

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA



**EFFECTO DEL COMPOST Y NPK EN LA POBLACIÓN DE GRUPOS
MICROBIANOS Y EN LA PRODUCCIÓN DE CACAO *Theobroma cacao L.*, EN
PADRE ABAD- UCAYALI**

Autor : HILDAURO JUAN PAUCAR GARCIA

Asesor : Ing. M. Sc. Nelino Florida Rofner

Programa de Investigación : Manejo y Conservación de Suelos

Línea (s) de Investigación : Evaluación de parámetros físicos
químicos y biológicos

Eje Temático de Investigación : Microbiología de suelos

Lugar de Ejecución : Padre Abad -Ucayali

Duración : Cinco meses

Fecha de inicio : Agosto del 2018

Fecha de término : Diciembre del 2018

Financiamiento : Monto S/. 5, 899. 00

FEDU :

Propio :SI

Otros :



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 20 de Marzo de 2019, a horas 11:00 a.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias en Conservación de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, para calificar la Tesis titulada:

EFFECTO DEL COMPOST Y NPK EN LA POBLACIÓN DE GRUPOS MICROBIANOS Y EN LA PRODUCCIÓN DE CACAO (*Theobroma Cacao* L.), EN PADRE ABAD – UCAYALI, 2018

Presentado por el Bachiller: **HILDAURO JUAN PAUCAR GARCIA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, mención **CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título correspondiente.

Tingo María, 04 de Setiembre de 2019

Ing. MSc. **JOSÉ LÉVANO CRISÓSTOMO**
PRESIDENTE

Ing. **JAIME TORRES GARCÍA**
MIEMBRO

Ing. MSc. **SANDRO J. RUIZ-CASTRE**
MIEMBRO

Ing. MSc. **NELINO FLORIDA ROFNER**
ASESOR



ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Importancia biológica del suelo.....	3
2.1.1. Hongos en el suelo	6
2.1.2. Bacterias aerobias mesófilos viables	9
2.1.3. Bacterias ácido lácticas (<i>Lactobacillus</i> spp.)	10
2.1.4. Actinomicetos	11
2.1.5. Fijadores de nitrógeno	14
2.2. Generalidades del cacao	14
2.2.1. Taxonomía	15
2.2.2. Género <i>Theobroma</i>	15
2.2.3. Cultivo de cacao	15
2.2.4. variedades	16
2.2.5. Clon CCN-51	18
2.2.6. Rendimiento	19
2.3. Fertilización	20
2.3.1. Fertilización orgánica	22
2.3.2. Fertilización convencional	23
2.3.3. Efectos de la fertilización orgánica y convencional	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Lugar de ejecución	27
3.2. Localización y condiciones agrologicas del experimento	27
3.3. Sobre el área experimental	28
3.4. Insumos	28
3.5. Instrumentos de medición y otros	28

3.6.	Metodología	28
3.6.1	Enfoque metodológico.....	28
3.6.2.	Tipo de investigación	29
3.6.3.	Tipo de diseño y técnica estadística	29
3.6.4.	Sobre el área experimental	29
3.6.5.	Población y muestra	30
3.6.6.	Aplicación de los abonos	31
3.6.7.	Muestreo de suelos y determinaciones microbiológicas	32
3.6.8.	Evaluación del rendimiento	34
IV.	RESULTADOS	35
4.1.	Población microbiana según tratamiento	35
4.2.	Análisis estadístico de los grupos microbianos en los diferentes tratamientos.....	37
4.3.	Rendimiento del cacao	39
V.	DISCUSIÓN	41
5.1.	Población de microorganismos	41
5.2.	Rendimiento del cacao	46
VI.	CONCLUSIÓN	48
VII.	RECOMENDACIÓN	49
VIII.	ABSTRAC	50
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
X.	ANEXOS	57

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
01. Requerimientos de fertilización en kg. ha ⁻¹ en base al análisis del suelo (con una disponibilidad media de nutrientes); para una plantación de 1,400 plantas de cacao por ha.....	21
02. Referencias para cálculo de dosis de aplicación (1 111 plantas/ha).....	32
03. Detalle del compost y NPK a aplicar (1 111 plantas/ha/año)	32
04. Población de los grupos de microorganismos del suelo según tratamiento y repetición	35
05. Medias y desviación estándar según tratamiento	36
06. Pruebas de normalidad de variables evaluadas	37
07. Comparaciones múltiples para la variable aerobios viables	37
08. Comparaciones múltiples para la variable Lactobacillus	38
09. Comparaciones múltiples para la variable actinomicetos	38
10. Comparaciones múltiples para la variable fungi	38
11. Comparaciones múltiples para la variable fungi	39
12. Rendimiento en los diferentes tratamientos	39
13. Análisis de varianza para la variable rendimiento	40
14. Comparaciones múltiples para la variable rendimiento	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
01. Diseño del campo experimental	30
02. Detalle de la unidad experimental	30
03. Comportamiento de la población de los diferentes grupos microbianos según tratamiento	36
04. Parcela experimental	57
05. Panel y distribución del área experimental	57
06. Identificación de los tratamientos y repeticiones	58
07. Cosecha de los tratamientos y repeticiones	58
08. Evaluación del rendimiento por cada tratamiento	59
09. Preparación de muestras de suelo para análisis microbiológico	59

RESUMEN

El cultivo de cacao (*Theobroma Cacao* L.) es de gran importancia económica para Perú, sin embargo, la aparición de enfermedades está afectando el rendimiento y las investigaciones muestran que la capacidad del cultivo a tolerar enfermedades está ligada a las propiedades biológicas. Por ello, el objetivo fue evaluar el efecto del compost y NPK en la población de grupos microbianos y en la producción de cacao en Padre Abad- Ucayali". Se utilizó un diseño de bloque completo al azar (DBCA) constituidos por cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, donde: T1 testigo, T2 compost (3 000 kg/ha), T3 NPK (84-35-161) y T4: compost (1 500 kg/ha) más NPK (42-18-80). Se evaluó a través de la técnica de recuento en placa con diluciones seriadas (10^{-3}) la población de: aerobios viables (plate count + manitol 1%), actinomicetos (agar actinomyces + glicerina), lactobacillus (agar roboso), fungi (agar sabouraud glucosado 4% + ceftriaxona) y la población de fijadores de nitrógeno (agar osha) y el rendimiento de grano seco por colecta manual. No se encontró diferencias entre los tratamientos y la población media de bacterias aerobias viables, es equivalente a 10^4 UFC/g de suelo, los lactobacillus de 10^{-3} , los actinomicetos en un rango de 10^4 a 10^5 , los fungi en 10^3 y la población de fijadores de nitrógeno en 10^3 UFC/g suelo. El rendimiento no presentó diferencias, alcanzó medias de 860.405 (T1), 1 056.955 (T4), 1 080 (T3) y 1 125 kg/ha para T2. Se concluye que el T2 presentó los mayores efectos sobre la población microbiana y el rendimiento, además, los suelos presentan baja población de microorganismos y los rendimientos son altos comparándolo con el rendimiento mundial y para Perú.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L) es uno de los cultivos de gran importancia económica para Perú, que, entre el 2009 y 2015, presentó un incremento medio anual de 15.5 %, de manera que, de 36.8 mil toneladas producidas en el 2009, se eleva a 87.3 mil toneladas en 2015 (incremento de 137.2 %), alcanzando una extensión de 121.3 mil hectáreas con un rendimiento medio 720 kg/ha (MINAGRI, 2016).

Si bien, el rendimiento promedio a nivel mundial del cacao en grano es en 485 Kg/ha, Perú, se encuentra con un nivel de rendimiento medio (650 a 700 Kg/ha), por encima del promedio mundial (MINAGRI, 2016). Sin embargo, la aparición de plagas y enfermedades está causando problemas en el rendimiento de este cultivo. Al respecto, ARÉVALO (2014) y HE *et al.*, (2003). destaca la importancia de la actividad microbiológica en sistemas con cacao, porque están relacionadas con los procesos bioquímicos; por ello, son los componentes más importantes que definen de la calidad del suelo y la sostenibilidad del sistema de producción.

Además, las investigaciones muestran que las propiedades físicas, químicas y particularmente biológicas del suelo, está ligada a la capacidad del cultivo de soportar el ataque de plagas y enfermedades. Suelos con adecuado contenido de materia orgánica y actividad biológica, generalmente exhiben buena fertilidad, así como cadenas tróficas complejas y organismos benéficos

abundantes que previenen infecciones (ALTIERI y NICHOLS, 2008). Por lo tanto, la información de esta investigación servirá a productores e instituciones para aplicar tecnologías adecuadas que permita obtener rendimientos aceptables y un mejor control de las enfermedades.

En este contexto, la investigación planteó la interrogante, ¿Cuál es el efecto de la aplicación del compost y NPK en la población de los principales grupos microbianos y en la producción de cacao?; teniendo como hipótesis general, “si aplicamos compost y NPK en plantaciones de cacao CCN-51, entonces se tiene efectos significativos en la población de los diferentes grupos microbianos del suelo y en la producción de cacao”.

La investigación trabajó con los siguientes objetivos:

1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del compost y NPK en la población de grupos microbianos y en la producción de cacao, en Padre Abad- Ucayali”.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar la población de los principales grupos de microorganismos: aerobios viables, ácido lácticas, actinomicetos, fungi (mohos y levaduras) y fijadores de nitrógeno
- Determinar la producción del cacao, a través del rendimiento en Kg

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia biológica del suelo

Las plantas ejercen una fuerte influencia en la composición de las comunidades microbianas (bacterias, actinomicetos, fungi, nematodos, etc.) en el suelo a través de la descomposición de materia orgánica y raíces. La unión entre las especies de plantas y comunidades microbianas en la rizósfera del suelo es estricta, como resultado de su coevolución (BRIMECOMBE *et al.*, 2001).

La actividad microbiana se desarrolla en función de factores intrínsecos y extrínsecos al sistema suelo, por lo cual constituye un indicador de la dinámica del suelo y de la salud del recurso, pues una buena actividad microbiana puede ser el reflejo de óptimas condiciones físicas y químicas que permitan el desarrollo de los procesos metabólicos de bacterias, hongos, algas y actinomicetos y de su acción sobre los substratos orgánicos (MORA, 2006).

La dimensión biológica del suelo está regulada por factores edáficas fundamentales para la vida (temperatura, humedad, salinidad, oxígeno, coloides orgánicos, exudados y otros), que resultan de la interacción entre las condiciones propias del suelo con las características climáticas estacionales y la vida vegetal y animal presente en el ecosistema (Primavesi, 1984; citado por ARÉVALO, 2014).

Por su parte, los microorganismos del suelo contribuyen a la sustentabilidad de todos los ecosistemas por ser los principales agentes del ciclo de los nutrientes al regular la dinámica de la materia orgánica del suelo, el secuestro de carbono, la emisión de gases de efecto invernadero, la estructuración del suelo y la retención de agua, del aumento en la eficiencia de adquisición de nutrientes por las plantas y del mantenimiento de la salud vegetal (CORREA, 2016).

Las investigaciones demuestran que la capacidad de un cultivo de resistir o tolerar el ataque de insectos plaga y enfermedades está ligada a las propiedades físicas, químicas y particularmente biológicas del suelo. Suelos con alto contenido de materia orgánica y una alta actividad biológica generalmente exhiben buena fertilidad, así como cadenas tróficas complejas y organismos benéficos abundantes que previenen la infección (Altieri y Nichols, 2008, citado por AREVALO, 2014).

Hay una gran variación en la diversidad de la comunidad de organismos en los suelos tropicales y subtropicales. Las temperaturas y precipitaciones en estas regiones favorecen el desarrollo de los micro y macroorganismos y aceleran el ciclo del C orgánico, del N, P y S. La reducción de nutrientes y C orgánico causada por la erosión del suelo, la deforestación, los cultivos intensivos, así como las condiciones de estrés, tales como: la acidez del suelo y la toxicidad del aluminio, reducen la biodiversidad en los suelos (HE *et al.*, 2003). Además, ORDOÑEZ (2005) estima que en el suelo existen miles de especies organizadas en poblaciones y comunidades cuyo tamaño oscila

entre los 100 y los 2,000 millones de individuos por gramo. Se ha estimado que dichas comunidades pueden contener aproximadamente 35,000 especies de bacterias y 1'500,000 especies de hongos, aunque sólo se han identificado entre un 8% y un 1% de estas respectivamente. Sin embargo, cerca del 99% de los microorganismos no son cultivables por métodos tradicionales (Nogales, 2005; citado por ORDOÑEZ, 2005)

La mayoría de las especies vegetales en los ecosistemas terrestres establecen relaciones más o menos estrechas con microorganismos rizosféricos que les permiten acceder a nutrientes esenciales para su crecimiento. Entre los numerosos microorganismos que habitan la rizosfera se incluyen las bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno, los hongos de las micorrizas y las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Sin embargo, su rol natural se ha visto marginalizado debido a modificaciones inducidas por labranzas y el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos, herbicidas y pesticidas (CORREA, 2016; DI CIOCCO *et al.*, 2014). los procesos microbianos son indicadores tempranos de la calidad del suelo y puedan anticipar su degradación antes que los parámetros físicos o químicos, así lo demuestra DI CIOCCO *et al.* (2014) resultados obtenidos en su trabajo, indican claramente que los parámetros biológicos resultaron ser más sensibles que los físico-químicos pudiendo detectar tempranamente los cambios producidos por el uso a que están sometidos los suelos

La resistencia a la penetración del suelo, la materia orgánica, el pH y el nivel de nutrientes pueden contribuir a explicar el estado de la actividad

biológica del suelo. Los microorganismos presentan un interesante potencial como indicadores de alta sensibilidad a los cambios edáficos producidos por las prácticas de manejo agrícola que afectan la estructura y dinámica de algunas poblaciones microbianas, su distribución en el perfil del suelo y los procesos asociados con la descomposición de la materia orgánica y el ciclado de nutrientes (Mikanová *et al.*, 2009; citado por DI CIOCCO *et al.*, 2014).

2.1.1. Hongos en el suelo

Los hongos, por su mayor tamaño, pueden observarse sin la ayuda del microscopio y por ello su estudio fue anterior al de las bacterias. En 1675, J. F. van Starbeck publicó el primer libro exclusivo sobre hongos («Theatrum Fungorium»). La asociación de los hongos con las raíces de las plantas y su naturaleza simbiótica fue propuesta por Pfeffer en 1877, mientras que en 1885 Franck propuso el término «mycorhiza» para definir tal asociación, la cual se origina de las palabras griegas mycos: hongo y rhiza: raíz. Además, más del 80% de las especies de plantas terrestres, correspondientes al 92% de las familias, establecen relaciones endosimbióticas con hongos. Este hecho determina que sea una simbiosis mucho más ampliamente difundida que la establecida entre los rizobios y las leguminosas (CORREA, 2016)

Los hongos son los principales agentes de descomposición de la materia orgánica en todos los ambientes ácidos; poseen una red de filamentos o hifas en el suelo y su micelio puede subdividirse en células individuales por medio de paredes transversales o septos, observándose fácilmente en el humus, compost, etc. Una de las principales actividades de los hongos es la

descomposición de la celulosa, hemicelulosa, pectinas, almidón, grasas y compuestos de lignina; participan en la formación del humus y contribuyen al reciclaje de nutrientes y a la estabilidad de agregados mediante la degradación de residuos vegetales y animales (ULACIO *et al.*, 1998).

Información sobre la estructura y composición de la población de hongos, tales como la identidad y frecuencia de los hongos fitopatógenos y sus antagonistas pueden dar una idea de la estabilidad de la comunidad del suelo o el nivel de interferencia de la biota del suelo en el bosque original y las zonas de alteración. La información sobre la interacción microbiana en el suelo y la rizósfera en los ecosistemas tropicales es todavía muy escasa, a pesar de su importancia para el equilibrio ecológico (ULACIO *et al.*, 1998). Entre los componentes microbianos generales de los ecosistemas podemos encontrar una comunidad muy diversa de los diferentes grupos de hongos, incluyendo los hongos llamados microscópicos.

Los hongos del suelo representan los principales grupos funcionales responsables de las enfermedades en plantaciones de cacao, la descomposición de materia orgánica y el reciclaje de nutrientes (AREVALO, 2014). La relevancia de las listas de especies obtenidas de sitios bajo diferentes tipos de vegetación y diferentes usos del suelo se debatió a fondo durante los años 1960 y 1970. Considerando el papel de descomposición de los hongos, es importante mencionar que estos microorganismos son responsables de la degradación de xenobióticos y contaminantes orgánicos incorporados en el suelo. Los hongos también son importantes en la cadena alimenticia en el suelo,

principalmente porque el suelo alberga una gran meso fauna. El mantenimiento de la diversidad del suelo, por tanto, beneficia directamente a la producción (ULACIO *et al.*, 1998).

La acidificación del suelo, en general, reduce el número y las actividades de los microorganismos y macrofauna, especialmente de las bacterias. Los hongos se vuelven dominantes en las comunidades microbianas en la mayoría de los suelos ácidos, y las bacterias sensibles a la acidez del suelo o al aluminio ceden el paso a especies bacterianas tolerantes a estas condiciones (HE *et al.*, 2003). Además, ARGÜELLO y MORENO (2014) en suelos ácidos con cacao encontraron poblaciones de microorganismos de 3×10^8 bacterias/g, 23×10^5 actinomicetos/g, y 6×10^4 hongos/g para suelos de pH 5.32 y 4×10^6 bacterias/g, 8×10^5 actinomicetos/g, y 8×10^4 hongos/g para suelos de pH 5.42. También, OTERO (2011) menciona que la abundancia, actividad y clase, depende del contenido de materia orgánica, textura del suelo, pH, temperatura, aireación, entre otros factores, las bacterias son las más abundantes con cerca de $10^8 - 10^9$ UFC/g de suelo, los actinomicetos se encuentran ubicados en el segundo lugar $10^7 - 10^8$ UFC/g de suelo, seguidos por los hongos y las algas con $10^5 - 10^6$ y $10^4 - 10^5$ UFC/g de suelo. En su trabajo, los recuentos obtenidos para hongos filamentosos se encuentran en concentración de 10^6 UFC/g de suelo. También, PAHUARA y ZÚÑIGA (2001) En la rizosfera de pastura asociada Rye-grass/trébol en zona altoandina del Perú, encontró la población de hongos de 10^4 a 10^6 ufc/g.

Dentro de los fungi las levaduras son un grupo importante, para LUNA y MESA (2016) las levaduras son hongos unicelulares que representan un puente biológico entre las bacterias y los organismos superiores, pues, a partir de aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fototrópicas, materia orgánica y raíces de plantas, sintetizan sustancias antimicrobiales, hormonas y enzimas que promueven la división activa celular y radical, requeridas por las plantas para su crecimiento,

2.1.2. Bacterias aerobias mesófilos viables

Según, HUANSI (2011) las bacterias son los más numerosos microorganismos que viven libremente en el suelo, su serie de capacidades autotróficas y heterotróficas no es igualada por otros grupos principales de seres vivientes del suelo. Estas bacterias sintetizan sustancias útiles de secreciones de raíces, materia orgánica y/o gases dañinos (ej: ácido sulfhídrico) con el uso de luz solar y calor del suelo como fuentes de energía. Estas sustancias útiles incluyen aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, los cuales promueven el crecimiento y desarrollo de la planta (OTERO 2011).

El número de bacterias presentes en un gramo de suelo abarca desde un millón hasta varios miles de millones, esto debido a las grandes diferencias que existen entre los suelos (COYNE, 2000). Al respecto, OTERO (2011) en el caso de las bacterias totales del suelo todas las muestras presentaron concentración de 10^7 UFC/g de suelo. También, HUANSI (2011) en bosque sin prácticas agronómicas encontró una media de 6 075 000 UFC/g y en evaluación a los 3 días de la quema 982 000 UFC/g y PAHUARA y ZÚÑIGA

(2001) En la rizosfera de pastura asociada Rye-grass/trébol en zona altoandina del Perú, encontró que las poblaciones de bacterias mesófilas oscilaron de 10^5 a 10^7 UFC/g.

2.1.3. Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus spp.*)

La bacteria ácido lácticas producen ácido láctico de azúcares y otros carbohidratos, producidos por las bacterias fototrópicas y levaduras. Sin embargo, el ácido láctico es un compuesto esterilizante fuerte que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y la celulosa fermentándolos, removiendo efectos no deseables de la materia orgánica no descompuesta (OTERO, 2011).

Los estudios de aislamientos de bacterias ácido lácticas a partir de suelos no son muy numerosos, debido a que requieren de medios ricos en nutrientes, sin embargo, algunos autores reportan la presencia en suelos (Estrada, *et al.*, 2005; Yanagida, *et al.*, 2005; Yanagida, *et al.*, 2006; citados por OTERO, 2011). Su importancia en el suelo radica en la capacidad antagónica del ácido láctico, es un compuesto esterilizante fuerte, que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y la celulosa ya que son capaces de producir sustancias antimicrobianas como bacteriocinas, antibióticos u otros metabolitos, lo que sugiere que pueden ser utilizadas para el control biológico de enfermedades causadas por otros microorganismos en las plantas (LUNA y MESA, 2016)

Además, para LUNA y MESA (2016) las bacterias ácido lácticas, tienen la habilidad de suprimir enfermedades. El uso de bacterias ácido lácticas reduce las poblaciones de nemátodos, controla la propagación, dispersión de fusarium; gracias a ello, induce un mejor ambiente para el crecimiento de los cultivos. Según OTERO (2011) las bacterias ácido lácticas son estrictamente fermentativas, crecen a un pH entre 4.8 y 9.6 y no forman esporas. Pueden ser bacilos y cocos Gram positivos, inmóviles, catalasa y oxidasa negativos, anaerobias aerotolerantes. Producen sustancias parecidas a antibióticos como acidofilina, lactocidina producidas por *Lactobacillus acidophilus*, lactolina producida por *Lactobacillus plantarum* y nisina producida por *Streptococcus lactis*, también, son productores de nistatina (antifúngico) y de ácidos orgánicos como ácido acético, butírico, caprónico, propiónico, ácido 4-hidroxi-feniláctico y ácido-3-fenilacético reconocidos como antifúngicos (Mantilla, et al., 2007; Alaniz, et al., 2006; citados por OTERO, 2011).

2.1.4. Actinomicetos

Presentan amplia distribución, se pueden encontrar en superficies rocosas y en suelo rizosféricos, ricos en humus, hojarasca y estiércol, sedimentos marinos. La mayoría de las especies son heterótrofas, aerobios, mesófilas, crecen en un rango de temperatura entre 25°C y 30°C y son poco tolerantes a la acidez, razón por la cual requieren pH neutro para su óptimo crecimiento, aunque crecen en un rango de pH entre 5.0 y 9.0 y su población varía de 10^6 a 10^8 UFC/g de suelo (GONZÁLEZ, 2010; COYNE, 2000). En consecuencia, en suelos con un pH inferior a 5.0, pueden encontrarse en raras ocasiones, al igual que en suelos con una alta humedad entre el 85-100% de capacidad de campo, en comparación con suelos que presentan condiciones

semiáridas, con una humedad baja, como los suelos franco arenosos, son ideales para el desarrollo de estos microorganismos debido a la aireación y poca capacidad para retener agua (GONZÁLEZ, 2010)

LUNA y MESA (2016) señala que los actinomicetos son una estructura intermedia entre bacterias y hongos, que pueden coexistir con las bacterias fotosintéticas y producen sustancias antimicrobianas a partir de los aminoácidos y la materia orgánica secretados por éstas. Dentro de sus características particulares, se encuentra la de producir un olor típico a suelo húmedo debido a la producción de un metabolito denominado geosmina, además presenta una actividad metabólica alta, producen terpenoides, pigmentos y enzimas extracelulares con las que son capaces de degradar la materia orgánica de origen vegetal y animal (SALAZAR *et al.*, 2014; COYNE, 2000).

Los actinomicetos controlan hongos y bacterias patogénicas y también aumentan la resistencia de las plantas, mediante un mecanismo de producción de antibióticos que provocan inhibición de patógenos del suelo y benefician el crecimiento y la actividad de *Azotobacter* y de las micorrizas (Coutinho, 2011; citado por LUNA y MESA, 2016). Son los más numerosos después de las bacterias (COYNE, 2000). Al respecto, SALAZAR *et al.* (2014) encontraron, que en bosques secundarios poco intervenido la población de actinomicetos llega a 5×10^6 UFC/g suelo. El número de bacterias y de actinomicetos presentan correlación positiva con el porcentaje de arcillas, por estar relacionada con la protección de las arcillas a las poblaciones microbianas

y a la estimulación del crecimiento microbiano por el incremento de la concentración de cationes en las arcillas. Las arcillas contribuyen al desarrollo de microagregados que constituyen los microhábitats en donde se desarrollan las poblaciones microbianas (ALVAREZ, 2014)

Estos microorganismos abundantes en suelo son importantes saprófitos de plantas, capaces de degradar moléculas complejas y sustancias recalcitrantes como celulosa, lignocelulosa, xilano y lignina (OTERO, 2011). Además, han sido considerados potencialmente para la biotransformación y biodegradación de pesticidas. Miembros de este grupo de bacterias han sido encontrados para degradar pesticidas con estructuras químicas diferentes (SORIANO B Y SORIANO E, 2010).

Adicionalmente los actinomicetos son capaces de solubilizar fosfatos, cualidad muy importante ya que el fósforo se encuentra entre un 95-99% en forma de fosfato insoluble y no puede ser utilizado por las plantas (Pradhan y Sukla, 2005; citado por GONZÁLEZ, 2010). La falta de fósforo es una de las principales limitantes en el crecimiento vegetal en producciones orgánicas. Esta capacidad de los actinomicetos de convertir el fosfato insoluble en soluble se lleva a cabo a través de procesos de acidificación, quelación y reacciones de intercambio (Pradhan y Sukla, 2005; citados por GONZÁLEZ, 2010; SORIANO B Y SORIANO E, 2010). También se les reconoce por su capacidad de sintetizar auxinas (reguladores de crecimiento vegetal), entre ellas el ácido indol acético (AIA), promotor de crecimiento de raíces y de proliferación de pelos radicales que mejoran la absorción de agua y minerales del suelo, por lo tanto, llevan a un

mejor y mayor desarrollo de la planta (Caballero, 2006; citado por SORIANO B Y SORIANO E, 2010).

2.1.5. Fijadores de nitrógeno

Son proteobacterias, ampliamente distribuidas en la naturaleza, desde suelos y pantanos hasta aguas marinas y de desecho, son bacterias muy versátiles debido a su plasticidad metabólica, ya que pueden desarrollarse en condiciones anaeróbicas fotoautotrófica y fotoheterotróficamente, por medio de la reducción de compuestos inorgánicos u orgánicos, respectivamente. En aerobiosis son capaces de utilizar un amplio rango de compuestos como fuente de carbono y energía (Romero, 2006; citado por OTERO 2011).

Este tipo de bacterias son pigmentadas debido a la producción de bacterioclorofila a o b y carotenoides, que les otorgan colores entre púrpura, rojo, café y naranja. Son capaces de fijar nitrógeno molecular, formar ATP y producir vitaminas y otras moléculas orgánicas (OTERO, 2011). Su población es reducida así lo muestra PAHUARA y ZÚÑIGA (2001) En la rizosfera de pastura asociada Rye-grass/trébol en zona altoandina del Perú, encontró que las poblaciones de fijadores de nitrógeno oscilaron de 10, 000 a 40, 000 UFC/g.

2.2. Generalidades del cacao

2.2.1. Taxonomía

ROMERO (2016) clasifica al cacao en: Reino plantae, división magnoliophyta, clase magnoliopsida, orden malvales, familia malvaceae, subfamilia sterculioidae, género y Especie Theobroma cacao L.

2.2.2. Género *Theobroma*

Este género comprende veintidós especies, y todas ellas crecen bajo el dosel de los bosques tropicales lluviosos. Se distribuyen naturalmente desde la región meridional de México, hasta la cuenca del Amazonas, donde se considera su centro de origen y diversidad (ROMERO, 2016). Además, es una planta originaria de los trópicos húmedos de América, su centro de origen se cree estar situado en el noroeste de América del Sur, en la zona Amazónica.

Las especies de este género son árboles ramificados con hojas simples de varios portes y tamaños con un tallo principal que ramifica en un verticilo de 3 o 4 ramas laterales principales y frutos carnosos indehiscentes llamados mazorcas (HUERA y NIETO, 2018). La especie más importante comercialmente es *Theobroma cacao* L., el resto es usado solo de manera local (DOSERT *et al.*, 2012). El vocablo “Theobroma”, proviene de Theos (dios) y bróma (alimento), o sea “alimento de los dioses” (Vázquez y Yañez, 1999, citado por ROMERO, 2016).

2.2.3. Cultivo de cacao

El árbol del cacao se cultiva en las regiones tropicales. Es comercialmente cultivada entre 15° al norte y 15° al sur de la línea ecuatorial. Sin embargo, se puede encontrar hasta las latitudes subtropicales entre 23°26' (límite del Trópico de Cáncer) al norte y 23°26' (límite del Trópico de Capricornio) al sur de la línea ecuatorial. El rango de temperatura promedio anual va de 23° a 30° C, siendo el óptimo de 25° C. Se cultiva desde el nivel del mar hasta los

1200 msnm, siendo el óptimo de 500 a 800 msnm. Asimismo, necesita humedad relativa anual promedio entre 70% y 80% (MINAGRI, 2016).

2.2.4. Variedades

Desde el punto de vista botánico o genético, la especie *Theobroma cacao* L. se clasifica en:

- a) **Criollo:** Tiene su origen en América Central precolombina. Primera variedad conocida en Europa introducida por los primeros colonizadores. Actualmente se cultiva en México, Guatemala y Nicaragua en pequeñas cantidades; así como en Venezuela, Colombia, Perú, islas del Caribe, Trinidad, Jamaica e isla de Granada. Fuera de nuestro continente, se señalan cultivos en Madagascar, Java e islas Comores.

Son árboles débiles, de lento crecimiento, bajo rendimiento y más susceptibles a enfermedades y plagas que otras variedades. Sin embargo, su fruto se caracteriza por ser dulce y producir un chocolate de menor amargor y de mejor calidad. Su sabor es delicado, suave y complejo, y su aroma es intenso, lo hacen un tipo de cacao exclusivo y demandado en los mercados más exigentes del mundo. Solo representa entre el 5% al 8% de la producción mundial, en la medida que su cultivo es muy difícil, propenso a plagas: esta situación ha influido en la limitada propagación e incluso disminución de sus áreas de cultivo (HUERA y NIETO, 2018; MINAGRI, 2016; ROMERO, 2016).

- b) Forastero:** originario de la Alta Amazonía, es el de mayor producción en los países de África y Asia, es resistente y poco aromático, se usa para mezclar y dar cuerpo al chocolate. Introducido por los europeos en los territorios colonizados. Considerado como el cacao ordinario nativo de Brasil, Perú, Bolivia y Colombia, se cultiva principalmente en: Perú, Ecuador, Colombia, Brasil, Guayanas y Venezuela. Se ha expandido hacia el África Occidental (Costa de Marfil, Ghana, Camerún y Santo Tomé) y, posteriormente, hacia el sudeste asiático. Estas dos últimas regiones actualmente representan entre el 80% al 85% de toda la producción mundial. Tiene una gran potencia aromática, pero sin finura ni diversidad de sabores. Sin embargo, tienen un excelente rendimiento, cosecha precoz, árbol vigoroso y resistente a las enfermedades. (MINAGRI, 2016; ROMERO, 2016; ENRÍQUEZ, 2010).
- c) Trinitario:** híbrido entre el Criollo y el Forastero, originario de la isla Trinidad nunca se ha encontrado en estado silvestre. Se diseminó en América Latina y El Caribe y fue introducido en África alrededor del 1850. Es más aromático que el Forastero y más resistente que el Criollo. Representa entre el 10% al 15% de la producción mundial. Entre las variedades híbridas se puede clasificar un promedio de 50 tipos entre las que sobresalen las variedades Guayaquil, Ceilán, Patastillo, Lagarto, Blanco Marfil, Uranga, Porcelana, Matina, Pajarito, Sánchez, CCN-51, entre otras (MINAGRI, 2016)

2.2.5. Clon CCN-51

Una variedad importante es el cacao CCN-51, un cacao convencional obtenido en Naranjal, provincia de Guayas en Ecuador, en el año 1965, por el agrónomo Homero Castro Zurita. Su denominación CCN alude a Colección Castro Naranjal y su numeración como 51 al número de cruces realizados para obtener la variedad deseada. Este cacao ha adquirido gran popularidad entre los agricultores por tener características de alta productividad por hectárea y tolerancia a las enfermedades, pero no tiene aroma (ÁVILA y CUENCA, 2014). Es auto compatible al no necesitar de polinización cruzada para su fructificación; de cultivo precoz al iniciar su producción a los dos años de edad; resistente a plagas y enfermedades; fácilmente adaptable a diversas zonas tropicales; y poseer un alto porcentaje de grasa (54%) haciéndolo muy cotizado por la industria. Por el lado contrario, no cuenta con las características del cacao fino de aroma al tener un sabor ácido y astringente (ICCO, 2014; citado por MINAGRI, 2016).

Este clon de cacao se destaca también por sus altos niveles de resistencia a *Monillioptera pernicioso*, escoba de bruja y *Ceratocystis fimbriata* mal del machete, principales enfermedades de importancia económica del cacao. Adicionalmente, en condiciones de baja humedad relativa es tolerante a *Mollioptera roreri*, Moniliasis. Además, expresa que estos atributos genéticos junto a la implementación de buenas prácticas de manejo de la plantación, han permitido que este clon exprese en mejor forma su potencial productivo (HUERA y NIETO, 2018).

2.2.6. Rendimiento

El rendimiento mundial de la producción de cacao en grano es en promedio 460 Kg/ha. Sin embargo, existen algunos países con alta productividad, como Guatemala y Tailandia, los cuales en el 2013 han superado los 3 mil y 2,6 mil kilogramos por hectárea, asimismo Santa Lucía con 1,7 mil kilogramos es otro de los países con alta productividad. Es de mencionar el caso de Costa de Marfil, que siendo el primer productor mundial ha caído su rendimiento a 580 Kg/ha, Ghana muestra un rendimiento de 520 Kg/ha, Indonesia 430 Kg/ha y han caído alrededor de 350 Kg/ha: Brasil, Ecuador y Nigeria, entre otros, importantes países productores de cacao nivel mundial. En el caso del Perú, éste se encuentra con un nivel de rendimiento medio (650 a 700 Kg/ha) aunque por encima del promedio mundial (MINAGRI, 2016).

Según HUERA y NIETO (2018), el clon CCN-51 es destacado por su alta productividad, en algunas haciendas debidamente tecnificadas ha llegado a superar los 2 300 kg por hectárea, con un índice de mazorcas de 17.64 mazorcas por kilo de cacao seco, el índice de semillas es de 1.45 g por semilla seca y fermentada y el índice de semillas por mazorca, es de 45 semillas por mazorca. También, SÁNCHEZ *et al.* (2005) encontró efecto significativo entre los tratamientos, con un índice de mazorcas de 14.5 mazorcas por kg para el testigo y 16.5 para el tratamiento con 100% según dosis de laboratorio.

2.3. Fertilización

Las plantas son organismos autótrofos que requieren de diversos compuestos que estén presentes en la solución del suelo para desarrollar sus funciones; estos son los macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg y S; y los micronutrientes: Fe, Cu, Zn, Mn, B y Cl (GLIESSMAN, 2002). Los suelos se consideran fértiles cuando además de contener todos los elementos requeridos por las plantas, estos se encuentran disponibles para ser absorbidos; y el suelo cuenta con las características físicas y químicas necesarias, como la textura, la profundidad, la capacidad de almacenamiento y el pH (ROMERO, 2016). Cuando alguno de estos nutrientes escasea se limita el desarrollo de las plantas y su rendimiento, por lo tanto, el uso de insumos que provean o restauren estos nutrientes, es importante para la agricultura. A este proceso se le conoce como fertilización.

La cantidad de fertilizante necesaria para un cultivo, está en función de las condiciones edafoclimáticas y agroecológicas del sitio en cuestión (ROMERO, 2016). Sin embargo, en el caso del cacao, al igual que con los demás cultivos, las recomendaciones de fertilización deben hacerse después de realizar un análisis del suelo. Además, una cosecha de cacao seco de 1000 Kg. extrae aproximadamente 44 Kg de nitrógeno (N), 10 Kg de fosfato (P_2O_5) y 77 Kg. de potasio (K_2O). Si las mazorcas se partieren en el mismo campo y las cáscaras quedasen en el suelo, se reciclará aproximadamente 2 Kg de N, 5 Kg de P_2O_5 y 24 Kg de K_2O . Por lo tanto, todo suelo que se explota tiende a empobrecerse y a reducir su capacidad productiva (GÓMEZ, 2017).

FURCAL (2017), analizó la extracción de nutrientes en frutos de clones de cacao durante siete años, los resultados obtenidos mostraron que, de una tonelada de semillas secas de estos clones, incluyendo la cáscara del fruto, se extraen entre 33.45 a 37.80 kg de nitrógeno, entre 40.35 y 50.64 kg de potasio, y de fósforo en un rango de 7.33 a 8.37 kg. El orden de extracción de los nutrientes fue: K>N>P>Mg>Ca>Mn>Fe>Zn>B=Cu.

Por ello, los investigadores han propuesto diferentes dosis de fertilización. Para la fertilización química, pueden utilizarse formulaciones compuestas; el INTA (2010) hace las siguientes recomendaciones:

Cuadro 1. Requerimientos de fertilización en kg. ha⁻¹ en base al análisis del suelo (con una disponibilidad media de nutrientes); para una plantación de 1,400 plantas de cacao por ha.

EDAD/AÑOS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S
0-1	23	9	14	6	7
1-2	40	11	29	9	14
2-3	57	17	43	14	21
3-4	71	23	57	18	27
Mayor de 4	86	29	71	23	24

Fuente: Manual para el cultivo de cacao INTA (2010); Citado por ROMERO (2016).

SÁNCHEZ *et al.* (2005) aplicó NPK según dosis de laboratorio, 46 g. planta⁻¹ de N a partir de úrea, 35 g de P a partir de superfosfato triple y 40 g de K a partir de sulfato de potasio. También, PUENTES *et al.* (2016) aplicó 25,

50, 75 y 100% más de nitrógeno-fósforo-potasio (N-P-K), sobre la dosis de laboratorio que corresponde al T1 (dosis de 61-29.3-183), T2 (73-35.2-219.7), T3 (86-41-256,4) y T4 (98-47-293) respectivamente.

2.3.1. Fertilización orgánica

Corresponde a un sistema de agricultura orgánica, que promueve y mejora la salud del agrosistema, con inclusión de la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo. El autor hace ahínco en la utilización de prácticas de ordenación más que en el uso de insumos no agrícolas, teniendo en cuenta que las condiciones regionales requieren sistemas adaptados a cada lugar (FAO/OMS 2011, citado por CHARVET, 2012).

Por lo tanto, se trata de un enfoque holístico de la agricultura pues considera la profunda interrelación existente entre la producción y el ambiente. Aunque existen algunas diferencias conceptuales con otros enfoques alternativos, conceptos relacionados con el de agricultura orgánica son los de agroecología (ALTIERI, 1999; ALTIERI y NICHOLLS, 2008). La agricultura orgánica promueve la protección de los suelos y los cultivos a través de prácticas tales como el reciclado de nutrientes y de materia orgánica (usando compost y coberturas de suelo), las rotaciones de cultivo y el no uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos. La agricultura orgánica presupone el uso adecuado de los recursos naturales que intervienen en los procesos productivos, sin alterar su armonía (Suquilanda 1995, citado por CHARVET, 2012); centrada no sólo en la producción sino también en la sostenibilidad ecológica del sistema de producción (ALTIERI, 1999).

2.3.2. Fertilización convencional

Corresponde a un conjunto de técnicas y paquetes tecnológicos basados en una tendencia a nivel mundial de industrialización de la agricultura al cual Norman Borlaug denominó revolución verde en 1968, para PICHARDO (2006) el término revolución verde se refiere a un modelo implementado en la agricultura a fin de obtener mayores rendimientos, este modelo nace en Estados Unidos tras las investigaciones para la creación de semillas híbridas, porque tras la revolución industrial con el requerimiento de la producción de alimento para sustentar la industrialización y la presencia tanto de eventos climáticos como escasez o inundaciones así como de enfermedades, hizo resaltar la importancia de la producción alimentaria.

A la fertilización química se le denominada agricultura industrial. Pretty (2001), Shiva (2000), citados por CÁCERES (2003) define como tipo de producción agropecuaria de alto rendimiento, basada en el uso intensivo de capital (tractores y maquinarias de alta productividad) e insumos externos (semillas de alto potencial productivo, fertilizantes químicos y pesticidas sintéticos). Este enfoque de la producción agropecuaria también se conoce como agricultura de la Revolución Verde, de altos rendimientos y de altos insumos externos.

2.3.3. Efectos de la fertilización orgánica y convencional

Algunas investigaciones muestran los beneficios de ambos tipos de fertilización. Entre ellos, LUDEÑA (2013). En una plantación de seis años, usó fertilizantes orgánicos en diferentes tratamientos, donde el T3 que contiene 120-

100-160 y 25 g de MgO, 150g de azufre, 5gde boro, 0.5g de zinc, 0.25g de cobre y 1 g de manganeso, presentó un rendimiento de 1298.3 Kg/ha en comparación con el tratamiento control con 697.34 Kg/ha. También, GÓMEZ (2017) aplico tratamientos con fertilizantes químicos y orgánicos, obtuvieron las mayores cantidades de frutos sanos con 21.33 y 20.00, respectivamente, el rendimiento se benefició con las aplicaciones de los fertilizantes, el químico obtuvo un rendimiento de 1.35 y el orgánico con 1.27 t/ha. El tratamiento con fertilizante químico alcanzó el mayor beneficio económico con una tasa de retorno marginal de 183 %.

Por su parte, ALVARADO (2016) realizó aplicaciones con nitrato de amonio (33.5% N), como fuente de nitrógeno, roca fosfórica (30%, P₂O₅, 40% CaO, 10% SiO) como fuente de fósforo, cloruro de potasio (60% K₂O, 45% Cl) como fuente de potasio, Bokashi como fuente de abono orgánico sólido y Biofer húmico como abono orgánico líquido, sobre el clon de cacao CATIE-RS6 obtuvo en promedio de 1 322.03 kg/ha/año, pese a este buen rendimiento no hubo ningún efecto significativo de los tratamientos sobre los componentes de rendimiento analizados.

ALCÍVAR y LOOR (2016) estudiaron la respuesta del cultivo de cacao a la aplicación de niveles de poda y fertilización química y orgánica En contraste, sé detecto diferencias significativas entre los tipos de fertilización, siendo la fertilización convencional la que mostró el mayor rendimiento con 20 qq/ha (920.6 kg/ha) de cacao seco, seguida de la fertilización orgánica con 16 qq/ha (736.48kg/ha). AVILA (2014) obtuvo mejor respuesta con el T5,

fertilización con dosis de 129-52-135; indujo un mayor diámetro del tallo, longitud de ramas y número de flores formadas.

TUESTA *et al.* (2017) evaluaron la inclusión de *Trichoderma* endófito y micorrizas en la fertilización orgánica e inorgánica para mejorar el rendimiento y la tolerancia a enfermedades del cacao en Tocache y Juanjui, no se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en relación al control en la localidad de Lamas; siendo el T8 el que obtuvo un incremento del 32.4 % en relación al control absoluto con 2, 082.9 kg. ha⁻¹. Sin embargo, en la localidad de Juanjuí fueron observadas diferencias significativas ($p < 0.05$) en relación al control. Todos los tratamientos obtuvieron incrementos porcentuales positivos en el rendimiento con respecto al control absoluto. Los tratamientos de aplicación con fertilizante inorgánico y micorrizas (T4, T7 y T9) fueron los que presentaron mayores valores de rendimiento de cacao por hectárea, que a su vez obtuvieron incrementos respecto al control absoluto, con medias de 2,498.0 kg.ha⁻¹ (108.8%); 2, 502.4 kg.ha⁻¹ (109.2%) y 2, 488.1 kg.ha⁻¹ (108.0%), respectivamente.

Sin embargo, PUENTES *et al.* (2016) encontró menor capacidad de producción de grano seco de cacao por unidad de nutriente a medida que la dosis fuera más alta (T4), cual sugiere que a mayor dosis disminuye la eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno, fósforo y potasio de los clones. Además, el clon CCN51 de cinco años de edad, obtuvo el mayor rendimiento en el tratamiento T1 (2020 kg ha⁻¹), por lo cual se podría considerar más eficiente en comparación con los demás clones, ya que con menor dosis tuvo mayor producción. En efecto,

en la medida que aumentaron los niveles de fertilización en el suelo, el rendimiento disminuyó. ocasionado un desbalance nutricional en la planta que se habría manifestado en una pérdida del rendimiento. Lo que sugiere hacer un uso responsable de la fertilización en cacao, en particular productos químicos

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El proyecto se desarrollará en el fundo Cárdenas, cuyo propietario es el Sr. Walker Cárdenas Silva, ubicada políticamente en:

Localidad: Nuevo Progreso

Distrito: Padre Abad

Provincia: Padre Abad

Región: Ucayali

3.2. Localización y condiciones agrologicas del experimento

El lugar donde se desarrolló la investigación es el centro poblado de Nuevo Progreso, distrito y provincia de Padre Abad, a orillas del rio Aguaytía 30:00 minutos aguas abajo y 12 km de la localidad de Huipoca. Según CEPISA (2009), citado por CASTRO (2015) Padre Abad pertenece al ecosistema de bosque muy húmedo - Premontano Tropical (bmh-PT) y las condiciones agroecológicas que presentan son las siguientes:

- Temperatura media anual 26.2 °C
- humedad relativa de 84 %
- precipitación anual de 2,000 a 4, 000 mm".

3.3. Sobre el área experimental

Corresponde a una plantación de cacao criollo injertado con yemas del clon CCN-51, con una edad de cuatro años de instalación, el distanciamiento entre filas y plantas es de 3 m , el terreno presenta una pendiente suave de 2-4 % aproximadamente, de terraza alta no inundable cuyo suelo al inicio del experimento presenta las siguientes características: textura franco arenoso, pH 4.24, MO 1.97 %, N 0.09 %, P 3.54 ppm, K⁺ 62.47 ppm ClCe 9.15 Ca²⁺ 4.46 Mg²⁺ 0.65 y Al³⁺ 4.4 Cmol(+)/kg además de 49.1 % de bases cambiables, 50.9 % de acidez cambiabile y 42.25% de saturación de aluminio.

3.4. Insumos

Se utilizó compost, urea, super fosfato triple y cloruro de potasio

3.5. Instrumentos de medición y otros.

Se utilizó balanza digital, GPS y cámara digital.

3.6. Metodología

3.6.1 Enfoque metodológico.

El presente proyecto se ejecutó en un periodo de cinco meses como parte de una línea de investigación (que realiza el asesor de este proyecto). Sin embargo, se proyecta continuar con las evaluaciones según el ciclo vegetativo del cacao para observar la dinámica de los diferentes componentes tanto del suelo como de la planta. A lo largo de estos cinco meses, el trabajo de investigación realizó la tercera aplicación de los abonos, la evaluación de la producción y los muestreos para evaluar la población de los grupos microbianos.

3.6.2. Tipo de investigación

Es una investigación aplicada, porque se recurrió a las ciencias biológicas y del suelo para solucionar el problema del rendimiento y la calidad del suelo en la producción del cacao. Asimismo, corresponde a un nivel de investigación experimental, porque se manipuló la variable independiente, (compost, NPK y compost + NPK) y se midió la variable dependiente (población de microorganismos) en una plantación de cacao, que se comparará con un testigo absoluto.

3.6.3. Tipo de diseño y técnica estadística

Corresponde a un diseño experimental, de bloque completo al azar (DBCA) constituidos por cuatro tratamientos y cuatro repeticiones con un total de 16 unidades experimentales. Se utilizó las técnicas estadísticas de análisis de varianza (ANVA), para probar la hipótesis a un nivel de significancia de 5% para repeticiones y tratamiento y para las comparaciones múltiples de las medias, la prueba de amplitudes de Duncan y Tukey a un nivel de significancia del 5%. Para el procesamiento de datos se usó el programa STATA 15.

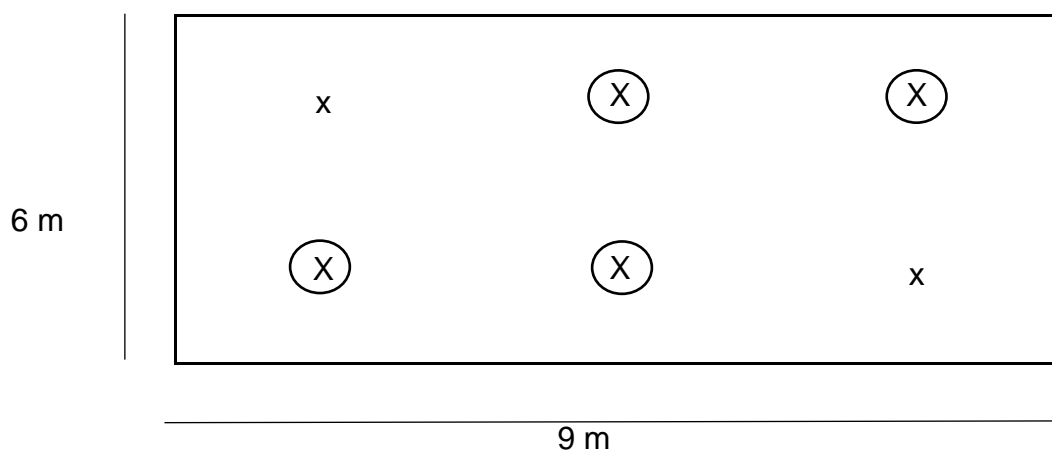
3.6.4. Sobre el área experimental

El diseño experimental fue constituido por cuatro tratamientos T1: testigo absoluto, T2: compost, T3: NPK y T4: compost más NPK y cuatro repeticiones, las unidades experimentales fueron de 9 x 6 m que incluyen 6 plantas de cacao y un área por unidad experimental de 54 m² hacen un total de 1 287 m² como se detalla en la siguiente figura.

	T1			T3			T4			T2		
B1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	T2			T4			T3			T1		
B2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	T4			T2			T1			T3		
B3	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	T3			T1			T2			T4		
B4	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Leyenda: T1,..Tn son los tratamientos, B1,..Bn son las repeticiones y x son plantas de cacao a ser evaluadas en cada unidad experimental (parcela)

Figura 01. Diseño del campo experimental



Leyenda: (X) planta seleccionada para ser evaluada. X planta no seleccionada

Figura 02. Detalle de la unidad experimental

3.6.5. Población y muestra

La población estaba constituida por dos sub poblaciones: la primera que permitió medir el rendimiento, se tuvo 96 plantas establecidas de cacao CCN-51 y para evaluar la población microbiana en el suelo se tuvo un área de 1 287 m² de tierras en Nuevo Progreso.

Con respecto a la muestra, de la población de 96 plantas de cacao, se tomó una muestra de 64 plantas (4 plantas por unidad experimental) en 1 287 m² de terreno para evaluar el rendimiento y la población de los diferentes grupos microbianos. El Tipo de muestreo fue probabilístico en la forma de muestreo aleatorio simple porque cualquiera de las plantas y suelo de la población pudo ser tomada como parte de la muestra.

3.6.6. Aplicación de los abonos

Se realizó en función del análisis de suelo inicial, se extrajo una muestra compuesta del área experimental, siguiendo los lineamientos de la National Soil Survey Center (versión 2- 2002). Los parámetros químicos fueron analizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. En base a estos resultados se calculó la cantidad indicada de compost (según ficha técnica) y NPK (bajo la forma de urea, superfosfato triple y cloruro de potasio). La referencia para calcular se hizo en base al nivel medio de NPK fijado por DS 017-2009-AG (Reglamento de clasificación de suelos por capacidad de uso mayor).

La aplicación total se realizó en tres etapas (enero-mayo y setiembre) y en contorno a la altura de copa de la planta. Las aplicaciones de enero y mayo ya habían sido ejecutadas, como parte de una investigación general de la fertilización orgánica y convencional, por lo que el proyecto realizó la tercera aplicación de los abonos.

Cuadro 02. Referencias para cálculo de dosis de aplicación (1 111 plan/ha)

Parámetro	Nivel medio referencia DS 017-2009-AG	Nivel de calculo	Dosis	Dosis parcial g/plan. (tercera aplicación)
Nitrógeno	0.1-0,2 %	0.15	84	54.78
Fosforo	7-14 ppm	16	35	52.10
Potasio	100-240 ppm	120	161	96.66

La aplicación total se realizó en tres etapas (enero-mayo y setiembre) y en contorno a la altura de copa de la planta. Las aplicaciones de enero y mayo ya habían sido ejecutadas, como parte de una investigación general de la fertilización orgánica y convencional, por lo que el proyecto realizó la tercera aplicación de los abonos.

Cuadro 03. Detalle del compost y NPK a aplicar (1 111 plan/ha/año)

Tratamiento	Compost Kg/ha	Compost kg/planta	N (urea) g/planta	P g/planta	K g/planta
T1	0	0	0	0	0
T2	3 000	2.7	0	0	0
T3	0	0	164.36	156.3	289.9
T4	1 500	1.35	82.15	78.15	144.95

3.6.7. Muestreo de suelos y determinaciones microbiológicas

El muestreo consistió en extraer en cada planta seleccionada una muestra simple (sub muestra). Lo cual posteriormente se mezcló con las muestras de los puntos sucesivos (4), formando una muestra compuesta por cada unidad experimental (16 en total), lo cual se llevó para su análisis en el laboratorio de microbiología de la UNAS.

A continuación, se indican los pasos seguidos para el muestreo en suelos de cacao.

- a) La muestra se tomó a nivel de la proyección de la copa del árbol de cacao.
- b) En cada sitio de muestreo se removió la hojarasca fresca (1-3 cm) de un área de 40 cm x 40 cm.
- c) Se extrajo aproximadamente 100 a 200 g de suelo y se colocó en bolsas de polietileno, libre de impurezas, en la cual se marcó el tratamiento y la profundidad de muestreo
- d) Se realizó el secado bajo sombra por tres días, se eliminó los restos de materia orgánica fresca (reciente) y la grava o piedras, pues estos materiales no se incluyen en el análisis.
- e) Finalmente, de esta muestra compuesta y seca se realizó la caracterización microbiológica a partir del proceso de diluciones seriadas (BALDANI, 2007 y SALAZAR *et al.*, 2014) para el aislamiento se toman 10 g de suelo en 90 ml de agua peptonada (AP) 0,1%, a partir de esta dilución inicial se preparan diluciones sucesivas tomando cada vez un mililitro de solución y adicionando 10 ml de AP hasta alcanzar la dilución deseada. En este caso se midió en diluciones 10^{-3} la población de:
 - Aerobios viables (plate count + manitol 1%)
 - Actinomicetos (agar actinomyces + glicerina)
 - Lactobacillus (agar roboso)
 - Fungi, mohos y levaduras (agar sabouraud glucosado 4% + ceftriaxona)
 - La población de fijadores de nitrógeno (agar osha)

3.6.8. Evaluación del rendimiento

Se evaluó el rendimiento realizando la colecta manual de mazorcas en 4 árboles de cacao por tratamiento y repetición, teniendo en total 16 unidades experimentales y 64 plantas evaluadas. Se realizó el procedimiento común de cosecha, fermentado y secado y se registró el peso seco por cada unidad experimental de manera mensualizada, la evaluación inicio en febrero del 2018 y concluye en enero del 2019. El rendimiento se encontró calculando el acumulado y proyectándolo para una densidad de 1 111 plantas/ha.

IV. RESULTADOS

4.1. Población microbiana según tratamiento

La presencia de lactobacillus y de fijadores de nitrógeno fueron los que presentaron el menor valor (cuadro 04) y en algunas repeticiones no se observó crecimiento en los medios de cultivos.

Cuadro 04. Población de los grupos de microorganismos del suelo según tratamiento y repetición

Grupos microbianos (UFC /g) según tratamiento					
Tratamiento	Aerobios viables	Lactobacillus	Actinomicetos	Fungi (Mohs y levaduras)	Fijadores de nitrógeno
T1R1	42 000	*	92 000	4 000	2 000
T1R2	10 000	*	14 000	1 000	*
T1R3	62 000	1 000	90 000	3 000	2 000
T1R4	51 000	*	65 000	2 000	2 000
T2R1	22 000	*	109 000	1 000	3 000
T2R2	110 000	1 000	172 000	7 000	5 000
T2R3	62 000	2 000	128 000	3 000	2 000
T2R4	12 000	*	15 000	1 000	*
T3R1	8 000	*	62 000	3 000	1 000
T3R2	131 000	1000	121 000	5 000	2 000
T3R3	37 000	*	28 000	1 000	1 000
T3R4	18 000	*	29 000	1 000	1 000
T4R1	66 000	1000	80 000	4 000	2 000
T4R2	9 000	*	54 000	2 000	1 000
T4R3	102 000	*	95 000	3 000	3 000
T4R4	4 000	1000	45 000	1 000	1 000

*No se observó crecimiento, T= tratamiento 1, 2, 3 y 4. R= repetición 1, 2, 3 y 4.

Las medias demuestran que el T2 (tratamiento con compost) presenta los valores mas altos para los diferentes grupos microbianos evaluados (cuadro 05), seguidos del T4 (compost + NPK), en comparación con el testigo.

Cuadro 05. Medias y desviación estándar según tratamiento

Indicadores	Tratamientos				Significancia	
	T1	T2	T3	T4	Tratamiento	Repetición
Aerobios Viables	41250±11191	51500±22292	48500±28150	45250±23570	0.9888	0.4303
Lactobacillus	1000	1500±500	1000	1000		
Actinomicetos	65250±18154	106000±33078	60000±21814	68500±11536	0.4693	0.3506
Fungi	2500±646	3000±1414	2500±957	2500±646	0.9741	0.3476
Fijadores de nitrógeno	2000	3333±882	1250±250	1750±479	0.163	0.6875

Se puede apreciar un dominio de las bacterias aerovías viables y los actinomicetos (Figura 01) y al T2, con los valores mas elevados

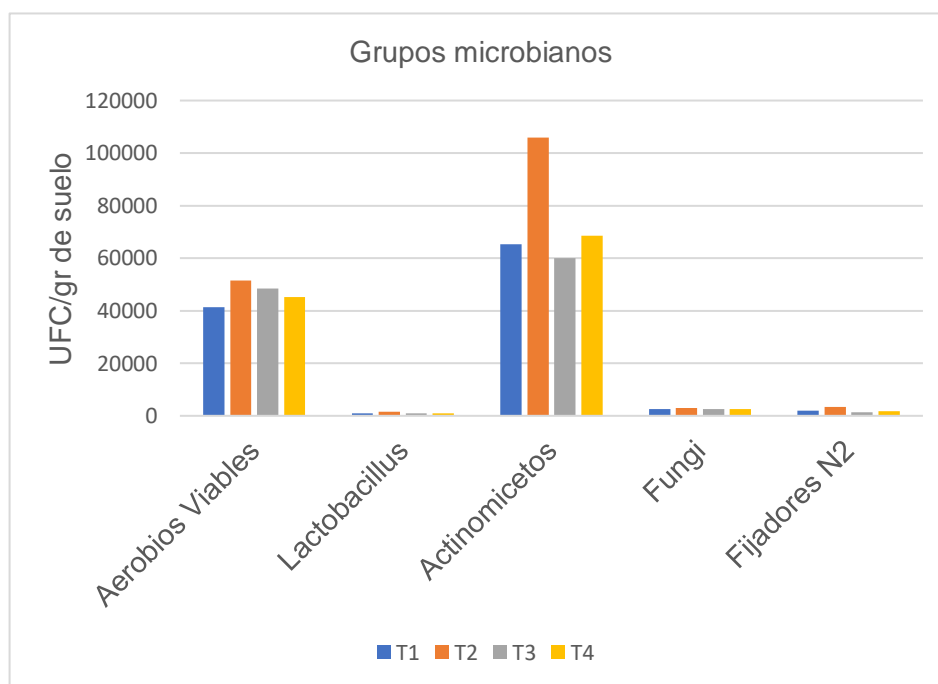


Figura 03. Comportamiento de la población de los diferentes grupos microbianos según tratamiento

4.2. Análisis estadístico de los grupos microbianos en los diferentes tratamientos

Las pruebas de normalidad (cuadro 06) presentan valores de significancia mayores a 0.05, lo que nos indican que los datos tienen una distribución normal.

Cuadro 06. Pruebas de normalidad de variables evaluadas

Descriptivos		Pruebas de normalidad	
		Shapiro-Wilk W test	Shapiro-Francia
Variable	Observación	Sig.	Sig.
Aerobios Viables	16	0.05222	0.07441
Lactobacillus	6	0.00112	-----
Actinomicetos	16	0.7072	0.71922
Fungi	16	0.06377	0.71824
Fijadores de nitrógeno	14	0.03108	0.18635
Rendimiento	16	0.45169	0.40964

Las pruebas de comparaciones múltiples de Tukey (cuadro 07, 08, 09, 10 y 11), muestran al T2 como el tratamiento que presentó mayor diferencia con referencia al testigo en los diferentes grupos microbianos evaluados.

Cuadro 07. Comparaciones múltiples para la variable aerobios viables

Aerobios viables (Tukey)				
Tratamiento	Contrast	Std. Err.	t	P>t
2 vs 1	10250	31385.71	0.33	0.987
3 vs 1	7250	31385.71	0.23	0.995
4 vs 1	4000	31385.71	0.13	0.999
3 vs 2	-3000	31385.71	-0.1	1
4 vs 2	-6250	31385.71	-0.2	0.997
4 vs 3	-3250	31385.71	-0.1	1

Cuadro 08. Comparaciones múltiples para la variable Lactobacillus

Lactobacillus (Tukey)				
Tratamiento	Contrast	Std. Err.	t	P>t
2 vs 1	500	612.3724	0.82	0.845
3 vs 1	-4.04E-13	707.1068	0	1
4 vs 1	-3.99E-13	612.3724	0	1
3 vs 2	-500	612.3724	-0.82	0.845
4 vs 2	-500	500	-1	0.768
4 vs 3	5.33E-15	612.3724	0	1

Cuadro 09. Comparaciones múltiples para la variable actinomicetos

Actinomicetos (Tukey)				
Tratamiento	Contrast	Std. Err.	t	P>t
2 vs 1	40750	31879.82	1.28	0.593
3 vs 1	-5250	31879.82	-0.16	0.998
4 vs 1	3250	31879.82	0.1	1
3 vs 2	-46000	31879.82	-1.44	0.499
4 vs 2	-37500	31879.82	-1.18	0.652
4 vs 3	8500	31879.82	0.27	0.993

Cuadro 10. Comparaciones múltiples para la variable fungi

Fungi (Tukey)				
Tratamiento	Contrast	Std. Err.	t	P>t
2 vs 1	500	1369.306	0.37	0.983
3 vs 1	7.38e-14	1369.306	0	1
4 vs 1	7.38e-14	1369.306	0	1
3 vs 2	-500	1369.306	-0.37	0.983
4 vs 2	-500	1369.306	-0.37	0.983
4 vs 3	0	1369.306	0	1

Cuadro 11. Comparaciones múltiples para la variable fijadores de nitrógeno

Fijadores de N₂ (Tukey)				
Tratamiento	Contraste	Std. Err.	t	P>t
2 vs 1	1333.333	737.8648	1.81	0.325
3 vs 1	-750	690.2093	-1.09	0.705
4 vs 1	-250	690.2093	-0.36	0.983
3 vs 2	-2083.333	690.2093	-3.02	0.053
4 vs 2	-1583.333	690.2093	-2.29	0.164
4 vs 3	500	639.0097	0.78	0.861

4.3. Rendimiento del cacao

Cuadro 12. Rendimiento en los diferentes tratamientos

Tratamiento	Repetición	Kg/ha	Media ± DS
T1	R1	1061.64	860.405±411.63
	R2	1335.17	
	R3	605.91	
	R4	438.9	
T2	R1	1533.18	1125.13±438.89
	R2	1360.64	
	R3	530.56	
	R4	1076.14	
T3	R1	2037.35	1080.1±673.73
	R2	1032.98	
	R3	745.48	
	R4	504.59	
T4	R1	1349.23	1056.955±296.4
	R2	1273.73	
	R3	774.28	
	R4	830.58	

DS=desviación estándar de la media

Los datos del rendimiento tienen distribución normal (cuadro 06) por lo tanto para el análisis de varianza no se requiere hacer ninguna transformación de los datos. Además, estadísticamente no se observa diferencia significativa (cuadro 13) entre los tratamientos aplicados y la variable rendimiento.

Cuadro 13. Análisis de varianza para la variable rendimiento

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Rendimiento					
Origen	suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	164188.344 ^a	3	54729.448	.242	.865
Intersección	16995748.308	1	16995748.308	75.216	.000
TRATAMIENTO	164188.344	3	54729.448	.242	.865
Error	2711511.802	12	225959.317		
Total	19871448.454	16			
Total, corregido	2875700.146	15			

a. R al cuadrado = .057 (R al cuadrado ajustada = -.179)

Aunque no se encontró diferencias significativas (Cuadro 13), las pruebas de comparaciones múltiples de Tukey (cuadro 14), muestran al T2 como el mejor tratamiento respecto al testigo.

Cuadro 14. Comparaciones múltiples para la variable rendimiento

Variable rendimiento				
Tratamiento	Contraste	Std. Err.	t	P>t
2 vs 1	264.725	336.1245	0.79	0.859
3 vs 1	219.695	336.1245	0.65	0.912
4 vs 1	196.55	336.1245	0.58	0.935
3 vs 2	-45.03	336.1245	-0.13	0.999
4 vs 2	-68.175	336.1245	-0.20	0.997
4 vs 3	-23.145	336.1245	-0.07	1.000

V. DISCUSIÓN

5.1. Población de microorganismos

5.1.1. Aerobios viables

Los resultados del recuento en placa (Cuadro 05) muestran una población para las bacterias aerobias viables de 51, 500 UFC/g de suelo para el T2, 48, 500 para T3, 45, 250 para T4 y 41, 250 para T1, equivalente a una población de 10^4 UFC/g de suelo. Según COYNE (2000), el número de bacterias presentes en un gramo de suelo abarca desde un millón hasta varios miles de millones, esto debido a las grandes diferencias que existen entre los suelos. Evidentemente, los resultados del trabajo se encuentran por debajo de esta cifra.

Sin embargo, algunas investigaciones reportan valores similares, entre ellos, HUANSI (2011), en bosque sin prácticas agronómicas encontró una media de 6´ 075, 000 UFC/g y en evaluación a los 3 días de la quema 982, 000 UFC/g, este último está en el rango de 10^5 . También, PAHUARA y ZÚÑIGA (2001) en la rizosfera de pastura asociada Rye-grass/trébol en zona altoandina del Perú, encontró que las poblaciones de bacterias mesófilas oscilaron de 10^5 a 10^7 UFC/g. Aunque algunas investigaciones reportan valores mas altos como el de OTERO (2011) en el caso de las bacterias totales del suelo todas las muestras presentaron concentración de 10^7 UFC/g de suelo y ARGÜELLO y MORENO (2014) en suelos ácidos con cacao encontraron poblaciones de microorganismos de 3×10^8 bacterias/g, para suelos de pH 5.32 y 4×10^6

bacterias/g, para suelos de pH 5.42. condiciones muy parecidas con nuestro trabajo.

5.1.2. Lactobacillus

La población media de los lactobacillus (Cuadro 05) fue de 1000 UFC/g para T1, T3 y T4 y de 1500 UFC/g para T2; están en el rango de 10^3 . Los estudios de aislamientos de bacterias ácido lácticas a partir de suelos no son muy numerosos, debido a que requieren de medios ricos en nutrientes, sin embargo, algunos autores reportan la presencia en suelos (Estrada, *et al.*, 2005; Yanagida, *et al.*, 2005; Yanagida, *et al.*, 2006; citados por OTERO, 2011).

Al respecto, LUNA y MESA (2016) señala que su presencia en el suelo es muy importante, por la capacidad antagónica del ácido láctico, es un compuesto esterilizante fuerte, que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y celulosa. según OTERO (2011) son capaces de producir sustancias antimicrobianas como bacteriocinas, antibióticos u otros metabolitos, lo que sugiere que pueden ser utilizadas para el control biológico de enfermedades causadas por otros microorganismos en las plantas y mejorar el rendimiento de los cultivos.

5.1.3. Actinomicetos

La población media de actinomicetos (Cuadro 05) fue de 106, 000 UFC/g de suelo para T2 (Compost), 68, 500 para T4, 65, 250 T1 y 60, 000 UFC/g de suelo para T3 (NPK), estos valores se encuentran en un rango de 10^4 a 10^5 . Según COYNE (2000), son los más numerosos después de las bacterias con

poblaciones que varían de 10^6 a 10^8 UFC/g de suelo. nuestros resultados son menores a este rango, sin embargo, SALAZAR *et al.* (2014) encontraron, valores similares en bosques secundarios poco intervenido, la población de actinomicetos llega a 5×10^6 UFC/g suelo. también, ARGÜELLO y MORENO (2014) en suelos ácidos con cacao encontraron poblaciones de microorganismos de 23×10^5 actinomicetos/g, para suelos de pH 5.32 y 8×10^5 actinomicetos/g para suelos de pH 5.42. este último coincide con nuestros resultados.

Para OTERO (2011) estos microorganismos, son importantes saprófitos de plantas, capaces de degradar moléculas complejas y sustancias recalcitrantes como celulosa, lignocelulosa, xilano y lignina y en suelos con un pH inferior a 5.0, pueden encontrarse en raras ocasiones, esto explicaría la población relativamente baja encontrada, pues por un lado los suelos del área experimental tienen un pH de 4.24, pero, tiene textura franco arenoso; que según GONZÁLEZ (2010) los suelos franco arenosos, son ideales para el desarrollo de estos microorganismos debido a la aireación y poca capacidad para retener agua.

Adicionalmente los actinomicetos son capaces de solubilizar fosfatos, cualidad muy importante ya que el fósforo entre un 95-99% no puede ser utilizado por las plantas (GONZÁLEZ, 2010) y su capacidad de sintetizar auxinas, promotor de crecimiento de raíces y de proliferación de pelos radicales que mejoran la absorción de agua y minerales del suelo, por lo tanto, llevan a un mejor y mayor desarrollo de la planta (Caballero, 2006; citado por SORIANO B Y SORIANO E, 2010).

5.1.4. Fungi

Los resultados muestran (Cuadro 05) una población de 3,000 UFC/g de suelo para el T2, y 2,500 para T1, T3 y T4, encontrándose en un rango de 10^3 . Para, OTERO (2011) la abundancia, actividad y clase, depende del contenido de materia orgánica, textura del suelo, pH, temperatura, aireación, entre otros factores, los fungi se encuentran ubicados en el tercer lugar con 10^5 – 10^6 UFC/g de suelo, valor superior a nuestros resultados.

Sin embargo, los mismos resultados de ARGÜELLO y MORENO (2014) en suelos ácidos con cacao encontraron poblaciones de 6×10^4 UFC/g de fungi para suelos de pH 5.32 y 8×10^4 UFC/g para suelos de pH 5.42, valores parecidos al nuestro, También, PAHUARA y ZÚÑIGA (2001) en la rizosfera de pastura asociada Rye-grass/trébol en zona altoandina del Perú, encontró la población de fungi de 10^4 a 10^6 UFC/g. sin embargo, OTERO (2011) en su trabajo, los recuentos obtenidos para fungi filamentosos se encuentran en concentración de 10^6 UFC/g de suelo, muy superior a lo encontrado en esta investigación.

5.1.5. Fijadores de nitrógeno

Los resultados (Cuadro 05) muestran una población media de 3,333 UFC/g de suelo para T2, 2,000 para T1, 1,750 para T4 y 1,250 UFC/g para T3, mostrándose una vez más que la aplicación de compost (T2) incremento la población de fijadores de nitrógeno, en comparación del T3 (NPK) quien presento los valores mas bajos incluso en comparación con el testigo. Su población es

reducida así lo muestra PAHUARA y ZÚÑIGA (2001) En la rizosfera de pastura asociada Rye-grass/trébol en zona altoandina del Perú, encontró que las poblaciones de fijadores de nitrógeno oscilaron de 10, 000 a 40, 000 UFC/g. sin embargo, a pesar de encontrarse en números muy bajos en los suelos son muy importantes, pues para OTERO (2011) son capaces de fijar nitrógeno molecular, formar ATP y producir vitaminas y otras moléculas orgánicas. Lo que se traduce en una mejora en general de cualquier tipo de cultivo.

En general las evaluaciones microbiológicas muestran que la aplicación de compost presento los mayores efectos sobre la población de los diferentes grupos microbianos y la aplicación del NPK (T3) mostro efectos contrarios pues presento los menores promedios. Hay que destacar que las poblaciones encontradas son menores a las referencias, esto se explica teniendo en cuenta el tipo de suelo que presenta el área experimental, suelo fuertemente ácido (pH 4.24), bajo en MO (1.97 %), bajo en P (3.54 ppm), bajo en K⁺ (62.47 ppm), alto en Al³⁺ (4.4 Cmol(+)/kg) además de 50.9 % de acidez cambiante y 42.25% de saturación de aluminio.

Según, OTERO (2011); GONZÁLEZ, 2010; COYNE (2000) la abundancia, actividad y clase de microorganismo, depende del contenido de materia orgánica, textura del suelo, pH, temperatura, aireación, entre otros factores. La actividad microbiana se desarrolla en función de factores intrínsecos y extrínsecos al sistema suelo, pues una buena actividad microbiana puede ser el reflejo de óptimas condiciones físicas y químicas que permitan el desarrollo de

los procesos metabólicos de bacterias, hongos, algas y actinomicetos (MORA, 2006).

5.2. Rendimiento del cacao

Los resultados (Cuadro 12) muestran medias de 860.405 kg/ha para T1, 1 056.955 para T4, 1 080 para T3 y 1 125 kg/ha para T2. Estadísticamente no se encontró diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo a pesar que se evaluó en una plantación de 4 años de instalación, los niveles de rendimiento son altos comparándolo con el rendimiento mundial de la producción de cacao en grano es en promedio 460 Kg/ha y para Perú rendimiento medio 650 a 700 Kg/ha (MINAGRI, 2016).

Similares resultados son reportados por varios autores, LUDEÑA (2013). En una plantación de seis años, usó fertilizantes orgánicos en diferentes tratamientos, donde el T3 que contiene 120-100-160 y 25g de MgO, 150g de azufre, 5g de boro, 0.5g de zinc, 0.25g de cobre y 1g de manganeso, presentó un rendimiento de 1298.3 Kg/ha en comparación con el tratamiento control con 697.34 Kg/ha. También, GOMEZ (2017) aplicó tratamientos con fertilizantes químicos y orgánicos, el rendimiento se benefició con las aplicaciones de los fertilizantes, el químico obtuvo un rendimiento de 1.35 y el orgánico con 1.27 t/ha.

Por su parte, ALVARADO (2016) realizó aplicaciones con nitrato de amonio (33.5% N), como fuente de nitrógeno, roca fosfórica (30%, P₂O₅, 40% CaO, 10% SiO) como fuente de fósforo, cloruro de potasio (60% K₂O, 45% Cl) como fuente de potasio, Bokashi como fuente de abono orgánico sólido y Biofer húmico como abono orgánico líquido, sobre el clon de cacao CATIE-RS6 obtuvo

en promedio de 1,322.03 kg/ha/año, pese a este buen rendimiento no hubo ningún efecto significativo de los tratamientos sobre los componentes de rendimiento analizados. En este caso, coincide con nuestro trabajo, ya que no encontramos diferencias significativas entre los tratamientos aplicados. También, ALCÍVAR y LOOR (2016) estudiaron la respuesta del cultivo de cacao a la aplicación de niveles de poda y fertilización química y orgánica. En contraste, se detectó diferencias significativas entre los tipos de fertilización, siendo la fertilización convencional la que mostró el mayor rendimiento con 20 qq/ha (920.6 kg/ha) de cacao seco, seguida de la fertilización orgánica con 16 qq/ha (736.48kg/ha).

Finalmente, la investigación no utilizó dosis adicionales a la requerida según el análisis de laboratorio, esta es una posible razón por lo que no se observó diferencias significativas en los diferentes parámetros evaluados, en particular el rendimiento, como si encontró GOMEZ (2017) y ALCÍVAR y LOOR (2016). La base de las dosis aplicadas se justifica en, PUENTES *et al.* (2016) encontró menor capacidad de producción de grano seco de cacao por unidad de nutriente a medida que la dosis fuera más alta (T4), cual sugiere que a mayor dosis disminuye la eficiencia fisiológica de uso de nitrógeno, fósforo y potasio de los clones. Además, el clon CCN51 de cinco años de edad, obtuvo el mayor rendimiento (2,020 kg ha⁻¹) en el tratamiento T1 con 25% adicional a la dosis de laboratorio, por lo cual se podría considerar más eficiente en comparación con los demás clones, ya que con menor dosis tuvo mayor producción.

VI. CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados de la investigación se concluye:

- 1) No se encontró diferencias significativas al efecto de los diferentes tratamientos y los diferentes grupos microbianos. La población media de bacterias aerobias viables, es equivalente a una población de 10^4 UFC/g de suelo, los lactobacillus están en el rango de 10^3 UFC/g de suelo, la población media de actinomicetos se encuentra en un rango de 10^4 a 10^5 UFC/g de suelo, los fungi en un rango de 10^3 UFC/g y la población de fijadores de nitrógeno en un rango de 10^3 UFC/g suelo. Considerado como suelos con baja población de microorganismos.
- 2) No se encontró diferencias significativas entre los tratamientos y el rendimiento, encontrándose medias de 860.405 kg/ha para T1, 1 056.955 para T4, 1 080 para T3 y 1 125 kg/ha para T2. los niveles de rendimiento son altos comparándolo con el rendimiento mundial y para Perú.
- 3) En general las evaluaciones muestran que la aplicación de compost (T2) presentó los mayores efectos sobre la población de los diferentes grupos microbianos y sobre el rendimiento del cacao. Asimismo, la aplicación del NPK (T3) mostró efectos contrarios, pues presentó los menores promedios en comparación con el T2 y el tratamiento control (T1).

VII. RECOMENDACIÓN

Las conclusiones del trabajo nos permiten recomendar:

- 1) Aplicar compost a razón de 3000 kg/ha para mejorar la población de microorganismos en el suelo y mejorar el rendimiento del cacao.
- 2) Evaluar los mismos parámetros en una línea de tiempo, para determinar la sustentabilidad del cultivo de cacao.
- 3) Incrementar las dosis de los tratamientos en 25, 50, 75 y 100% adicional a la dosis de laboratorio, para determinar la eficiencia de la aplicación sobre la variedad CCN-51, en condiciones de suelo ácido.

VIII. ABSTRAC

Cocoa (*Theobroma Cacao* L.) is of great economic importance for Peru, however, the appearance of diseases is affecting performance and research shows that the ability of the crop to tolerate diseases is linked to biological properties. Therefore, the objective was to evaluate the effect of compost and NPK on the population of microbial groups and on the production of cocoa in Padre Abad-Ucayali. " A randomized complete block design (DBCA) consisting of four treatments and four repetitions was used, where: T1 control, T2 compost (3 000 kg/ha), T3 NPK (84-35-161) and T4: compost (1 500 kg/ha) plus NPK (42-18-80). The population of: viable aerobes (plate count + mannitol 1%), Actinomycetes (actinomycetes agar + glycerin), Lactobacillus (robotic agar), Fungi (was evaluated using the plate count technique with serial dilutions (10⁻³ Sabouraud glucosado agar 4% + ceftriaxone) and the population of nitrogen fixatives (osha agar) and the yield of dry grain by manual collection. No differences were found between the treatments and the average population of viable aerobic bacteria, it is equivalent to 10⁴ CFU/g of soil, lactobacillus of 10³, actinomycetes in a range of 10⁴ to 10⁵, fungi in 10³ and the population of nitrogen fixatives in 10³ CFU/g soil. The yield did not present differences, it averaged 860.405 (T1), 1 056.955 (T4), 1 080 (T3) and 1 125 kg/ha for T2. It is concluded that the T2 had the greatest effects on the microbial population and the yield, in addition, the soils have a low population of microorganisms and the yields are high, comparing it with the world yield and for Peru.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTIERI M., HECHT S., LIEBMAN M., MAGDOFF F., NORGAARD R., y SIKOR T. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo. [Internet] Editorial Nordan–Comunidad,: [Citado el 17 de agosto del 2018]. Disponible en: <https://www.agroecologia.net/agroecologia-bases-cientificas-para-una-agricultura-sustentable/>
- ALTIERI, M., NICHOLLS C. 2008. Suelos saludables, plantas saludables: la evidencia agroecológica. Suelos vivos. LEISA revista de agroecología 24: 6-8
- ÁLVAREZ, F., ROJAS J., SUÁREZ J. 2015. Contribución de esquemas de fertilización orgánica y convencional al crecimiento y producción de *Theobroma cacao* L. bajo arreglo agroforestal en Rivera Huila, Colombia. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu. 16(2): 307-314. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v16n2/v16n2a12.pdf>
- ÁLVAREZ, S. J. D., ANZUETO M. M. 2004. Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. Agrociencia. Vol. 38 (01): 13-22.
- ALVARADO, C. A. 2016. Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica, en el rendimiento de un clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) y en la fertilidad del suelo. [Tesis]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 110pp. [Citado el 11 de enero del 2019].
- ALCÍVAR, V. J., LOOR V. M. 2016. Respuesta del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) a la poda y fertilización orgánica y química. [Tesis]. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. 62pp. [Citado el 21 de enero del 2019]. Disponible en: <pphttp://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/461/1/TA57.pdf>

- ARÉVALO, G. 2014. Dinámica de los indicadores de calidad del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao [Tesis]. Universidad Nacional Agraria La Molina. 2014: 132. [Citado el 10 de agosto 2018]. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/paucar/Arevalo%20dinamica%20calidad%20suelo%20caca.pdf>
- ARGÜELLO, N. A., MORENO R. L. Y. 2014. Evaluación del potencial biofertilizante de bacterias diazótroficas aisladas de suelos con cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) Acta Agron. Volumen 63 (03): 238 – 245.
- ÁVILA, P. D., CUENCA C. E. 2014. Estudio de la fertilización del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) nacional en suelos volcánicos de Quevedo. [Tesis]. Universidad Técnica de Manabí. 72 pp. [Citado el 10 de enero 2019]. Disponible en: <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/4465>
- BALDANI, V. 2007. Aislamiento, colonización e identificación de bacterias diazotróficas en plantas de arroz (*Oryza sativa*). En: Segundo curso internacional microorganismos promotores del crecimiento vegetal: rizobacterias y solubilizadores o movilizadores de fosfatos. Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia–IBUN
- BRIMECOMBE, M., De LELJ F., LYNCH J. 2001. The Rhizosphere. The Effect of Root Exudates on Rhizosphere Microbial Populations. In: R Pinton; Z Varanini & P Nannipieri (eds.). The Rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface. Marcel Dekker, New York, pp 95-140.
- CÁCERES, D. 2003. Agricultura Orgánica versus Agricultura Industrial: Su relación con la diversificación productiva y la seguridad alimentaria. Agroalim.; 8(16):29-39. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542003000100002
- CHARVET, E. 2012. Análisis comparativo de agricultura orgánica con agricultura convencional - Estudio de caso del cultivo de brócoli. [Tesis] Pontificia Universidad

- Católica del Ecuador. 2012:107. [Citado el 05 de marzo 2018]. Disponible en:
<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/5180>
- CORREA, O. S. 2016. Aportes de la microbiología a la producción de cultivos. Tercera jornada del instituto de investigaciones en biociencias agrícolas y ambientales. Agosto 2016: 11p. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/306960003_LOS_MICROORGANISMOS_DEL_SUELO_Y_SU_ROL_INDISCUTIDO_EN_LA_NUTRICION_VEGETAL
- COYNE, M. 2000. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Editorial Paraninfo ITP an International Thomson Publishing Company. Madrid España. pp 416.
- DI CIOCCO, C. A., SANDLER R. V., FALCO L. B., COVIELLA C. E. 2014. Actividad microbiológica de un suelo sometido a distintos usos y su relación con variables físico- químicas. Rev. FCA UNCUYO. Vol.46(01) 73-85.
- DOSERT, N., ROQUE J., CANO A., La TORRE M. y WEIGEND M. 2012. Hoja Botánica Cacao: Theobroma cacao L. Lima, Perú: Giacomotti Comunicación Gráfica S.A.C.
- ENRÍQUEZ, G. 2010. Cacao orgánico: Guía para productores ecuatorianos. 2 ed. Quito. EC. 407 p.
- FLORIDA, R., LÓPEZ C., POCOMUCHA P. 2013. Efecto del herbicida paraquat y glifosato en propiedades del suelo que condicionan el desarrollo de bacterias y fungi. Investigación y Amazonía. 2 (1-2): 35-43
- FURCAL, B. P. 2017. Extracción de nutrientes por los frutos de cacao en dos localidades en Costa Rica Parménides. Agron. Mesoam. 28(1):113-129. Disponible en:
<http://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v28n1/43748637008.pdf>
- GÓMEZ, A. P. I. 2017. Validación de dos opciones de fertilización en el cultivo de cacao (Theobroma Cacao L.). [Tesis]. Universidad de Guayaquil. 86pp. [Citado el 19 de enero del 2019]. Disponible en:
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/21560/1/G%C3%B3mez%20Alvarado%20Pablo%20lv%C3%A1n.pdf>

- GONZÁLEZ, J. Y. T. 2010. Los actinomicetos: Una visión como promotores de crecimiento vegetal. [Tesis]. Pontificia Universidad Javeriana. 37pp. [Citado el 21 de enero del 2019]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8665/tesis618.pdf;sequence=1>
- GLIESSMAN, S. 2002. Agroecología, procesos ecológicos en agricultura sostenible. Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- HUANSI, P. A. T. 2011. Evaluación de la microflora del suelo durante el proceso de preparación tradicional de una chacra, en un bosque secundario de Zungarococha, Iquitos, Perú. [Tesis]. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 69pp. [Citado el 12 de enero del 2019]. Disponible en: <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2017/T-577-57-H83.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- HE, Z.; YANG, X.; BALIGAR, V.; CALVERT, D. 2003. Microbiological and biochemical indexing systems for assessing quality of acid soils. *Advances in Agronomy* 78: 89-133
- HUERA. P. M., NIETO C. C. 2018. Respuesta del cacao a la aplicación del fertilizante “full cacao” en comparación con la fertilización convencional en Pangua. Tesis. obtención del Título de Ingeniero Agrónomo. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR 78 pp. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/15195>
- INTA. 2010. Guía Tecnológica del Cultivo de Cacao (*Theobroma cacao* L.) (4ta ed). Managua, Nicaragua.
- LUDEÑA, D. V. 2013. Efecto de la fertilización orgánica y microelementos en el rendimiento de cacao CCN51 (*Theobroma cacao* L.) en Jaén. [Tesis]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 69 pp. [Citado el 05 de enero 2019].

- LUNA, F. M., MESA R. J. R. (2016). Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. Revista científica Agroecosistemas. Vol. 4 (02): 31-40. Disponible en: <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>
- MORA, J. 2006. La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. Revista Luna Azul. Universidad de Caldas, Manizales - Colombia
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO-MINAGRI. 2016. Estudio del CACAO en el Perú y en el Mundo; Situación Actual y Perspectivas en el Mercado Nacional e Internacional al 2015. MINAGRI-DGPA-DEEIA, pp 86
- ORDOÑEZ T. S. L. 2005. "Diversidad de las comunidades de bacterias y hongos en suelos de cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.) y café (*Coffea arábica*) bajo manejo orgánico y convencional. [Tesis]. Universidad de Cuenca. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27208>
- OTERO J. V. 2011. Aislamiento, Selección e Identificación de Actinomicetos, Bacterias Fotosintéticas No Sulfurosas y Bacterias Ácido Lácticas con Potencial Biofertilizante, a Partir de Suelos Asociados al Cultivo de Plátano en la Costa Atlántica Colombiana. [Tesis]. Universidad Nacional de Colombia. 161pp. [Citado el 11 de enero del 2019]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/5324/1/vanessaoterojimenez.2011.pdf>
- PAHUARA H. D., ZÚÑIGA D. D. 2001. Efecto del fosforo sobre la población microbiana en suelos con pasturas en la zona altoandina de Junin. Ecología Aplicada. Vol 1(01): 57-64. Disponible en: <http://www.lamolina.edu.pe/ECOLAPL/Art%C3%ADculo%209.pdf>
- PICHARDO, B. 2006. La revolución verde en México. Rev. Agraria, São Paulo. (4): 40-68. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/757/75749288011/>.
- PUENTES, P. Y., MENJIVAR F. J. C., ORTÍZ C. A. 2016. Eficiencia fisiológica de uso de NPK en clones autoincompatible y autocompatible de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. Vol. 7 (01) Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/857/85731100004.pdf>

- ROMERO, H. 2016. Evaluación ecomorfológica de cacao (*Theobroma cacao* L.) sometido a distintas fertilizaciones, en la comunidad de nuevo Ojital, municipio de Papantla, Veracruz. [Tesis]. Universidad Veracruzana. 2016: 109. [Citado el 15 de agosto 2018]. Disponible en: <file:///C:/Users/Usuario/Desktop/paucar/EVALUACIÓN%20ECOMORFOLÓGICA%20DE%20CACAORomeroHernandezEsteban.pdf>
- SÁNCHEZ, F., LUIS E., PARRA D., GAMBOA E., RINCÓN J. 2005. Rendimiento de una plantación comercial de cacao ante diferentes dosis de fertilización con NPK en el sureste del estado Táchira, Venezuela. *Bioagro*. vol. 17 (02): 119-122
- SALAZAR, L. A. M, ORDOÑEZ G. C. A., HERNÁNDEZ S. D., CASTAÑO P. L. M., PEÑA P. K., RODRÍGUEZ N. J. R., BUENO L. L. 2014. Actinomicetos aislados del suelo del Jardín botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia et Technica*. Vol. 19 (02): 223 -229.
- SORIANO, B., SORIANO E. 2010. Degradación de pesticidas por Actinomicetos. *UCV Scientia*. Vol. 2 (01): 34-37. Disponible en: <file:///C:/Users/Downloads/Dialnet-DegradacionDePesticidasPorActinomicetos-6181506.pdf>
- TUESTA, P. A., TRIGOZO B. E., CAYOTOPA T. J., ARÉVALO G. E., ARÉVALO H. C., ZÚÑIGA C. L., LEON T. B. 2017. Optimización de la fertilización orgánica e inorgánica del cacao (*Theobroma Cacao* L.) con la inclusión de *Trichoderma* endófito y Micorrizas arbusculares. *Tecnología en Marcha*. Vol. 30 (01): 67-78.
- ULACIO, D., NASS H., PINEDA J., CARRASCO A. 1998. Viabilidad de *Rhizoctonia solani* Kuhn AG1-IA bajo condiciones de inundación. Micoflora asociada al patógeno en tejido de *Oryza sativa*.

X. ANEXOS



Figura 04. Parcela experimental



Figura 05. Panel y distribución del área experimental



Figura 06. Identificación de los tratamientos y repeticiones



Figura 07. Cosecha de los tratamientos y repeticiones



Figura 08. Evaluación del rendimiento por cada tratamiento



Figura 09. Preparación de muestras de suelo para análisis microbiológico