plantas de Lechuga sobre El Crecimiento y la Calidad del Suelo, 298–304.
- LEIVA, E. (2012). Captura de carbono en Agroecosistemas con Cacao *Theobroma cacao* l. *XIX Congreso Latinoamericano de La Ciencia Del Suelo*.
- LEÓN, L. . (1972). Manejo de la fertilización con fósforo para el establecimiento de varios cultivos en suelos ácidos. *CIAT. Cali, Colombia*, 103–118.
- MATHUR, B. S. (1980). Release of Nitrogen and Phosphorus from compost charged and rock phosphate. *Soil Science*, 206–212.
- MCKEAN, W. A. (1991). Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. In *Geoderma* (pp. 267–286).
- MILLER, Jr. y Tyler, G. (2006). *Ecología y Medio Ambiente*.
- MOTAMAYOR, J. (2001). Estudio de La Diversidad Genética y de La Domesticación de Cacaoteras del Grupo Criollo con la Ayuda de

Marcadores Moleculares.

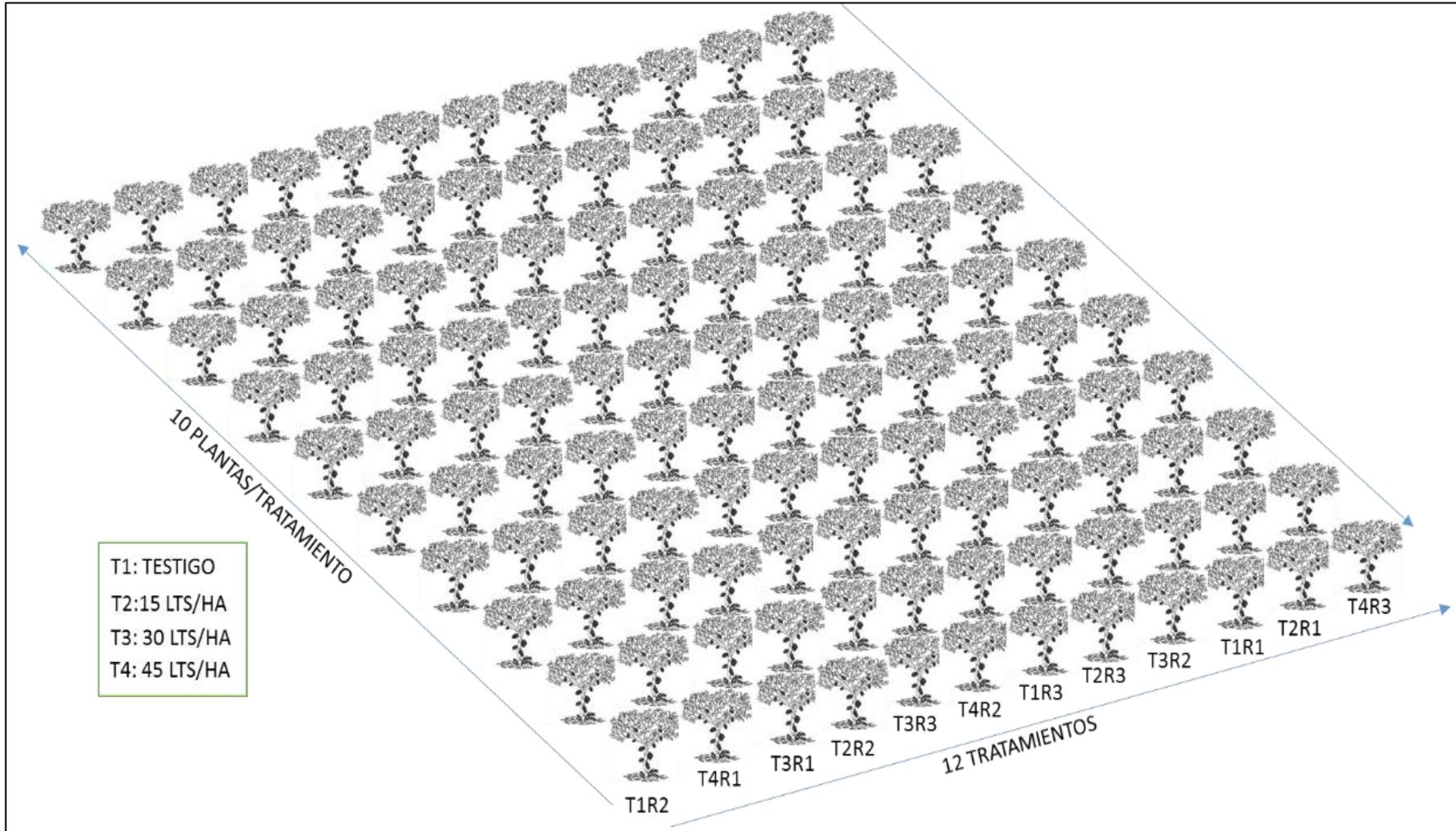
- MULDER, E. (1967). Biology and Soil Fertility en Soil Biology. *UNESCO*, 163–208.
- MUÑOZ, B. (2001). Accelerated compost and improvement yields, 42–44.
- OLSEN, S. R. y F. E. K. (1980). Use and limitations of physical-chemical Criteria for assessing the status of phosphorus in soil in the role of phosphorus in Agriculture. In E. F. E. M. WL (Ed.) (pp. 361–365).
- ORGANIZATION, I. C. (2003). Boletín Trimestral de La Estadística del Cacao.
- ORTUÑO, A. (1979). Metabolismo fosfórico de *Aspergillus niger* en suelos calcáreos y salinos. *Anal. Edaf. Agrob.*
- PATIÑO, C. (2013). Efecto de la aplicación de roca fosfórica y la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el crecimiento del ají (*Capsicum annum L.*). Universidad Nacional de Colombia.
- PATIÑO TORRES, C. Omar. (2010). Solubilización de Fosfatos por Poblaciones Bacterianas Aisladas de un Suelo del Valle del Cauca. Estudio de Biodiversidad y Eficiencia. Universidad Nacional de Colombia.
- PÉREZ MOLINA, S. Mercedes. (2009). Efecto de Microorganismos Aplicados por Fertilización en La Disponibilidad de Fósforo en Dos Sistemas de Cultivo de Banano en la Zona Bananera del Magdalena. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira.
- RAJAN, S. S. y MARWAHA, B. C. (1993). Use of partially acidulated phosphate rocks as phosphate fertilisers. *Fert. Res*, 35:47-59.
- RAO, S. (1992). Biofertilizers in Agriculture.
- RIZOBACTER. (2007). Bacterias solubilizadoras de fósforo.
- RODRÍGUEZ, M. (2009). Microorganismos eficientes (EM). (en línea).
- SALISBURY, F. y Ross, C. (1994). Fisiología Vegetal (Edit. Iber, p. 759 P).
- SANCHEZ, L. (1988). Efecto de niveles de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con N P K. *Suelos Ecuatoriales (Colombia)*, 28:31-36.
- SEELING, B., & ZASOSKI, R. J. (1993). Microbial effects in maintaining organic and inorganic solution phosphorus concentrations in a grassland topsoil., *148*, 277–284.

- SINGH, H. y REDDY, S. (2011). Effect of inoculation with phosphate solubilizing fungus on growth and nutri- ent uptake of wheat and maize plants fertilized with rock phosphate in alkaline soils, *Europ. J.*, 30–34.
- SMECK, N. (1985). Phosphorus dynamics in soil and Landscapes. (pp. 185–189).
- SORIA V, J. (1966). Principales variedades de cacao cultivadas en América tropical, 261–266.
- SOTO, J. A. (1988). Formas de fósforo y su liberación en Andisoles de la región Central Oriental de Costa Rica. *Tesis Doctoral Ph.D.* Universidad Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes.
- THOMPSON, L. (1982). Los suelos y su fertilidad. (R. S.A., Ed.) (Cuarta edi).
- TOALOMBO IZA, R. Maribel. (2012). Evaluación de Microorganismos Eficientes Autoctonos Aplicados en El Cultivo de Cebolla Blanca (*Allium Fistulosum*). Universidad Técnica de Ambato.
- VALENZUELA, E., BARRERA, S., & PINOCHET, D. (2002). Solubilización de roca fosfórica Carolina del Norte con cepas de *Aspergillus niger* aisladas desde un suelo trumao. *Boletín Micológico*. Retrieved from <http://200.14.68.74/index.php/Bolmicol/article/view/441>
- VARGAS RAMIREZ, S. J. (2012). Microorganismos Solubilizadores de Fosfato en Suelos. Universidad Industrial de Santander Facultad de Ciencias. Universidad Industrial de Santander.
- www.minagri.gob.pe/portal//download/pdf/herramientas/organizaciones/dgpa/documentos/estudio_cacao/4_5_1ayacucho_informe_final.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Descripción de las dosis de aplicación de los tratamientos de la parcela de investigación

TRATAMIENTOS	SOLUCIÓN DE MICROORGANISMOS (mL)	Melaza(ml)	Agua(ml)	Total(ml)	Observacion
T1(TESTIGO)	0	0	0	0	
T2(15LTRS/HA)	50	50	900	1000	Proporcion
	15000	15000	270000	300000	Ha(1111 plantas)
	13.5	13.5	243.0	270.0	x planta
	135.0	135.0	2430.2	2700.3	x Bloque
	405.0	405.0	7290.7	8100.8	x 3 bloques
T3(30LTRS/HA)	50	50	900	1000	Proporcion
	30000	30000	540000	600000	Ha(1111 plantas)
	27.0	27.0	486.0	540.1	x planta
	270.0	270.0	4860.5	5400.5	x Bloque
	810.1	810.1	14581.5	16201.6	x 3 bloques
T4(45LTRS/HA)	50	50	900	1000	Proporcion
	45000	45000	810000	900000	Ha(1111 plantas)
	40.5	40.5	729.1	810.1	x planta
	405.0	405.0	7290.7	8100.8	x Bloque
	1215.1	1215.1	21872.2	24302.4	x 3 bloques
DESCRIPCIÓN		TOTAL(mL/parcela)	TOTAL(L/parcela)	Costo(S/.)	NCB
SOLUCIÓN DE MICROORGANISMOS		2430.2	2.43	24.30	
MELAZA		2430.2	2.43	24.30	
AGUA		43744.4	43.74	437.44	
TOTAL		48604.9	48.60	486.05	

Anexo 2. Distribución de tratamientos en la parcela

Anexo 3. Análisis de caracterización de suelos de la parcela con cacao



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA
 LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR
 Jr. Abraham Valdelomar Nº 249 – Telf. 315936 RPM # 151505
 Ayacucho – Perú

“Año de la Promoción de la Industria Responsable y Compromiso Climático”

Región : Cusco
 Provincia : La Convención
 Distrito : Kimbiri
 Localidad :
 Proyecto : Cultivo de Cacao
 Solicitante : Sr. Noel Chávez Barrientos Propietario: Sr. Jesús Palomino Pozo

ANALISIS DE CARACTERIZACION

Muestra	Análisis mecánico (%)			Clase Textural	pH (H ₂ O)	C. E. (dS/m.)	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)		Cationes cambiabiles (C _{mb} (+)K _g)					C. I. C. (C _{mb} (+)K _g)
	Arena	Limo	Arcilla							P	K	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺ + H ⁺	
01	51.6	27.3	21.1	Fr-Ar-Ao	6.28	0.092	0.0	2.02	0.10	1.7	82.6	3.8	2.1	0.42	-.-	0.0	6.6



Ayacucho, 25 de Agosto del 2014.

Fórmula de Abonamiento (Kg/ha):		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O
175	495	110
Urea (Sacos)		7.6
Roca Fosfórica (Sacos)		49.5
Sulfato de Potasio (Sacos)		4.4
Abono orgánico 1000 Kg.		
La Roca Fosfórica Incubar con EM por 15 días		

Ao: Arenoso; AoFr: Arena franca; FrAo: Franco arenosos; Fr: Franco; FrL: Franco limoso; L: Limoso; FrArAo: Franco arcillo arenoso; FrAr: Franco arcilloso; FrAr: Franco arcillosos; FrArL: Franco arcillo limoso; ArAo: Arcillo arenoso; ArL: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso

Anexo 4. Procedimiento de muestreo de suelo en la parcela de investigación

Anexo 5. Distribución de tratamientos en la parcela de investigación



Anexo 6. Rotulado de los tratamientos en la parcela de investigación

Anexo 7. Aplicación de roca fosfórica como abono de base a todos los tratamientos de la parcela de investigación



Anexo 8. Aplicación de microorganismos eficientes después de aplicado la roca fosfórica en los tratamientos de la parcela de investigación



Anexo 9. Resultados de los parámetros evaluados

pH

TRATAMIENTO	REPETICIONES		
	I	II	III
T4	5,64	5,70	5,67
T3	5,68	5,71	5,69
T2	5,54	5,55	5,53
T1(testigo)	5,87	5,99	5,84

ppm P

TRATAMIENTO	REPETICIONES		
	I	II	III
T4	55,20	49,10	52,20
T3	45,50	50,00	43,90
T2	45,20	51,20	46,80
T1(testigo)	18,40	21,00	22,30

Rendimiento

TRATAMIENTO	REPETICIONES		
	I	II	III
T4	916,45	1066,56	1177,17
T3	1019,16	1011,26	1374,68
T2	963,85	805,85	924,35
T1(testigo)	853,25	718,94	892,75

Análisis Foliar de Fósforo (% P)

TRATAMIENTO	REPETICIONES		
	I	II	III
T4	0,54	0,56	0,51
T3	0,48	0,49	0,48
T2	0,45	0,40	0,49
T1(testigo)	0,37	0,37	0,38

Materia Orgánica (%)

TRATAMIENTO	REPETICIONES		
	I	II	III
T4	2,36	2,61	2,61
T3	2,24	2,49	2,36
T2	2,24	2,24	2,49
T1(testigo)	1,37	1,99	1,99