

OPTIMIZACIÓN DEL USO Y PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTE Y
COMPOST IMPLEMENTADO EN FINCA LA VIRAYÁ EN EL MUNICIPIO DE
VISTA HERMOSA, META



LAURA NATHALY BECERRA GONZALEZ
LAURA ESTEFANIA SANCHEZ AZUERO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO
2022

OPTIMIZACIÓN DEL USO Y PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTE Y
COMPOST IMPLEMENTADO EN FINCA LA VIRAYÁ EN EL MUNICIPIO DE
VISTA HERMOSA, META

LAURA NATHALY BECERRA GONZALEZ
LAURA ESTEFANIA SANCHEZ AZUERO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Profesional en Ingeniería
Ambiental

Asesor
ALFONSINA BOCANEGRA GOMEZ
Geóloga

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2022

Autoridades Académicas

P. JOSÉ GABRIEL MESA ANGULO, O. P.

Rector General

P. EDUARDO GONZÁLEZ GIL, O. P.

Vicerrector Académico General

P. JOSE ANTONIO BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Sede Villavicencio

P. RODRIGO GARCÍA JARA, O. P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. JULIETH ANDREA SIERRA TABÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

WILLIAM PEÑARANDA ZÁRATE

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Dedicatoria

A la persona que le debo todo, mi mamá María Janeth, por tenerme en sus oraciones, por su amor incondicional, por su lucha y esfuerzo para que yo saliera adelante. A mi papá José Orlando por incitarme a ser profesional, por crear bases resistentes en mí, por estar presente en mi vida. A mi compañero de vida Edgar Eliecer por su amor, entrega y apoyo en parte de mi bachillerato y a lo largo de mi carrera. A mis hermanos Carlos Eduardo y Sandra Viviana por el ejemplo, impulso y enseñanzas

Laura Nathaly Becerra González

Para mi madre Yaquelinne Azuero Pardo, quien siempre me ha apoyado incondicionalmente, ha creído en mis capacidades y me ha incentivado a ser la mejor versión de mí misma; para mi padre Oscar Alirio Sánchez Burgos, por darme su cariño y atención en los momentos en que más lo he necesitado; para mi mascota Mini, quien llena mi vida de alegría con su inocencia y nos ha dado a mí y a mi familia momentos inigualables, pero principalmente para mi hermano Oscar Eduardo Sánchez Azuero, quien es el motivo de todo aquello que anhelo lograr y a quien espero poder apoyar y enorgullecer toda mi vida.

Laura Estefanía Sánchez Azuero

Agradecimientos

Le doy gracias a Dios por brindarme la sabiduría y la fortaleza para culminar mi carrera, por protegerme de todo mal y peligro e iluminarme todos los días durante el camino a la Universidad, por mi salud y la de las personas que me rodean. A la Universidad Santo Tomás, sede Villavicencio por permitirme conocer personas increíbles que aportaron conocimientos académicos y lecciones personales en mi vida.

Laura Nathaly Becerra González

Agradezco a mi compañera Laura Nathaly Becerra González, por acompañarme en el desarrollo de este proyecto tanto como amiga como colega. A nuestra directora Alfonsina Bocanegra por su bondad y acogida la cual fue indispensable para finalizar la investigación. Y a la Universidad Santo Tomas por medio de la Facultad de Ingeniería Ambiental, al brindarme la oportunidad de desarrollar mis capacidades académicas, darme las herramientas para desempeñarme en el campo de la Ingeniería, permitirme conocer distintas perspectivas alrededor del mundo e incentivarme un amor profundo por la ciencia y la investigación.

Laura Estefanía Sánchez Azuero

Contenido

	Pág.
Resumen	12
Abstract.....	13
Introducción.....	14
1. Objetivos	16
1.1. Objetivo general	16
1.2. Objetivos específicos.....	16
2. Antecedentes	17
3. Marco de referencia.....	19
3.1. Marco teórico	19
3.2. Marco conceptual	19
3.3. Marco legal.....	21
4. Metodología.....	23
4.1. Primera fase: caracterización y descripción de las propiedades fisicoquímicas del suelo.....	23
4.2. Segunda fase: determinación del aporte de nitrógeno total y materia orgánica otorgado por el biofertilizante y compost.	27
4.3. Tercera fase: ajustes requeridos para el uso y producción del biofertilizante y compost con el fin de asegurar los parámetros del suelo evaluados.....	27
5. Análisis y discusión de resultados.....	29
5.1. Caracterización y descripción de las propiedades físicas del suelo	31
5.1.1 Color	31
5.1.2 Textura	31
5.1.3 Humedad.....	33

5.1.4	Densidad aparente y real	34
5.2.	Parámetros iniciales de materia orgánica y nitrógeno total del suelo	36
5.3.	Aportes de materia orgánica y nitrógeno total de los bioinsumos	38
5.3.1	Biofertilizante	38
5.3.2	Compost	38
5.4.	Dosis optima teórica de los bioinsumos.....	40
5.4.1	Relación aporte/requerimiento teórico.....	40
5.5.	Relación y aporte real de la dosis de biofertilizante/compost respecto a los valores de nitrógeno total y materia orgánica	40
5.5.1	Proceso actual de biofertilización	40
5.5.2	Dosis optima de biofertilizante/compost	47
5.5.3	Aporte real de la dosis de biofertilizante/compost.....	49
5.5.4	Relación aporte/requerimiento real.....	51
6.	Impacto social y humanístico del proyecto	52
7.	Conclusiones	53
8.	Recomendaciones	55
9.	Referencias	56
10.	Anexos	63

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Normativa relacionada al proyecto	21
Tabla 2 Análisis físicos del suelo: equipos, materiales y método.....	24
Tabla 3 Características generales del suelo de la finca La Virayá (IGAC, 2022)	29
Tabla 4 Color del suelo respecto a la notación de (Munsell, 2019).....	31
Tabla 5 Textura del suelo.....	32
Tabla 6 Contenido de agua del suelo en porcentaje de humedad	33
Tabla 7 Densidad aparente del suelo.....	34
Tabla 8 Densidad real del suelo	34
Tabla 9 Influencia de la densidad aparente del suelo respecto al crecimiento óptimo de las plantas (USDA, 2022)	35
Tabla 10 Parámetros iniciales de materia orgánica y nitrógeno total del suelo	36
Tabla 11 Estimativos de nitrógeno total y materia orgánica del suelo (Frye, 1972)	36
Tabla 12 Aporte de materia orgánica y nitrógeno total del biofertilizante	38
Tabla 13 Aporte de materia orgánica y nitrógeno total del compost	38
Tabla 14 Parámetros óptimos del compostaje (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).....	39
Tabla 15 Requerimiento teórico del suelo	40
Tabla 16 Descripción de la metodología empleada para la producción de biofertilizante	41
Tabla 17 Descripción de la metodología empleada para la producción de compost	44

Tabla 18 Análisis de varianza de la dosis de biofertilizante y compost respecto a los parámetros de materia orgánica y nitrógeno total del suelo. 47

Tabla 19 Prueba de comparación de medias de Tukey respecto a los tratamientos biofertilizante/compost 48

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Diagrama ilustrativo de los antecedentes	18
Figura 2 Mapa de los suelos del municipio de Vista Hermosa, Meta	30
Figura 3 Termino textural de la muestra de suelo obtenida en finca La Virayá.....	32
Figura 4 Diagrama de procesos - Producción de biofertilizante.....	43
Figura 5 Diagrama de procesos - Producción de compost.....	46
Figura 6 Gráfica de la incidencia del biofertilizante en el compost respecto a los parámetros del suelo evaluados.	49
Figura 7 Gráfica de la incidencia del compost en el biofertilizante respecto a los parámetros del suelo evaluados.	50
Figura 8 Localización geográfica y área de influencia del proyecto	63
Figura 9 Esquema de siembra de palma africana en finca La Virayá.....	68
Figura 10 Esquema in situ de la aplicación de los tratamientos del diseño experimental	69

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo 1 Área del desarrollo del proyecto	63
Anexo 2 Mapa de la distribución de los puntos establecidos para el muestreo de suelo	64
Anexo 3 Tabla de formulas.....	65
Anexo 4 Mapa de los paisajes geomorfológicos del municipio de Vista Hermosa, Meta	67
Anexo 5 Diseño experimental de parcelas divididas	68
Anexo 6 Tabla de resultados de los parámetros de porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total respecto a los tratamientos aplicados.....	69

Resumen

La degradación de los suelos constituye una de las problemáticas ambientales que presentan su origen en las técnicas convencionales de agricultura, en donde el empleo de insumos de origen químico altera el equilibrio de los ecosistemas al modificar las propiedades de los recursos naturales, por lo que en la actualidad el empleo de procesos de fertilización basados en la aplicación de insumos de origen orgánico como son los biofertilizantes y el compost constituyen una alternativa para reducir el uso excesivo de agroquímicos. En finca La Virayá ubicada en el municipio de Vista Hermosa, Meta, la producción de palma africana (*Elaeis guineensis*) junto con el manejo inadecuado de los suelos ha creado la necesidad de sustituir la fertilización química por un proceso biofertilización experimental del cual se desconocían las propiedades de los bioinsumos empleados y el efecto que tienen sobre el componente suelo. Por ende, el presente proyecto de investigación llevo a cabo el estudio de los parámetros fisicoquímicos del suelo, así como la caracterización de las propiedades aparentes de los bioinsumos respecto a la relación aporte/requerimiento de materia orgánica y nitrógeno total otorgado por los mismo, estableciendo la dosis optima de biofertilizante/compost para cada ejemplar de palma africana, correspondiendo a 15 litros de biofertilizante y $\pm 6,5$ arrobos de compost, al considerar su biodinámica en el suelo, los requerimientos nutricionales del cultivo y los factores medioambientales del entorno, e indicando recomendaciones pertinentes para un óptimo desarrollo de la producción del biofertilizante lo que permite asegurar la continuidad del proceso y con ello la optimización de su uso y producción.

Palabras Clave: Materia orgánica, nitrógeno total, biofertilizante, compost, agroquímico, bioinsumo.

Abstract

Soil degradation is one of the environmental problems caused by conventional agricultural techniques, where the use of inputs of chemical origin alters the balance of ecosystems, modifying the properties of natural resources, so currently the use of fertilization processes based on the application of inputs of organic origin such as biofertilizers and compost are an alternative to reduce the excessive use of agrochemicals. On farm La Virayá located in the municipality of Vista Hermosa, Meta, the production of african palm (*Elaeis guineensis*) along with inadequate soil management has created the need to replace chemical fertilization with an experimental biofertilization process of which the properties of the bioinputs used and the effect they have on the soil component were unknown. Therefore, the present research project carried out the study of the physico-chemical parameters of the soil, as well as the characterization of the apparent properties of the bioinputs with respect to the contribution/requirement ratio of organic matter and total nitrogen granted by the same, establishing the optimal dose of biofertilizer/compost for each african palm, corresponding to 15 liters of biofertilizer and ± 6.5 arrobas of compost, considering its soil biodynamic, crop nutritional requirements and environmental factors, and indicating relevant recommendations for the optimal development of the production of the biofertilizer, which ensures the continuity of the process and thus the optimization of its use and production.

Key Word: Organic matter, total nitrogen, biofertilizer, compost, agrochemical, bio-input.

Introducción

A nivel mundial, el cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis*) resulta de gran importancia para el desarrollo agrícola de las regiones en donde se cultiva, por lo que representa un avance significativo para la economía de América Latina. Sólo en Colombia, para el año 2020, se estimaron aproximadamente 590.189 hectáreas sembradas, distribuidas en 21 departamentos y 162 municipios, posicionando al país como el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primero en América (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, 2020). Aun así, desde el año 2015 se registra que al menos el 40% del suelo destinado para cultivo presenta diversos grados de erosión y pérdida de nutrientes (AGROSAVIA, 2022) como consecuencia de las malas prácticas agrícolas, como lo son el uso excesivo de agroquímicos, riego y sobreexplotación del suelo, remoción de la cobertura vegetal y técnicas de monocultivo, que al interactuar con las condiciones meteorológicas propias del territorio, implica diversos efectos sobre los procesos ecosistémicos (Pennock, 2016). En Colombia, el modelo agrícola de monocultivo favorece el avance de la industria agroquímica, la cual en términos de desarrollo sostenible no es viable, ya que sus impactos ambientales, requerimientos económicos y daños en la salud de las poblaciones no es menor a sus beneficios (Eugenia, McLaughlin, & Pennock, 2019). Por ello, se pactó el Acuerdo de Producción de Palma Sostenible, y al ser la primera nación de América del Sur en asumir el acuerdo, conscientes de la necesidad de desarrollar la agroindustria en armonía con la conservación de la biodiversidad y el medio ambiente que le habita, Colombia se torna en potencia global en la producción de aceite de palma sostenible, resaltando en el mercado internacional (Espinosa *et al.*, 2021).

Para el caso de la Orinoquia colombiana, específicamente la altillanura plana del departamento del Meta y Vichada, la cual se compone de un área de 2,7 millones ha, posee una ocupación del 57% de la cobertura empleada para uso agrícola (Rodríguez *et al.*, 2013). No obstante, dicha región representa un alto potencial agrario siempre y cuando se lleve bajo técnicas de manejo de suelos establecidas y comprobadas, debido a que naturalmente presentan baja fertilidad química, alta acidez y baja cantidad de materia orgánica mineralizable, por lo que el aporte de nitrógeno a las plantas es reducido, comprometiendo el desarrollo de la cobertura vegetal tanto natural como introducida (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014). El

municipio de Vista Hermosa, Meta posee un área de 4.084 km² de los cuales el 75% corresponde a zona rural; aquellos suelos destinados a la producción agrícola (aproximadamente 79.728 ha) evidencian un manejo inadecuado vinculado al uso intensivo de agroquímicos (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014) empleados para el incremento de la producción del cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis*) a fin de suplir su demanda.

Con el propósito de reducir el uso de estos insumos sin dejar de lado el objetivo de incrementar la producción del cultivo, en la finca palmera La Virayá se desarrolla un proceso de biofertilización, los cuales, según Mayoral, Labandera, & Sanjuán, (2020) se presentan como una de las mejores alternativas en la reducción del uso de agroquímicos, al permitir que la vegetación obtenga nutrientes como el nitrógeno, de tal manera que sean los microorganismos los encargados de suministrarlo. El implementar un proceso de biofertilización en cualquier cultivo resulta una estrategia eficaz para el aumento de la fertilidad natural, la fijación del nitrógeno y la conservación de la materia orgánica (Grageda *et al.*, 2012) al contribuir en el balance y funcionalidad del suelo. Es importante mencionar que el estudio de las propiedades de aquellos insumos de origen orgánico empleados en los procesos de biofertilización son cruciales a la hora de estimar sus posibles efectos sobre el medio ambiente (Inamuddin, Mohd Imran Ahamed, & Rajender Boddula Ma, 2021), por lo cual este proyecto busca evaluar el aporte real de los bioinsumos, así como las necesidades actuales del suelo, estimando su efectividad respecto a parámetros establecidos y determinando tanto la dosis óptima de biofertilizante/compost, como las acciones requeridas para su optimización y uso continuo.

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Optimizar el uso y producción de biofertilizante y compost implementado en la finca La Virayá localizada en el municipio de Vista Hermosa, Meta respecto a la relación aporte/requerimiento de materia orgánica y nitrógeno total otorgado por los bioinsumos suministrados en el suelo destinado para el cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis*).

1.2. Objetivos específicos

Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del suelo destinado a la producción de palma africana (*Elaeis guineensis*) en finca La Virayá del municipio de Vista Hermosa, Meta.

Identificar el aporte de materia orgánica y nitrógeno total otorgado por el biofertilizante y compost.

Establecer los ajustes requeridos para la optimización del uso y producción del biofertilizante y compost por medio de un diseño experimental el cual permita calcular la dosis optima de los bioinsumos.

2. Antecedentes

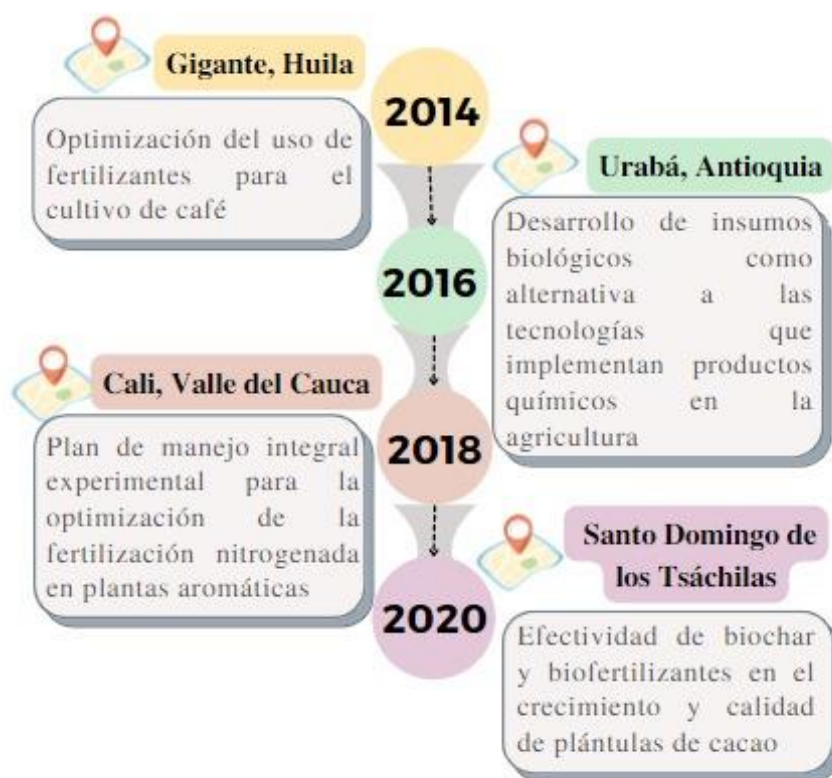
Durante el año 2014 en Gigante municipio del departamento del Huila, surgió la necesidad de estudiar la optimización del uso de fertilizantes para el cultivo de café; se utilizó como metodología la programación lineal necesaria para suplir los requerimientos del cultivo en pro de su óptimo rendimiento, esta metodología permitió utilizar fuentes nutricionales disponibles en la zona tales como cloruro de potasio, sulfato de fosfato, sulfato de amonio, urea y sulfato de magnesio; de esta manera se redujo los costos de producción (Bedoya Cardoso & Salazar Moreno, 2014).

El desarrollo de insumos biológicos como alternativa a las tecnologías que implementan productos químicos en la agricultura se muestra como una ventana de desarrollo de proyectos de ingeniería. La Universidad EAFIT y la Asociación de Bananeros de Colombia (AUGURA) impulsa la producción de un bioinoculante cuyo ingrediente activo corresponde a la cepa *Bacillus subtilis* aislada en el Urabá Antioqueño. A fin de emitir resultados sobre el proceso de producción promisorio a su comercialización, se estandarizan sus respectivas etapas productivas las cuales son evaluadas con base a cuatro propiedades fisicoquímicas mediante la metodología planteada en las Normas Técnicas Colombianas (NTC 439, 5527) y las especificaciones de la resolución 698 del 2011 establecidas por el ICA, quienes establecen el inoculante como un producto que cumple con los criterios de aceptación (Montoya, 2016).

Las estrategias establecidas para el empleo de procesos de fertilización a base de insumos orgánicos permiten el avance de investigaciones destinadas para la optimización de dichos procesos. Por ello, Martha Daza ingeniería agrícola MSc, como parte de su tesis doctoral en la Universidad del Valle – Colombia, propuso un plan de manejo integral experimental para la optimización de la fertilización nitrogenada en plantas aromáticas, el cual consiste en el análisis de la aplicación de un fertilizante orgánico de liberación lenta, como la urea, respecto a la curva de mineralización de la materia orgánica, principalmente vinculada en la liberación de nitrógeno soluble para las plantas. Como resultado se estimó la dosis nitrogenada adecuada en razón al aporte del fertilizante y el requerimiento de las plantas indicado por la curva de mineralización para cada especie aromática (Daza, 2018).

Durante el año 2020 en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador se evaluó la efectividad de Biochar y biofertilizantes para el crecimiento, además de la calidad de las plántulas en un cultivo de cacao; la metodología implementada sugirió cinco tratamientos, los cuales se conformaron de la siguiente manera: T1 Biochar, T2 Biochar + biofertilizante, T3 biofertilizante, T4 fertilizante compuesto, T5 tratamiento control; es importante mencionar que el diseño fue realizado al azar con un total de cuatro replicas. El estudio se efectuó en veinte plántulas durante un período de cuatro meses, obteniéndose variables de masa seca de planta (gr), área foliar (cm²) e índice de calidad de Dickson. El estudio concluyó que al combinar Biochar y biofertilizantes es posible potenciar el crecimiento y la calidad de plántulas de cacao (Chávez, Echeverría Arangundi, & Echeverría Arangundi, 2020).

Figura 1 Diagrama ilustrativo de los antecedentes



3. Marco de referencia

3.1. Marco teórico

Parte del sector agrícola se ha unido para contrarrestar los problemas ambientales del componente suelo presentes en la actualidad, causados por el desconocimiento de las consecuencias a largo plazo de las malas prácticas agrícolas como lo es el uso en exceso de fertilizantes de procedencia química; por ello, se ha ampliado el contexto informativo para el desarrollo de alternativas consideradas dentro de la agricultura sostenible, dichas alternativas, se fundamentan en disminuir su impacto ambiental, reducir los costos, aumentar la eficiencia, los atributos del cultivo y que su empleo y requerimientos técnicos sean mínimos (Afanador Barajas, 2017).

Bioteχνologías como los procesos de biofertilización los cuales consisten en la aplicación de sustancias con componentes de origen orgánico al suelo encaminadas a la fertilización, preparación y productividad (Mayoral, Labandera, & Sanjuán, 2020) surgen como una alternativa para la reducción de los impactos ambientales y el aprovechamiento de los recursos disponibles en el campo (Afanador Barajas, 2017), representando una ventaja a nivel económico, ecológico y productivo para los agricultores (Kumar, R *et al.*, 2017).

De todas formas, el desarrollo de procesos de biofertilización evidencia limitaciones a la hora de evaluar su aplicación ya que deben contribuir a una producción sostenible tanto en pequeñas como en grandes escalas, por lo que el éxito de su aplicación se relaciona con el control de los parámetros implicados en el proceso (Afanador Barajas, 2017).

3.2. Marco conceptual

Entrando en contexto, **el suelo** es un sistema natural a partir de la mezcla de minerales y materia orgánica, esta mezcla contribuye a la formación de perfiles, permitiendo el suministro de nutrientes necesarios para las plantas; las características y/o propiedades se establecen gracias a la acción de agentes climáticos y bióticos, estos actúan sobre los materiales geológicos,

acondicionados por el relieve y el drenaje durante un periodo de tiempo indeterminado (Loaiza, 2010); por tanto, el **suelo agrícola** se denominaría como aquel que se utiliza en el ámbito de la productividad para hacer referencia a un determinado tipo de suelo que es apto para todo tipo de cultivos y plantaciones, es decir, para la actividad agrícola o la agricultura. (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018). **La producción agrícola** se define como la actividad económica destinada a la obtención de alimentos tales como cereales, vegetales, entre otros (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018), pero, la **agroindustria** es aquella actividad económica por medio de la cual se producen, transforman y comercializan los productos de origen agrícola (Navarro, 2016); entonces al **cultivo o producto agrícola** se le considera a las plantas sometidas a un conjunto de técnicas desarrolladas desde el proceso de inserción de semillas en la tierra hasta obtener el producto final (Bembibre, 2022). Para el caso de Colombia, de acuerdo con el PIB agrícola, los principales sectores de producción están dados por cultivos encaminados a productos como: flores, plátano, café, azúcar, arroz, papa y aceite de palma. **La Palma africana (*Elaeis guineensis*)** es una especie de palma procedente de África, cuyo fruto es apetecido en la región por la rentabilidad para la producción de aceite empleado como materia prima para cosméticos, alimentos y biocombustible, etc. (Navas, 2001).

Por otra parte, los insumos más apetecidos para la agroindustria destinados a la prevención o control de plagas y al suministro de nutrientes al suelo (**fertilización**) (Navarro & Navarro, 2014) son los **agroquímicos**, productos de origen químico también conocidos como fitosanitarios o plaguicidas los cuales permiten la producción satisfactoria de cualquier planta o cultivo en general (Flores, 2015). Sin embargo, durante los últimos años han sido evidentes las problemáticas ambientales relacionadas al uso de estos (Ucha, 2010), resultando en estudios planteados sobre las alternativas a su aplicación, como los **bioinsumos**. Descritos como productos de origen orgánico (elaborados a partir de bacterias, hongos, virus, insectos o extractos naturales) (Whela, 2018).

Dentro de estos bioinsumos se encuentran los **biofertilizantes**, que son aquellos insumos elaborados a partir de la inoculación de microorganismos, cuya función consiste en aportar nutrientes y protección a las plantas. Estos microorganismos están presentes en el suelo de manera natural, pero se ven afectados por el empleo de productos químicos además del uso

inadecuado del suelo (Grageda-Cabrera, Díaz-Franco, Peña-Cabriaes, & Vera-Nuñez, 2012); de la misma forma, **el compost** corresponde a los insumos de origen orgánico elaborados para el incremento de la materia orgánica del suelo y naturalmente contribuye a la mejora de la eficiencia de los fertilizantes debido al aporte de minerales como nitrógeno, fósforo, hierro, potasio y manganeso (Bohórquez Santana, 2019). Por ende, la **materia orgánica** es el producto de la descomposición de animales, plantas y sus respectivos residuos en el suelo, aportando al ciclo biológico del carbono, el cual recircula a la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO₂). Por otra parte, **el nitrógeno** (N) se transforma en la forma amónica (NH₄⁺) y finalmente es oxidado a nitrato (NO₃) (Gines & Navarro, 2014), resultando fundamental para todos los seres vivos al ser parte del grupo de los macronutrientes y un compuesto de las proteínas presentes en la mayor parte de las combinaciones orgánicas de los vegetales. El nitrógeno es el factor limitante más relevante para el crecimiento de las plantas, por lo que la carencia de su suministro compromete la producción vegetal (Benimeli, y otros, 2019).

3.3. Marco legal

El conocimiento de la normativa legal vigente a nivel nacional relacionada con la temática a trabajar es de suma importancia para la planeación y/o ejecución de cualquier investigación; a continuación, se encuentra las normas pertinentes al proyecto:

Tabla 1 Normativa relacionada al proyecto

Norma	Aplicabilidad	Pertinencia
NTC 5167	Toda la norma	Establece los requerimientos mínimos y las pruebas o ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas o acondicionadores de suelo.
Resolución 00375 de 2014	Artículos 1, 2, 3, 17, 18, 19, 20, 39, y 40	Se dictan disposiciones sobre registro y control de los bioinsumos y extractos vegetales de uso agrícola en Colombia.
Resolución 68370 de 2020	Artículos 1, 2, 3, 24 y 25	Ordena los requisitos necesarios de registro para: productor, productor por contrato, envasador, importador y departamentos técnicos de ensayos de eficacia agronómica en bioinsumos para uso agrícola y del producto como tal.

Tabla 1*Continuación*

NTC 4113	Toda la norma	Establece los principios generales que se deben aplicar en el diseño de programas de muestreo para el propósito de caracterizar y controlar la calidad del suelo.
Resolución 3079 de 1995	Artículos 1, 2, 3, 9, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 27, 29, y 33	Se dictan disposiciones sobre la industria, comercio y aplicación de bioinsumos y productos afines, así como de abonos o fertilizantes, enmiendas, acondicionadores del suelo y productos afines; plaguicidas químicos, reguladores fisiológicos, coadyuvantes de uso agrícola y productos afines.
NTC 11464	Toda la norma	Especifica el tratamiento previo requerido para muestras de suelo sometidas a análisis fisicoquímicos describiendo los cinco tipos de pretratamiento para muestras: secado, triturado, tamizado, división y molienda.
NTC 6230	Toda la norma	Establece la metodología para determinar la humedad del suelo.
NTC 6299	Toda la norma	Establece la metodología para la determinación de la textura en suelos por Bouyoucos, en el laboratorio bajo diferentes métodos. La elección del método para determinar la textura dependerá principalmente del tipo de equipo que posee el laboratorio para la dispersión de la muestra.
NTC 5264	Toda la norma	Se establece la metodología para determinar pH en muestras de suelo.
NTC 5403	Toda la norma	Se establece la metodología para determinar carbono orgánico en suelo a través de métodos de oxidación seca y húmeda.

4. Metodología

A continuación, se describe el método establecido para la optimización del uso y producción de biofertilizante y compost implementado en finca La Virayá. Para ello, la metodología se ha dividido en tres fases correspondientes a las actividades relacionadas con los objetivos planteados para el proyecto.

4.1. Primera fase: caracterización y descripción de las propiedades fisicoquímicas del suelo.

Reconocimiento de la zona de estudio: la visita de campo inicial se destina para las actividades de reconocimiento de la finca, el área y características del cultivo, así como el área de producción de los bioinsumos empleados en el proceso de biofertilización, seguido de su respectiva delimitación y georreferenciación.

Selección del tipo de muestreo: de acuerdo con la NTC 4113 - 1, correspondiente a la guía para el diseño de programas de muestreo se establece que el patrón indicado para muestrear un terreno destinado para la agricultura es el patrón no sistemático o muestreo irregular mediante la forma de “Zig Zag” que a su vez establece la distribución de veinticinco (25) puntos a lo largo del área cultivable permitiendo obtener una muestra compuesta.

Identificación del tipo de muestra: la NTC 4113 – 2 como guía sobre técnicas de muestreo, establece que las muestras compuestas tomadas para la evaluación de la calidad global o la naturaleza del terreno se catalogan como muestras disturbadas o en partículas sueltas, así mismo el método básico para la toma de muestras en terrenos agrícolas requiere del empleo de un barreno manual para la extracción de cada submuestra. Al considerarse el área de muestreo, el tipo de muestreo, la cantidad de submuestras requeridas y el método de muestreo a realizar, se georreferencia la distribución de los puntos establecidos para el muestreo **Ver: Anexo 2.**

Toma de submuestras: mediante los puntos georreferenciados se localiza con un dispositivo GPS las coordenadas correspondientes a cada uno en el área de cultivo; una vez identificado el punto para la extracción de la submuestra, se limpia la cobertura vegetal, se

introduce el barreno a una profundidad de 10 - 20 cm haciéndolo girar hasta obtener una muestra de aproximadamente 80 gr, luego se retira en forma vertical para depositarse en un recipiente, pesarse, y apuntar los datos en el formato de toma de muestras, este procedimiento se repite por cada uno de los veinticinco (25) puntos; una vez realizada la extracción en cada uno de las submuestras, se mezclan uniformemente y se deposita en un recipiente donde se dejará secar a temperatura ambiente durante dos (2) días, posteriormente se transporta al laboratorio de suelos ubicado en la Universidad Santo Tomas sede Villavicencio.

Preparación de la muestra: con el fin de realizar análisis fisicoquímicos para conocer el estado actual del suelo se requiere de preparar la muestra. Para ello y de acuerdo con la NTC 11464, se realiza la extracción del contenido de gravas, se pesa y se descarta. La muestra de suelo resultante se destinada para el análisis se tamiza a una fracción de partícula de 2 mm. Finalmente, se cuartea la muestra y se empaca alrededor de 500 gr en un recipiente previamente rotulado.

Análisis físicos del suelo: la siguiente tabla describe los parámetros físicos a analizar, los materiales y el método empleado.

Tabla 2 Análisis físicos del suelo: equipos, materiales y método

Prueba	Equipos y Materiales	Método
Color	— Tabla de Munsell.	Notación de Munsell (2019): recolectar una fracción mínima de suelo seco con la espátula para comparar su color con rangos presentes en la Tabla Munsell. Repetir con una fracción de suelo humedecido.
	— Agua destilada.	
	— Recipiente pequeño.	
	— Muestra de suelo.	
	— Espátulas de laboratorio.	
Textura	— Cronómetro.	Método de Bouyoucos (NTC 6299): pesar 50 gr de suelo y añadirlos a la copa de dispersión, agregar 10 ml de agente dispersante y agua destilada por encima de la mitad de la copa para dejar en reposo unos minutos. Se somete el suelo a dispersión de 10 a 15 minutos. Posteriormente, se vierte el contenido de la copa a una probeta de
	— Hidrómetro.	
	— Dispersora mecánica con copa para suelos	
	— Agitador manual con émbolo.	
	— Frasco Lavador.	
	— Probeta aforada de 1000 ml.	

Tabla 2
Continuación

	— Termómetro. — Pipeta de 10 ml. — Agente dispersante (Hexametáfosfato de sodio).	1000 ml, se afora con agua destilada y se agita. Tan pronto como se termine la agitación se pone en marcha el cronómetro y se sumerge el hidrómetro. A los 40 segundos se toma la lectura del hidrómetro y se mide la temperatura; la medición se repite de nuevo a las dos horas. Con los datos obtenidos se calcula la densidad del suelo Ver: Anexo 3.
Humedad	— Balanza analítica. — Estufa o horno de calentamiento con control de temperatura. — Muestra de suelo preparada. — Capsula metálica de 15 a 20 gr de capacidad.	Método gravimétrico (NTC 6230): se pesa la capsula metálica, se le añade 10 g de suelo y se registra nuevamente el peso de la muestra con la capsula. Se lleva a el conjunto a secado en el horno a 105 °C por 24 horas, pasado el tiempo establecido se deja enfriar y se registra el peso. Finalmente, se calcula el porcentaje de humedad Ver: Anexo 3.
Densidad aparente	— Balanza. — Estufa de secado. — Parafina. — Hilo. — Terrones de suelo. — Probeta. — Agua.	Método del terrón parafinado: se pesa un terrón de suelo seco y se registra el valor. Posteriormente y amarrado con un hilo se sumerge en parafina derretida, se deja solidificar sobre el terrón, se pesa de nuevo y se sumerge en una probeta con agua a fin de visualizar el volumen desplazado. Con los datos obtenidos se calcula densidad aparente Ver: Anexo 3.
Densidad real	— Picnómetro. — Termómetro. — Balanza analítica. — Plancha de calentamiento. — Agua destilada.	Método del picnómetro: pesar un picnómetro limpio y seco con tapa, introducir aprox. 10 g de suelo secado al aire y pesar nuevamente. Adicionar agua destilada al picnómetro hasta la mitad de su volumen, remover el aire calentando suavemente hasta su punto de ebullición, dejar enfriar el picnómetro y su contenido y agregar agua destilada previamente hervida y enfriada hasta llenar el picnómetro, colocar la tapa y pesar de nuevo. Posteriormente, se remueve todo el contenido del picnómetro y se llena completamente con agua destilada hervida, se seca la parte exterior y se pesa; se debe considerar a temperatura del agua. Con los datos obtenidos se calcula densidad aparente Ver: Anexo 3.

Análisis químicos: la determinación potenciométrica del pH del suelo se realiza bajo la NTC 5264, la cual requiere de preparar de una disolución 1:1 de suelo en agua destilada homogenizada; se toma el valor de pH de la solución y se repite cuantas veces sea necesario.

El porcentaje de **materia orgánica** se obtiene bajo el método de digestión vía húmeda Walkley – Black establecido por la NTC 5403. El proceso se lleva a cabo en el laboratorio especializado de análisis fisicoquímicos para el sector agrícola y ambiental AGRILAB LABORATORIOS S.A.S en la ciudad de Bogotá D.C., por lo que se requiere de enviar 500 gr de muestra de suelo preparada bajo las indicaciones de empaque y etiquetado del laboratorio. Los resultados obtenidos permiten calcular el valor de **nitrógeno total** mediante la fórmula indicada en el **Anexo 3**.

4.2. Segunda fase: determinación del aporte de nitrógeno total y materia orgánica otorgado por el biofertilizante y compost.

La presente fase consiste en determinar las propiedades de los bioinsumos respecto al aporte de nitrógeno total y materia orgánica. Para el análisis especializado del biofertilizante y compost se envía una muestra representativa de cada uno al laboratorio especializado AGRILAB LABORATORIOS S.A.S bajo las indicaciones de empaque y etiquetado del laboratorio. A continuación, se enlistan las actividades pertinentes para el desarrollo del muestreo, transporte, conservación y envío de la muestra.

1. En el laboratorio de microbiología de la universidad, se esteriliza una botella de polipropileno (PP) autoclavable con una capacidad mayor o igual a 150 ml.
2. En la finca La Virayá, se extraen 500 gr de compost fresco y se empaca en una bolsa para muestra de cierre rotacional previamente etiquetada. Sellada la bolsa, se almacena en ausencia de luz y en frío para su traslado a la ciudad de Villavicencio, Meta.
3. Para la toma de muestra del biofertilizante se selecciona de los tanques que actualmente estén en uso, el producido que presente mejores condiciones bajo criterios organolépticos (sin turbiedad o espuma, olor tenue a fermentado, sin presencia de fauna y color café claro a medio). A fin de no contaminar la muestra, dentro del tanque se abre la botella de polipropileno autoclavable y se toma entre 80 y 100 ml de biofertilizante. Inmediatamente, se etiqueta la muestra y se almacena en ausencia de luz y en frío para su traslado a la ciudad de Villavicencio, Meta.
4. Finalmente, las muestras son enviadas al laboratorio AGRILAB, en empaque plástico de sello hermético y en ausencia de luz.

4.3. Tercera fase: ajustes requeridos para el uso y producción del biofertilizante y compost con el fin de asegurar los parámetros del suelo evaluados.

En la tercera fase del proyecto se establece el valor actual de los requerimientos del suelo, el aporte teórico de los bioinsumos y el aporte real de la dosis de biofertilizante/compost respecto a los valores de materia orgánica y nitrógeno total del suelo, a fin de otorgar recomendaciones

puntuales para el desarrollo óptimo del uso y producción de los bioinsumos. A continuación, se enlistan las actividades pertinentes para el desarrollo de la tercera fase:

1. Comparar los resultados del análisis de suelo actual respecto al estudio del aporte de los bioinsumos a fin de establecer la dosis optima teórica respecto a los parámetros idóneas definidos para el tipo de suelo.
2. Describir el proceso de biofertilización que se lleva a cabo en finca La Virayá indicando la dosis de los bioinsumos implementados.
3. Implementar un diseño experimental mediante la técnica estadística de parcelas divididas¹ mediante el análisis de doce tratamientos **Ver: Anexo 5**, con el propósito de identificar y cuantificar la relación y el aporte real de la dosis de biofertilizante/compost respecto a los valores de materia orgánica y nitrógeno total del suelo del área cultivada, considerando la biodinámica de este, los requerimientos nutricionales y los factores medioambientales.
4. Toma y traslado de muestras de suelo tres semanas después de la aplicación del biofertilizante y compost en sus respectivos tratamientos.
5. Replicando los análisis químicos del suelo en el laboratorio especializado AGRILAB se obtienen los resultado y análisis de las muestras.
6. Desarrollo de pruebas estadísticas requeridas en la identificación de la dosis optima de biofertilizante/compost.
7. Establecer las recomendaciones pertinentes para el ajuste de las operaciones unitarias del proceso de biofertilización respecto a la dosis de biofertilizante/compost.

¹ La tabla de doble entrada, el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey pertinentes al diseño experimental de parcelas dividas, considera ambos parámetros debido a la relación porcentual de la materia orgánica y nitrógeno total del suelo.

5. Análisis y discusión de resultados

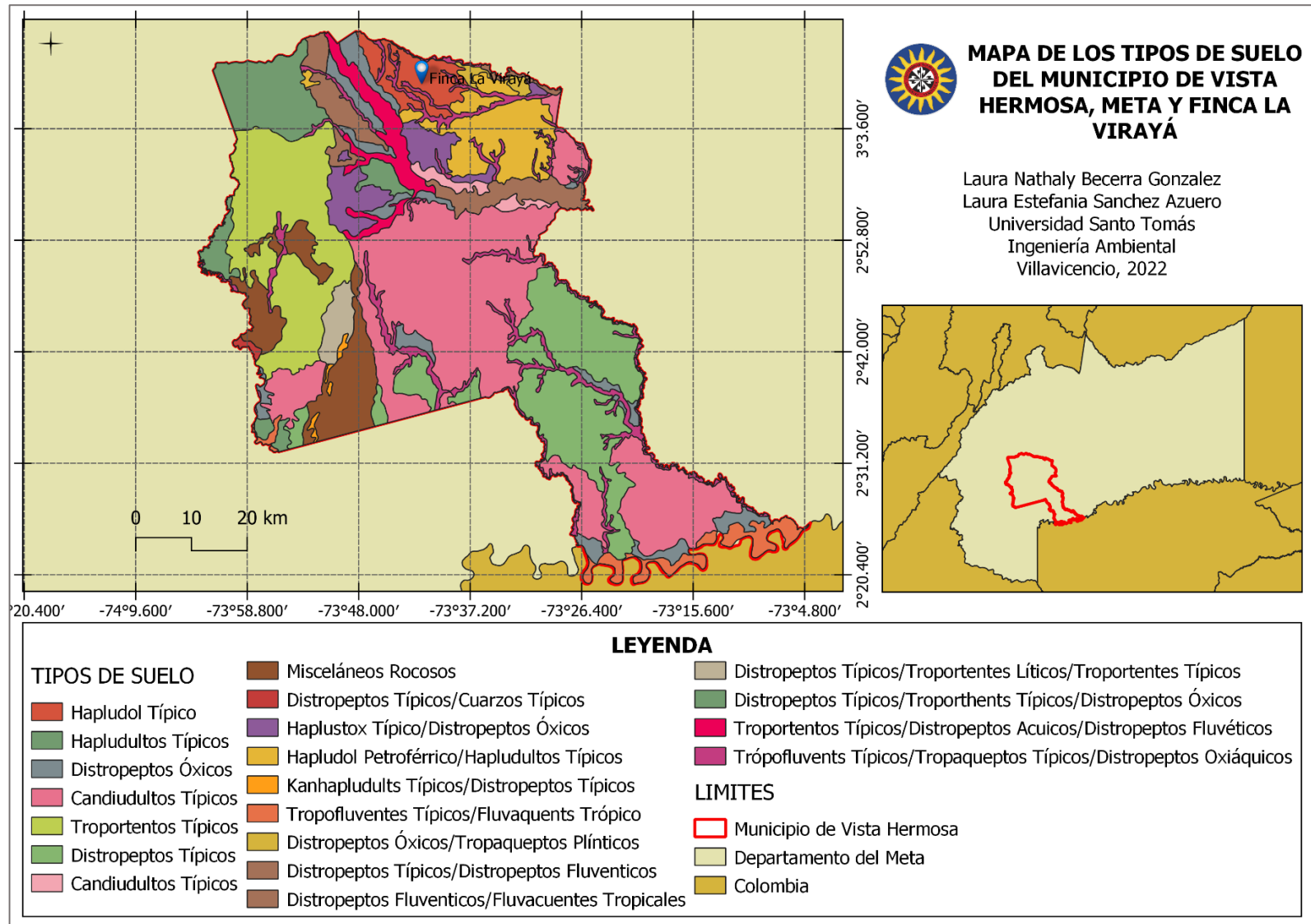
Según el Diagnóstico Ambiental del Plan de Ordenamiento Territorial para el municipio de Vista Hermosa, Meta, su extensión se encuentra en jurisdicción de 20 unidades de suelo **Ver: Figura 2** conformadas por seis paisajes geomorfológicos correspondientes a altiplanicie estructural, lomeríos, montañas, piedemonte, planicies aluviales y valles (IGAC, 2022) **Ver: Anexo 4**, de los cuales tanto la finca La Virayá como el área que le rodea, se ubica en una zona de piedemonte mixto, atribuyéndole las siguientes características al suelo:

Tabla 3 Características generales del suelo de la finca La Virayá (IGAC, 2022)

Paisaje	Tipo de relieve		Clima		Tipo de suelo
	Terrazas		Cálido húmedo y muy húmedo		Hapludol típico
	Litología		Topografía		Características
Piedemonte Mixto	Sedimentos aluviales	finos que recubren depósitos de cantos y gravas medianamente alterados.	Relieve plano o ligeramente ondulado, pendientes de 0 – 7%. Se presentan varios niveles de origen tectónico afectados por escurrimiento difuso generalizado.		Profundos con texturas moderadamente finas a finas, bien drenado, de pH muy fuerte a extremadamente ácidos, de baja fertilidad.

El suelo Hapludol Típico como el de la finca La Virayá, consiste en un subgrupo del gran grupo Hapludol perteneciente al orden de suelos de los Oxisoles (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2022). Dicho orden es característico de las zonas tropicales y comúnmente son de color amarillo y/o rojizo debido al horizonte óxido que les compone. De igual manera, se caracterizan como suelos de baja fertilidad debido al barrido de nutrientes causado por las intensas lluvias de las zonas en donde se localizan, por lo que la vegetación que le acompaña se ve provista de nutrientes principalmente de la propia capa vegetal que generan y requieren de enmiendas constantes que les otorguen de propiedades óptimas para el desarrollo de cultivos (Balasubramanian, 2017).

Figura 2 Mapa de los suelos del municipio de Vista Hermosa, Meta



Nota. Elaborado a partir de datos abiertos del Geoportal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

5.1. Caracterización y descripción de las propiedades físicas del suelo

5.1.1 Color

El análisis elaborado mediante la guía de notación del color basado en el matiz, la saturación y la luminosidad de Munsell (2019), permite establecer características generales del suelo. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 4 Color del suelo respecto a la notación de (Munsell, 2019)

Tipo de muestra	Notación Munsell (2019)	Criterio
Suelo seco	10 RY 4/4	Dark Yellowish Brown
Suelo húmedo	10 YR 4/3	Dark Yellowish Brown

El color de la muestra preparada de suelo de la finca La Virayá se denomina *Marrón Oscuro Amarillento*, asociado a estados iniciales de alteración del suelo como la meteorización bajo ambientes aeróbicos propios del labrado agrícola, a la presencia de materia orgánica acidificada, óxidos hidratados de hierro Fe^{3+} en combinaciones con otros materiales orgánicos y en general a una condición de fertilidad media a baja (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015).

5.1.2 Textura

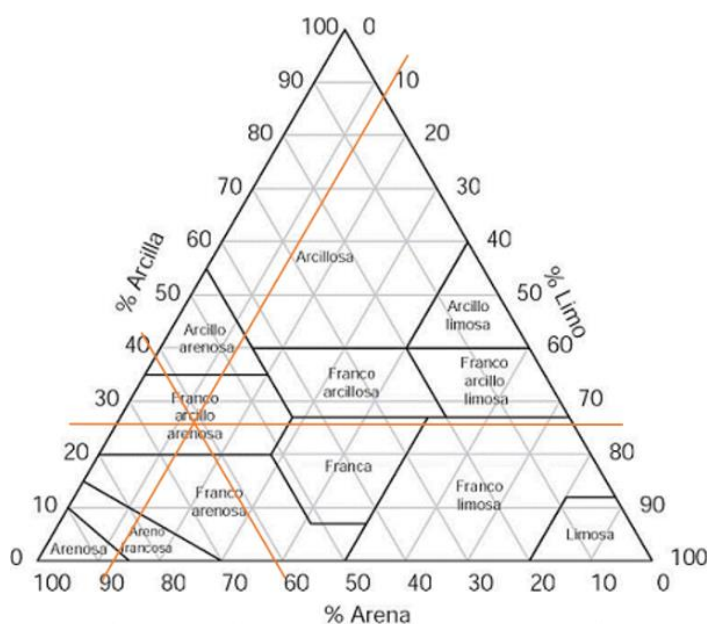
La textura se define como la proporción relativa de los componentes minerales del suelo (arena, limo y arcilla) y el tamaño de partícula de estos, estableciendo su comportamiento fisicoquímico y la capacidad de retención de nutrientes y agua (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022). La **Tabla 5** corresponde a los resultados obtenidos en la prueba de textura del suelo con el método de Bouyoucos; los porcentajes determinados se emplean para calcular el termino textural mediante el triángulo de texturas del suelo, que para el predio de la finca La Virayá corresponde a un suelo *Franco Arcilloso Arenoso*.

La textura franca es la ideal respecto a parámetros de finura, retención hídrica y cohesión, asegurando el desarrollo óptimo de las plantas al tener un gradiente de partículas adecuado para el almacenamiento de nutrientes y agua, posibilitando la permeabilidad y aireación, aunque el contenido de materia orgánica define si al humedecerse, dichas propiedades se conservan. Cabe aclarar que cuando la textura franca adquiere otras fracciones granulométricas obtiene parte de sus propiedades; para el caso de la arcilla, esta disminuye la permeabilidad y capacidad de infiltración del agua y en cambio la arena se caracteriza por su baja fertilidad y susceptibilidad a procesos de erosión (Pellegrini, 2019).

Tabla 5 Textura del suelo

Toma	Tiempo	Temperatura	Medida Hidrómetro (MH)	MH con factor de corrección	%	Componente mineral
1	40 seg	24 °C	38	38,44	61,56	Arena
2	3600 seg	23 °C	26	26,33	26,33	Arcillo
					12,11	Limo

Figura 3 Termino textural de la muestra de suelo obtenida en finca La Virayá



Nota. Elaborado a partir del diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo.

Por lo cual, y considerando los valores porcentuales de la textura del suelo de la finca La Virayá, se establece que su alto porcentaje de arena le otorga poca capacidad de retención de nutrientes y agua, lo que incide en bajos contenidos de materia orgánica, riesgo de erosión, alto drenaje y susceptibilidad a cambios de temperatura; y aunque dichos factores son contrarrestados por el porcentaje granulométrico de arcilla y limo, el no prestarle la atención adecuada y efectuar estrategias para su manejo, tanto en el área del cultivo como en el entorno que aún no se encuentra intervenido, puede desencadenar en procesos complejos de degradación (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022).

5.1.3 Humedad

La prueba de análisis de humedad establece que el porcentaje promedio de humedad por unidad de volumen de suelo en la finca La Virayá es de 4,52%, que comparado con estudios enfocados a la caracterización y análisis de los suelos representativos del departamento del Meta se encuentra muy por debajo del promedio (Rodriguez & Cristian, 2016), esto se relaciona principalmente con la metodología establecida para el desarrollo de la prueba, debido a que no contempla la conserva del contenido de humedad de la muestra extraída. El contenido de agua en el suelo se encuentra directamente relacionado con la textura de este y se caracteriza por afectar la humedad y cantidad de los nutrientes disponibles para las plantas. Por otra parte, el contenido de humedad del suelo establece la capacidad de retención de agua, por lo que resulta un indicadito de su capacidad de adhesión debido a la presencia de partículas minerales y orgánicas (Voroney, 2019).

Tabla 6 Contenido de agua del suelo en porcentaje de humedad

N° Ensayo	Peso de la muestra + peso de la capsula	Peso de la muestra secada a 105 °C + peso de la capsula	Peso de la capsula	Porcentaje de humedad
1	16 gr	15,6 gr	6 gr	4,17 %
2	15 gr	14,6 gr	6 gr	4,65 %
3	17 gr	16,5 gr	6 gr	4,76 %
Porcentaje de humedad promedio (%)				4,52 %

5.1.4 Densidad aparente y real

Tabla 7 Densidad aparente del suelo

N° Ensayo	Peso suelo seco 105 °C	Peso suelo seco parafinado	Volumen desplazado	Densidad aparente (g/ml)
1	3,62 gr	3,8 gr	3 ml	1,715
2	6,09 gr	6,4 gr	4 ml	2,108
3	6,66 gr	7,0 gr	4 ml	2,220
Densidad aparente promedio (g/ml)				2,014

Tabla 8 Densidad real del suelo

N°	Picnómetro + Suelo y agua	Picnómetro + Suelo y agua	Picnómetro + Agua	Temperatura °C	Densidad real (g/ml)
0	0	0	48 gr	26	-
1	24,5 gr	49,4 gr	48 gr	26	2,2666
2	24,6 gr	49,7 gr	48 gr	26	2,8822
3	24,4 gr	49,5 gr	48 gr	26	2,6595
Densidad real promedio (g/ml)					2,6024

Nota. se considera el peso del picnómetro vacío de 22 gr y la densidad del agua de 0.99732 g/ml.

La densidad aparente del suelo varía según el contenido de materia orgánica, la textura del suelo y la densidad de las partículas minerales que le componen. Dicho parámetro se encuentra ligado con el grado de porosidad/compactación del suelo y los procesos de infiltración, y escorrentía del agua, así como con el ambiente propicio para el crecimiento de las plantas (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022). La **Tabla 9** muestra como la densidad aparente de los diferentes tipos de suelo respecto a su textura afecta la capacidad de crecimiento de las plantas y por ende la calidad general del suelo, estableciendo que el suelo de la finca La Virayá no tiene un valor óptimo de densidad al restringir el crecimiento adecuado de las plantas.

Tabla 9 Influencia de la densidad aparente del suelo respecto al crecimiento óptimo de las plantas (USDA, 2022)

Textura del suelo	Densidad aparente ideal para el crecimiento de la planta (g/ml)	Densidad aparente que afecta el crecimiento de la planta (g/ml)	Densidad aparente que restringe el crecimiento de la planta (g/ml)
Arena – Arenoso franco	<1,60	1,69	>1,80
Franco arenoso – Franco	<1,40	1,63	>1,80
Franco arcilloso arenoso – Franco arcilloso	<1,40	1,60	>1,75
Limo – Franco limoso	<1,40	1,60	>1,75
Franco arcilloso limoso	<1,40	1,55	>1,65
Arcillo limoso – Arcillo arenoso	<1,10	1,49	>1,58
Arcilla	<1,10	1,39	>1,47

Respecto a la densidad real, dicho valor es constante en la mayoría de los suelos el cual varía entre los 2,65 g/ml (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022), consistente con los 2,6024 g/ml del suelo muestreado en finca La Virayá.

5.2. Parámetros iniciales de materia orgánica y nitrógeno total del suelo

A fin de establecer el estado inicial del suelo de la finca La Virayá, previo a la aplicación de los tratamientos planteados, se realizan análisis químicos del suelo respecto a su pH, materia orgánica y nitrógeno total del suelo, el cual corresponde a un 5% del total de M.O (Porta, 2014), dando como resultado los siguientes valores:

Tabla 10 Parámetros iniciales de materia orgánica y nitrógeno total del suelo

Muestra general	pH	Materia orgánica	Nitrógeno Total
	4,28	2,38%	0,119%

Debido a que dichos parámetros varían conforme a la temperatura media de los climas en donde se encuentran los suelos, Frye. C (1972) establece los valores óptimos de nitrógeno total y materia orgánica bajo dicha condición.

Tabla 11 Estimativos de nitrógeno total y materia orgánica del suelo (Frye, 1972)

Clima	Interpretación del % de N total		
	Bajo	Medio	Alto
Frio	Menor de 0,25	0,25 – 0,50	Mayor de 0,50
Medio	Menor de 0,15	0,15 – 0,25	Mayor de 0,25
Cálido	Menor de 0,10	0,10 – 0,20	Mayor de 0,20

Clima	Interpretación del % de materia orgánica		
	Bajo	Medio	Alto
Frio	Menor de 5	5 – 10	Mayor de 10
Medio	Menor de 3	3 – 5	Mayor de 5
Cálido	Menor de 2	2 – 4	Mayor de 4

Aunque se considera que los parámetros evaluados se encuentran dentro de los valores medios para el clima característico del municipio de Vista Hermosa, Meta, debido a las actividades agrícolas realizadas en el predio, es vital asegurar un suministro estable de nutrientes

por lo cual, y considerando el rango de porcentaje de materia orgánica en los horizontes superiores identificado por Novillo (2018) se estima, que el valor adecuado y razonable para los parámetros sería 4,2% de materia orgánica y 0,21% de nitrógeno total

Para el caso del pH del suelo destinado para cultivos, producción de forrajes y su respectivo consumo nutrientes, sus valores óptimos se establecen de 6 – 7,5. Cabe aclarar que el pH del suelo impacta en la disponibilidad de nutrientes y la salud general del mismo, por lo que los suelos ácidos, como el de la finca La Virayá, son indicativos de la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados (USDA, 2022).

Finalmente, Los datos extraídos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi coinciden con los resultados de las pruebas de laboratorio para el análisis de la caracterización físico – química de las propiedades actuales del suelo de la finca La Virayá, clasificándose como hapludol típico y descrito como un suelo de reacción fuertemente acida a medianamente acida, con contenidos medios a bajos de materia orgánica y por ende de nitrógeno total, oscilantes entre las texturas franco arcillosas y franco arenosas (Organization of American States, 2019).

Con respecto a las particularidades generadas por el cultivo de palma africana, los suelos óptimos para su producción son los franco arcillosos, de buena profundidad y drenaje, en bajas pendientes y con alto contenido de materia orgánica debido a las fuertes incidencias que tiene la palma sobre las propiedades naturales del suelo (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022), por lo cual, Novillo (2018), señala la variación del contenido de materia orgánica en relación con la profundidad de muestra extraída, indicando un %M.O entre 4,6 – 5,6 para una profundidad máxima de 20 centímetros.

5.3. Aportes de materia orgánica y nitrógeno total de los bioinsumos

5.3.1 Biofertilizante

Las propiedades del biofertilizante indican un potencial de hidrógeno (pH) ácido, lo que coincide con procesos de fermentación bajos en oxígeno, y compromete la diversidad de microorganismos que le componen, al reproducirse favorablemente en ambientes de pH neutro (Ramos, 2018); así mismo su empleo contribuye a la reacidificación del suelo, que además de ser naturalmente ácidos, y disminuyen su pH como producto de la aplicación de fertilizantes nitrogenados en el manejo de la producción agrícola (Finck, 2021). Respecto al contenido de %M.O, sus valores concuerdan con estudios de caracterización de biofertilizantes, asociándolos a su capacidad de descomposición de la materia orgánica, la cual mineraliza para la liberación continua de nutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos (Inamuddin, Mohd Imran Ahamed, & Rajender Boddula Ma, 2021).

Tabla 12 Aporte de materia orgánica y nitrógeno total del biofertilizante

Muestra	pH	Materia orgánica	Nitrógeno Total
biofertilizante	4,67	1,0285%	0,0514%

5.3.2 Compost

La **Tabla 13** indica los resultados obtenidos respecto al pH de la muestra de compost empleado en finca La Virayá previamente extraída y analizada, así como el aporte de materia orgánica y nitrógeno total del bioinsumo.

Tabla 13 Aporte de materia orgánica y nitrógeno total del compost

Muestra compost	pH	Materia orgánica	Nitrógeno Total
	7,30	42,7552%	2,1377%

Con relación al compost, Román. P, Martínez. M & Pantoja. A (2013), indican que los parámetros óptimos del compostaje varían respecto al tiempo transcurrido desde su producción, por lo que establecen los siguientes valores:

Tabla 14 Parámetros óptimos del compostaje (*Román, Martínez, & Pantoja, 2013*)

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2 – 5 días)	Rango ideal en fase media (2 – 5 semanas)	Rango ideal en fase de maduración (3 – 6 meses)
pH	6,5 – 8,0	6,0 – 8,5	6,5 – 8,5
%M.O	50 – 70	>20	>20
%N.T	2,5 – 3	1 – 2	<1

Considerando los parámetros planteados en la **Tabla 14**, se puede afirmar que el compost producido y empleado en la finca La Virayá, se encuentra dentro de los valores óptimos para el bioinsumo al momento de tomada y analizada la muestra.

5.4. Dosis optima teórica de los bioinsumos

5.4.1 Relación aporte/requerimiento teórico

Tabla 15 Requerimiento teórico del suelo

Área de cultivo	32,4 hectáreas o 324.000 m ²
Estado actual del suelo	2,38% de materia orgánica – 0,119% nitrógeno
Estado requerido del suelo	4,2% de materia orgánica – 2,1% nitrógeno

Normalmente, el contenido de materia orgánica a suministrar se denomina materia fresca (MF) **Ver: Anexo 3** y considera el coeficiente isohúmico establecido para cada tipo de abono y/o fertilizante respecto a su material de origen (IGAC, 2006); para el caso del biofertilizante el cual es producido a base de residuos de cosecha verdes se estiman 16.590,57 litros por hectárea, y para el compost, que proviene principalmente de residuos de cosecha secos un aproximado de 480,47 arrobas por hectárea o 5.448,50 kilogramos por hectárea, lo que al considerar el área ocupada por cada ejemplar de palma africana, serian 134,38 litros de biofertilizante y 3,89 arrobas de compost respectivamente.

5.5. Relación y aporte real de la dosis de biofertilizante/compost respecto a los valores de nitrógeno total y materia orgánica

5.5.1 Proceso actual de biofertilización

El proceso de biofertilización parte de la preparación de dos bioinsumos esenciales, el biofertilizante y el compost, los cuales son producidos a base de residuos orgánicos provenientes de la actividad agrícola palmera. La metodología adaptada para su elaboración surge del informe *Memoria de curso de abonos orgánico* (Zárate, 2019) quien propone el empleo de estos compuestos como una respuesta al incremento en el costo de agroquímicos, así como a las afectaciones ambientales causadas por estos. A continuación, se describe el proceso para la producción de cada bioinsumo:

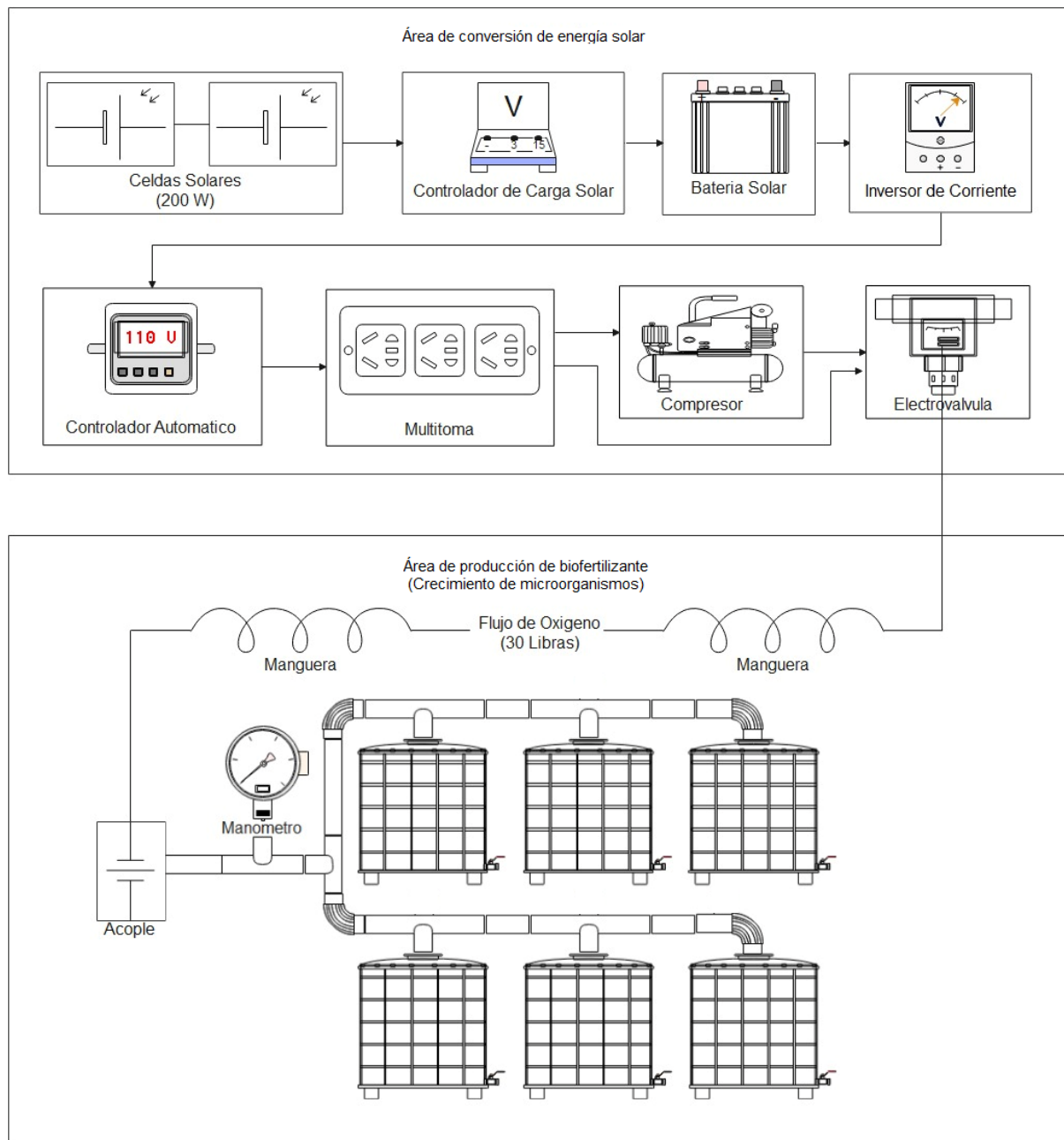
5.5.1.1. Uso y producción de biofertilizante. A continuación, se describen los pasos, materiales, equipos y métodos empleados en finca La Virayá para la producción y uso de biofertilizante:

Tabla 16 Descripción de la metodología empleada para la producción de biofertilizante

Paso	Materiales/Equipos	Metodología
1. Montaje del sistema de oxigenación (Área de conversión de energía solar).	— Celdas solares de (200 W).	El sistema de oxigenación se encarga de suministrar al preparado de biofertilizante 30 libras de oxígeno tres veces al día. Para ello, se conforma un subsistema con las operaciones unitarias pertinentes para el proceso Ver: Figura 4 . El suministro de oxígeno es vital para el balance del pH del producto, junto con la reproducción de los microorganismos (bajo fermentación aerobia) que le conforman (Ramos, 2018).
	— Controlador de carga solar.	
	— Batería solar.	
	— Inversor de corriente.	
	— Controlador automático.	
	— Multitoma.	
	— Compresor.	
	— Electroválvula.	
2. Montaje del área de producción de biofertilizante (Crecimiento de microorganismos).	— Cableado.	El área de preparación de biofertilizante presente en la finca La Virayá, está conformado por 9 tanques de 1000 litros (actualmente 6 en funcionamiento), conectados al sistema de oxigenación Ver: Figura 4 . El suministro de oxígeno se da por medio de un tubo PVC, el cual es introducido desde la parte superior del tanque hasta la inferior. Toda el área se encuentra techada.
	— Manguera (flujo de oxígeno).	
	— Acople.	
	— Manómetro.	
	— Tubería PVC ½ in.	
	— Tanque de preparado de 1000 litros.	
	— Válvulas.	

Tabla 16*Continuación*

3. Preparación del biofertilizante.	— Agua sin cloro.	La producción de biofertilizante parte del pie de cría como cepa inicial de microorganismos. Cabe aclarar que a medida que el biofertilizante prolifera o se incrementa el contenido de agua se debe añadir más poda de leguminosa como alimento de los microorganismos (Zárate, 2019).
	— 1,5 kg de poda de leguminosa picada por cada 100 litros de agua.	
	— 5 litros de melaza por cada 100 litros de agua.	
	— 2 kg de mantillo de bosque virgen por cada 100 litros de agua.	
4. Aplicación del biofertilizante.	— Tanque de preparado.	En la finca La Virayá se realiza riego para cada ejemplar de palma africana como inoculante y controlador de plagas en una dosis de aproximadamente 3 litros por ejemplar. Por otra parte, Zárate (2019) indica que como biofertilizante se deben de aplicar 40 litros por hectárea o 4 litros por bombada de 20 litros.
	— Tractor.	

Figura 4 Diagrama de procesos - Producción de biofertilizante

Nota. Adaptado de Memoria de curso de abonos orgánico (Zárate, 2019).

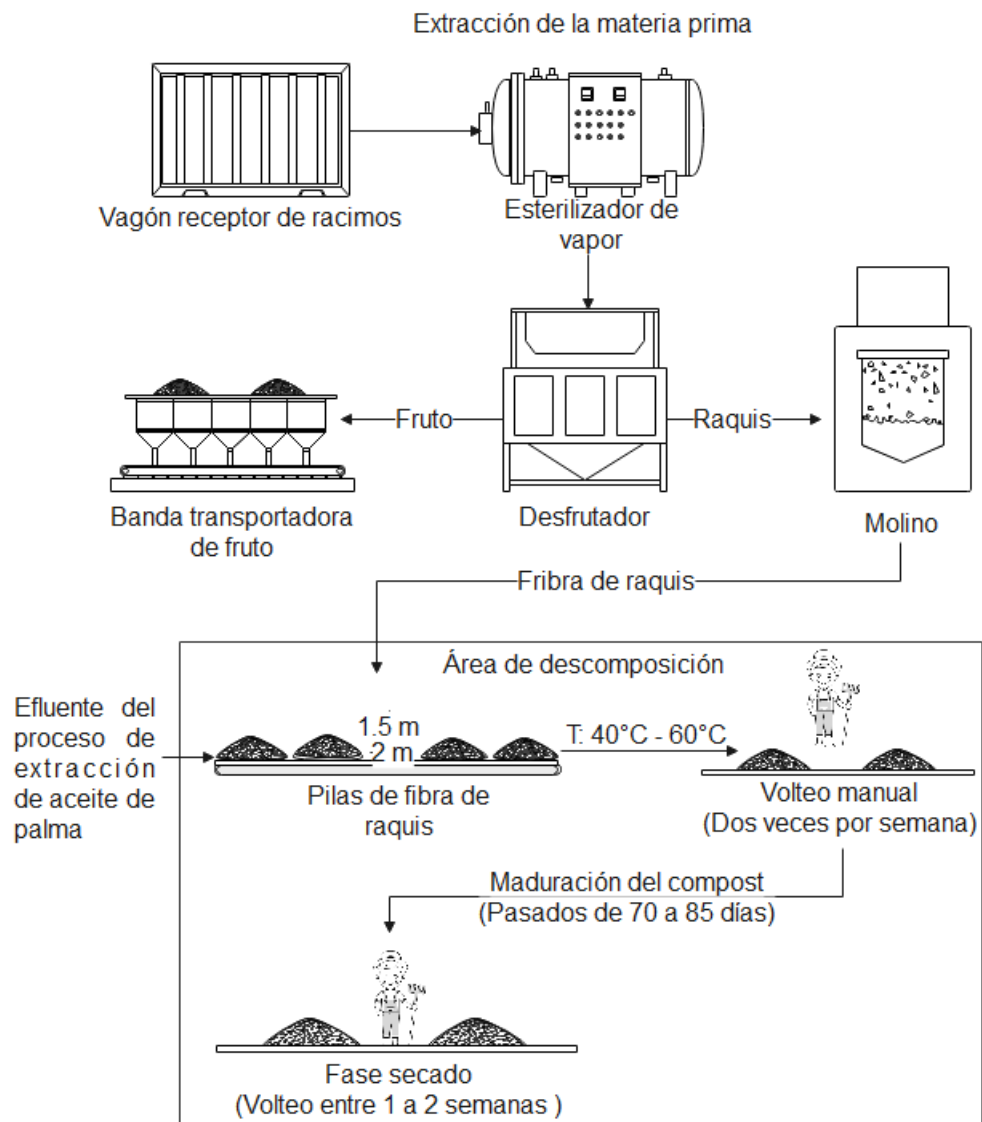
5.5.1.2. Uso y producción de compost. A continuación, se describen los pasos, materiales, equipos y métodos empleados en finca La Virayá para la producción y uso de compost:

Tabla 17 Descripción de la metodología empleada para la producción de compost

Paso	Materiales/Equipos	Metodología
1. Cosecha de racimos de palma y extracción del raquis.	— Fruto de palma africana. — Cuchillo malayo y/o palín de cosecha. — Carretillas. — Tractor. — Esterilizador cilíndrico. — Desfrutador. — Bandas transportadoras.	La cosecha del racimo de fruto de palma africana se realiza periódicamente siempre y cuando sus características sean las adecuadas (Cortés, Penagos, Lizarazo, & Toca, 2017). Luego de que el racimo cosechado ingresa a la fábrica extractora de aceite de palma, pasa por un proceso de esterilización con vapor de agua, lo que facilita el desprendimiento de los frutos en el desfrutador Ver: Figura 5. El fruto extraído continua en el proceso de digestión y el racimo ya desfrutado (raquis), se destina como materia prima del compost y material combustible en las calderas (Corzo & Juracán, 2020).
2. Apilado de camas y riego con efluentes.	— Molino. — Carretilla. — Pala o rastrillo. — Efluentes de la línea de extracción de aceite de palma. — Plástico de cobertura.	El raquis de la palma pasa por un proceso de molienda con el que se obtiene un material altamente fibroso y manejable; posteriormente se apila en camas de aproximadamente 2 m de ancho por 1,5 m de alto y es humedecido constantemente con los efluentes provenientes de la extracción del aceite de palma, manteniendo una humedad de 50 – 60 % la cual se determina manualmente. De igual manera, dos veces por semana se debe rastrillar el compostaje (volteo) para promover el ingreso de oxígeno y conservar la actividad microbiana aerobia. En esta etapa la temperatura del compuesto se debe encontrar entre 40 a 60 °C y a fin de evitar el exceso de humedad o la combustión por radiación se debe cubrir con una capa de plástico (Corzo & Juracán, 2020) Ver: Figura 5.

Tabla 17
Continuación

3. Maduración del compost.	— Pala o rastrillo.	Pasados de 70 a 85 días la temperatura del compostaje se estabiliza (32 a 35 °C) indicando el cese en los procesos de descomposición, por lo cual, la aplicación de efluentes se detiene y se procede a continuar con los volteos entre 1 a 2 semanas más con el objetivo de que se cumpla la fase de secado Ver: Figura 5.
4. Aplicación del compost.	— Carretilla. — Rastrillo.	Finalizado el proceso de compostaje, el bioinsumo es llevado al área del cultivo para que sea distribuido acorde a las necesidades del agricultor. En la finca La Virayá se aplica compost a cada ejemplar de palma con una frecuencia de 15 a 20 días, para ello es transportado en carretillas y se destina una cantidad de 1 arroba o 25 libras por individuo.

Figura 5 Diagrama de procesos - Producción de compost

5.5.2 Dosis óptima de biofertilizante/compost

Considerando los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio respecto a los parámetros de materia orgánica y de nitrógeno total de las (48) muestras de suelo sometidas a determinadas dosis de biofertilizante y compost **Ver: Anexo 5**, se efectúa la técnica estadística de análisis de varianza la cual permite estimar si alguno de los tratamientos tanto de biofertilizante como de compost y su relación, incide en los parámetros evaluados **Ver: Anexo 6**.

Tabla 18 Análisis de varianza de la dosis de biofertilizante y compost respecto a los parámetros de materia orgánica y nitrógeno total del suelo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Varianza		F ₀	F _T
Repeticiones	3	0,10	0,00024*	0,03	0,00008*	
Biofertilizante (A)	2	2,65	0,00663*	1,33	0,00332*	167,57
Error _(A)	6	0,05	0,00012*	0,01	0,00002*	5,14
Total _(A)	11	2,80	0,00699*			
Compost (B)	3	0,25	0,00063*	0,08	0,00021*	
AB	6	0,16	0,00040*	0,03	0,00007*	0,77
Error _(B)	27	2,94	0,00735*	0,11	0,00027*	2,96
Total _(B)	47	3,40	0,00849*			0,25

Nota. los valores indicados con (*) corresponden al análisis de los datos de nitrógeno total.

La prueba de significación estadística empleando la distribución F (Fisher-Snedecor), establece que cuando la F_C es menor a F_T , las hipótesis planteadas son aceptadas, por ello se logran establecer las siguientes afirmaciones:

- Ninguno de los tratamientos de biofertilizante aplicados tiene una incidencia significativa en los parámetros de materia orgánica (%) y nitrógeno total (%) del suelo.
- Al menos uno de los tratamientos de compost aplicados tiene una incidencia significativa en los parámetros de materia orgánica (%) y nitrógeno total (%) del suelo.

- La relación de al menos uno de los tratamientos de biofertilizante/compost tiene una incidencia significativa en los parámetros de materia orgánica (%) y nitrógeno total (%) del suelo.

Por otra parte, a fin de establecer cuál de las dosis precisas de biofertilizante/compost incide significativamente en los parámetros evaluados, se realiza la prueba de comparación de medias de Tukey dando como resultado los siguientes criterios:

Tabla 19 Prueba de comparación de medias de Tukey respecto a los tratamientos biofertilizante/compost

Tratamiento	Media (%)		DMS		Criterio
T12	3,0750	0,1537*			A ⁻
T11	3,0375	0,1518*	0,0375	0,00187*	A ⁻
T10	3,0200	0,1510*	0,0175	0,00087*	A ⁻
T9	2,7650	0,1382*	0,2550	0,01275*	A ⁺
T8	2,7450	0,1372*	0,0200	0,00100*	A ⁻
T7	2,5350	0,1267*	0,2100	0,01050*	A ⁺
T6	2,5075	0,1253*	0,0275	0,00137*	A ⁻
T5	2,4950	0,1247*	0,0125	0,00062*	A ⁻
T4	2,4375	0,1218*	0,0575	0,00287*	A ⁻
T3	2,4250	0,1212*	0,0125	0,00062*	A ⁻
T2	2,4175	0,1208*	0,0075	0,00037*	A ⁻
T1	2,3875	0,1193*	0,0300	0,00150*	A ⁻
Diferencia Mínima Significativa (DMS): %M.O = 0,8314 %N.T* = 0,0415					

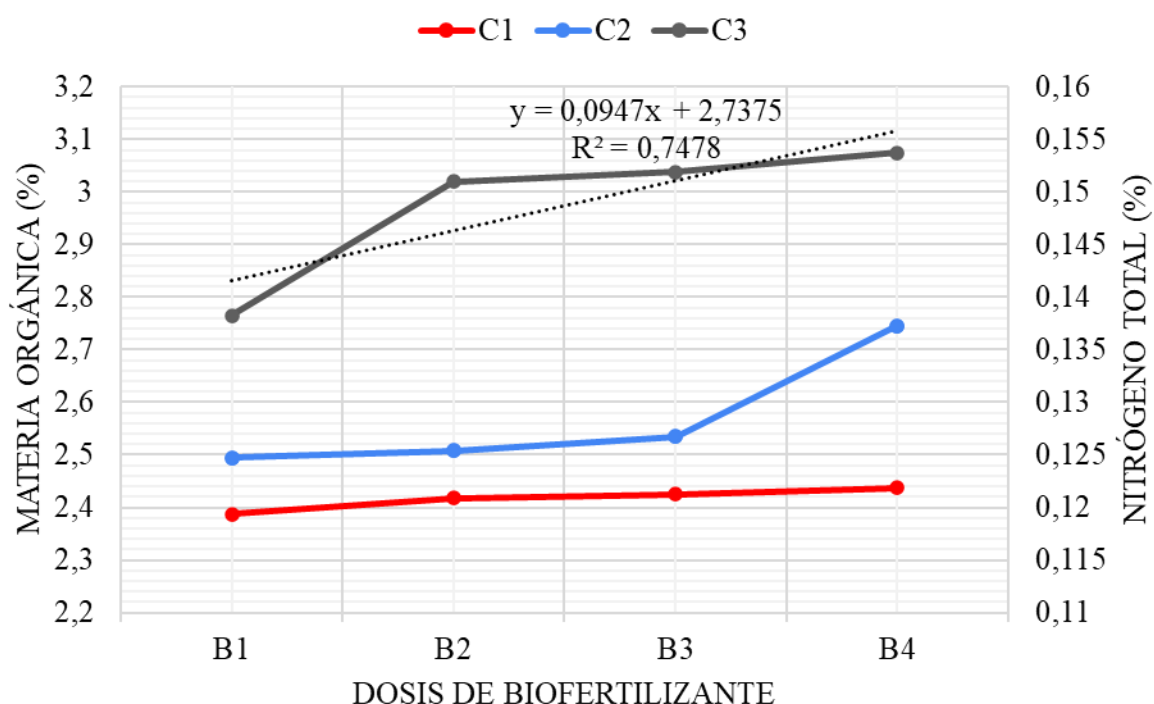
La **Tabla 19** indica que, aunque estadísticamente todos los tratamientos son iguales y ninguno prevalece sobre los demás, aquellos que estuvieron más cerca del valor de diferencia mínima significativa fueron el tratamiento (T7: 1 arroba de compost/3,5 litros de biofertilizante) y (T9: 1,5 arroba de compost/2,5 litros de biofertilizante) indicando que no se presenta una

relación consecuente entre los valores medio de los tratamientos y las dosis de biofertilizante/compost aplicados.

5.5.3 Aporte real de la dosis de biofertilizante/compost

Para estimar el aporte real de la dosis de biofertilizante y de compost, así como de su relación, se requiere de establecer la incidencia que tienen los bioinsumos en la efectividad del otro, esto mediante la correlación de los tratamientos aplicados y el valor promedio obtenido en los resultados de los parámetros establecidos.

Figura 6 Gráfica de la incidencia del biofertilizante en el compost respecto a los parámetros del suelo evaluados.

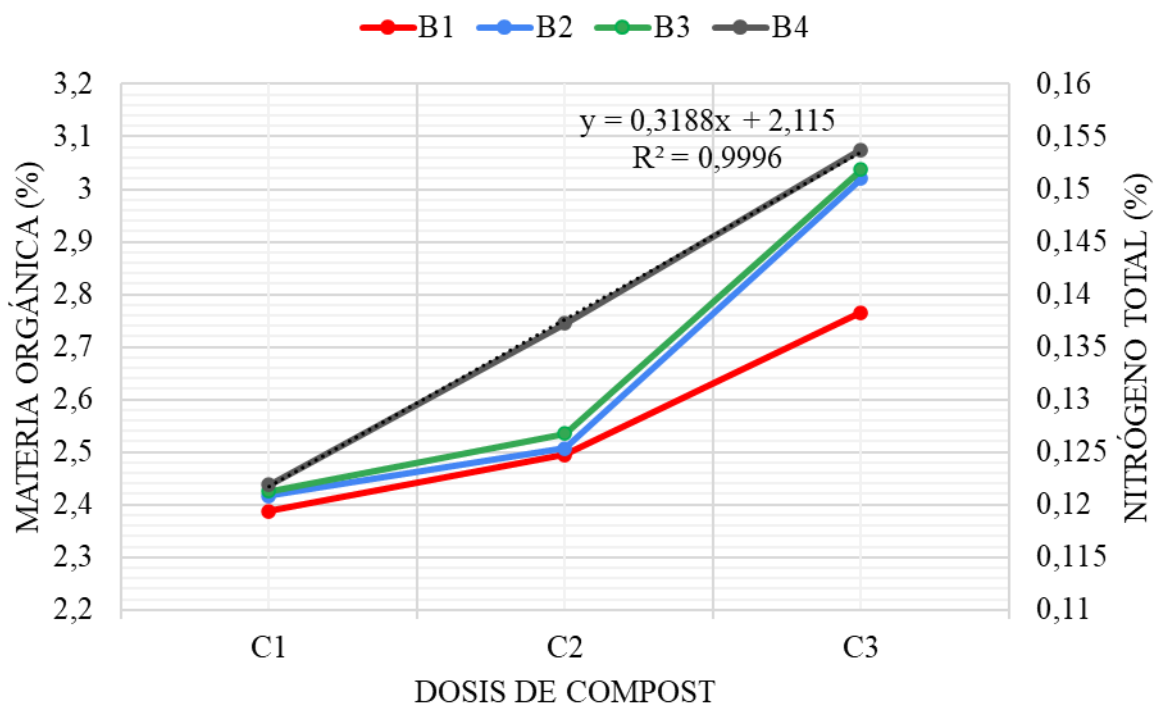


La **Figura 6** representa el cómo la dosis de biofertilizante influye en el aporte de materia orgánica y nitrógeno total dado por el compost, que, en un contexto general al visualizar el comportamiento de las tres series, permite establecer que la incidencia que tienen las dosis (B), sobre el comportamiento del bioinsumo (C) no es significativa. De igual manera, y al considerar

la serie (C3) como la de mayor interés al haber obtenido los resultados más favorables, evidencia que aunque tiene un incremento al pasar de la dosis (B1) a la (B2), la ecuación generada de su línea de tendencia así como su bajo grado de confiabilidad indican que para poder obtener mayor certeza del comportamiento y/o incidencia del biofertilizante, se requiere de ampliar el número de muestras analizadas con el objetivo de alcanzar los valores óptimos considerados para los parámetros evaluados.

Así mismo, el coeficiente de correlación obtenido entre las dosis de biofertilizante y los resultados de las (48) muestras analizadas, corresponde a un valor de aproximadamente (0,2489), rectificando la baja incidencia que posee este bioinsumos en las dosis aplicadas, sobre los parámetros de %M.O y %N.T.

Figura 7 Gráfica de la incidencia del compost en el biofertilizante respecto a los parámetros del suelo evaluados.



Para el caso de la incidencia del compost sobre el comportamiento del biofertilizante, como se evidencia en la **Figura 7** la aplicación del bioinsumo (C) tiene una relevancia

significativa sobre los parámetros de materia orgánica y nitrógeno total del suelo suministrados por el bioinsumo (B), en todas sus dosis, por lo que al comparar las cuatro series se logra establecer que la relación entre la dosis (B1) con las dosis del compost además de corresponder a los valores de %M.O y %N.T más bajos, posee la relación de incremento más reducida; por otra parte, el comportamiento de las dosis (B2) y (B3) respecto a las dosis de compost son similares, por lo que se puede afirmar que los tratamientos suministrados con dichas dosis no poseen diferencias relevantes para el estudio; y finalmente, la serie (B4), considerada la de mayor interés, evidencia tanto en la ecuación de su línea de tendencia como en su grado de confianza que es la que mejor relación tiene con las dosis del compost aplicado.

Por ello, se considera que el compost además de tener una mayor correlación con los parámetros evaluados, de aproximadamente (0,8554), y tener mayor incidencia sobre los aportes dados por el biofertilizante, es el que requiere de incrementar en menor medida su cantidad en el ensayo para poder alcanzar los valores óptimos establecidos.

5.5.4 Relación aporte/requerimiento real

Los análisis de campo indican que la mayor influencia y/o incremento en el contenido de materia orgánica del suelo es aportado por el compost, el cual requiere de aplicar $\pm 6,5$ arrobas por individuo (el doble del valor óptimo teórico planteado) para llegar a los valores óptimos establecidos.

Por otra parte, aunque el aporte del biofertilizante se considera nulo al no incidir significativamente en la efectividad del bioinsumo (C) y tener una baja correlación con los resultados de %M.O y %N.T, la ecuación de la línea de tendencia de la dosis más favorable establece que con al menos 15 litros del compuesto, los parámetros evaluados podrían alcanzar los valores óptimos establecidos y de igual manera, la dosis de biofertilizante óptima real se estima como nueve veces menor al compararla con la dosis teórica planteada. Aun así, es necesario contemplar mejoras en su producción con el objetivo de evaluar nuevamente su comportamiento en condiciones y factores adecuados.

6. Impacto social y humanístico del proyecto

El municipio de Vista Hermosa, Meta cuenta con una población de aproximadamente 25.032 habitantes y una superficie total de 408.400 hectáreas, de las cuales 79.728 ha son destinadas para la producción agraria. El sistema agrícola implementado en esta zona del territorio nacional corresponde principalmente al monocultivo de caña, maíz, palma africana y frutales (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2014) contribuyendo a la necesidad latente de sustituir el aporte nutricional del suelo mediante el uso de agroquímicos destinados para garantizar el crecimiento de los cultivos y el incremento en su producción. Pero, debido a su uso excesivo, además de las consecuencias medioambientales, su empleo compromete la salud de la población expuesta (Eugenia, McLaughlin, & Pennock, 2019) y en términos de seguridad alimentaria, presenta una relación directa con las poblaciones rurales diseminadas en suelos atróficos y degradados que junto con el incremento constante de los precios de los agroquímicos convencionales los cuales son importados de países en actual conflicto como Ucrania (Hernández, 2022), reducen el potencial de producción y obligan a las comunidades de campesinos y agricultores a desplazarse de las zonas rurales a las urbanas, con la finalidad de encontrar una alternativa económica que supla sus necesidades básicas.

Por ende, este proyecto de investigación permite contribuir al desarrollo de los aspectos técnicos pertinentes al proceso de biofertilización empleado en la finca palmera La Virayá, aportando al cese continuo de agroquímicos en el área de estudio mientras se enriquece el desarrollo socioeconómico de las partes directamente implicadas en la siembra, reproducción y cosecha del fruto de la palma africana, resaltando el interés de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (FEDEPALMA) y el Centro de Investigación en Palma de Aceite (CENIPALMA) en catalogar el predio como una “Parcela Demostrativa” al poner en práctica metodologías que posibilitan el desarrollo de estrategias de bajo costo y amigables con el entorno natural de la región por parte de los agricultores del municipio de Vista Hermosa.

7. Conclusiones

El estado inicial del suelo de la finca La Virayá presento resultados desfavorables para los parámetros de densidad aparente y pH, lo cual se asocia con el paso de maquinaria durante el proceso de recolección del racimo de palma aceitera junto con la aplicación reiterada de fertilizantes nitrogenados. Otros parámetros como el de porcentaje de materia orgánica y por ende porcentaje de nitrógeno total, aunque se establecen dentro los rangos medios para el tipo de clima característico de la región, dicho valor resulta deficiente para los requerimientos del cultivo.

Al evaluar las características del biofertilizante se determina que, aunque es consecuente con los valores esperados para este tipo de bioinsumo, el parámetro de pH al ser ácido es un indicativo de un proceso de reproducción microbiana de fermentación en bajas concentraciones de oxígeno, alterando las propiedades claves para las que el biofertilizante es formulado y denotando deficiencias en la estructura y suministro del flujo de oxígeno al área de producción. Por otra parte, el estudio del compost demuestra que respecto a los parámetros evaluados sus resultados lo posicionan dentro del rango óptimo para el aporte de materia orgánica y requerimientos nutricionales del suelo, deduciendo que la metodología implementada para su producción resulta eficaz para el cumplimiento de las variables esperadas.

A partir del diseño experimental desarrollado en el proyecto se logró determinar que, aunque las dosis reales individuales de los bioinsumos son significativamente más bajas al compararlas con los valores teóricos estimados, se evidencia que la mayor incidencia en el porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total es inducida por el compost y que por el contrario el biofertilizante aplicado no suple los requerimientos determinados para el suelo de la finca La Virayá. Aun así, el análisis del estudio establece que con las condiciones actuales de uso y producción de los bioinsumos la dosis óptima se estima en $\pm 6,5$ arrobas de compost y 15 litros de biofertilizante para ejemplar de palma sembrado.

Finalmente, al considerar los resultados obtenidos en la evaluación de las condiciones iniciales del suelo, las características de los bioinsumos producidos y empleados en el proceso de

biofertilización y su comportamiento respecto al área total cultivada, la biodinámica del suelo, los requerimientos nutricionales del cultivo y los factores medioambientales, es importante llevar a cabo una serie de ajustes en el proceso de producción de biofertilizante con el objetivo de mejorar sus propiedades, las cuales son cruciales para continuar con el cese del uso de agroquímicos en la finca La Virayá.

8. Recomendaciones

Es necesario incrementar la producción del biofertilizante al poner en funcionamiento la totalidad de los tanques de preparado, al evidenciar que lo elaborado en la actualidad no es suficiente para suplir la demanda del bioinsumo respecto a la totalidad de ejemplares de palma africana sembrada en la finca La Virayá.

Mejorar la entrada de oxígeno o en su defecto el oxígeno disuelto presente en el preparado de biofertilizante contenido en los tanques. Para ello, se sugiere la evaluación de los dispositivos empleados en el aprovechamiento de la energía solar con el objetivo de incrementar el volumen de oxígeno suministrado por bombeo, la posibilidad de aumentar de 3 a 5 veces la cantidad de bombeos por día, el considerar las pérdidas de presión en los ductos de suministro debido a la posición y elevación de las tuberías que ingresan en los tanques, y adicionalmente complementar con agitaciones manuales las cuales además de incrementar el oxígeno disuelto del compuesto, homogenizan el preparado y previene el desarrollo de agentes externos y/o patógenos en el área. Cabe aclarar, que es necesario asegurar que estas acciones sean constantes debido a que el cese en el ingreso de oxígeno reduce significativamente la calidad del biofertilizante.

Asegurar el abastecimiento adecuado de las materias primas requeridas en la producción de biofertilizante de acuerdo con la metodología establecida por Zarate (2019) en el informe de *Memoria de curso de abonos orgánico* respecto a la cantidad total de bioinsumo a preparar.

Procurar que el área de producción de biofertilizante restrinja su entrada a fin de imposibilitar el acceso de personal no capacitado, así como de fauna doméstica y/o silvestre, ya que esto puede comprometer el correcto funcionamiento del sistema de producción y la inocuidad requerida durante su elaboración, almacenamiento y distribución.

Planificar y monitorear las fechas establecidas para el riego y/o aplicación del biofertilizante y el compost con el objetivo de suministrar por áreas y frecuencias establecidas los bioinsumos empleados en el proceso de biofertilización.

9. Referencias

- Afanador Barajas, L. (2017). *Biofertilizantes: conceptos, beneficios y aplicación en Colombia*. Universidad Central.
https://www.researchgate.net/publication/331454557_Biofertilizantes_conceptos_beneficios_y_aplicacion_en_Colombia
- Balasubramanian. (2017). *Soil Taxonomy & Classification*. Mysore. Centre for Advanced Studies in Earth Science, University of Mysore. <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.15832.08964>
- Bedoya Cardoso, M., & Salazar Moreno, R. (2014). *Optimization of the use of fertilizers for coffee cultivation*. Mexican journal of agricultural sciences, 5(8), 1433-1439.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014001001433&lng=es&tlng=es
- Bembibre, V. (2022). *Concept of cultivation - Principle of Agriculture*. ABC Definition.
<https://www.definicionabc.com/general/cultivo.php>
- Benimeli, M. F., Plasencia, A., Corbella, R., Guevara, D., Sanzano, A., Sosa, F., & Fernández de Ullivari, J. (2019). *El Nitrogeno del suelo*. Universidad Nacional de Tucumán.
<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-catolica-sedes-sapientiae/suelos/elnitrogeno-del-suelo-2019/12751686>
- Bohórquez Santana, W. (2019). *El proceso de compostaje*. Universidad de la Salle.
<https://doi.org/10.19052/978-958-5486-67-6>
- Chávez, J. E., Echeverria Arangundi, C. M., & Echeverria Arangundi, G. A. (2020). *Efectividad de biochar y biofertilizantes en el crecimiento y calidad de plántulas de cacao*. Espamciencia, 11(2), 95-100. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v11i2.224
- Chirino, J. B., Pérez Rodríguez, J. V., & León Ledesma, J. (2021). *Introducción a las técnicas de muestreo*. Pirámide. <https://www.edicionespiramide.es/libro.php?id=6494914>
- Cortés, C., Penagos, B., Lizarazo, G., & Toca, J. (2017). *Desarrollo de competencias laborales en la Agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia*. Fedepalma.

- <https://web.fedepalma.org/bigdata/zonaprivada/laagroindustriadelapalmadeaceiteencolombia.pdf>
- Corzo, J., & Juracán, R. (2020). *Elaboración de compost y su utilización en la fertilización del cultivo de palma de aceite*. Departamento Técnico Agrícola - NaturAceites S.A. https://www.grepalma.org/wp-content/uploads/2020/03/BOLETIN14_ANIOS5_-MARZO-2020-1.pdf
- Daza, M. (2018). Estrategias para la optimización de la fertilización nitrogenada y reducción de la lixiviación de nitratos en sistemas productivos de plantas aromáticas. [*Tesis doctoral, Universidad del Valle*]. Repositorio. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/15011>
- Espinosa, J. C., Cifuentes, J. D., Gómez, G. A., Quintero, O., Gómez, C., & Ruiz - Delgado, J. (2021). *Guía ambiental para la agroindustria de la palma de aceite en Colombia*. Fedepalma https://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Guia_Ambiental_Fedepalma_Cap2.pdf
- Eugenia, N. R., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). *Soil pollution: a hidden reality*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2018001459>
- Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. (2020, 27 de mayo). *La Palma de Aceite en Colombia*. FEDEPALMA. <https://web.fedepalma.org/la-palma-de-aceite-encolombia-departamentos>
- Finck, A. (2021). *Fertilizantes y fertilización- Fundamentos y métodos para la fertilización de cultivos*. Reverté.
- Florencia. (2015). *Agrochemical - Principle of Agriculture*. ABCDefinition. <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/agroquimicos.php>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2015). *World reference base for soil resources*. World Soil Resources Reports. <https://www.fao.org/3/i3794en/I3794en.pdf>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *Sustainable Agriculture for Biodiversity*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/85baf9c5-ea7f-4e25-812f-737755a8b320/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022, 12 de abril). *The Oil Palm*. Modern Oil Palm Cultivation. <https://www.fao.org/3/t0309e/T0309E00.htm#TOC>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022, 6 de mayo). *Soil properties: physical properties*. FAO SOIL PORTAL. <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soilproperties/physical-properties/en/>
- Frye, C. (1972). *Análisis de suelos en la evaluación de su fertilidad para la aplicación de fertilizantes y correctores*. (3a ed.) Reunión Nacional de Suelos.
- Gines, G., & Navarro, S. (2014). *Fertilizantes: química y acción*. Mundi Prensa. <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484766780/fertilizantes--quimica-y-accion#:~:text=El%20progresivo%20aumento%20de%20la,mayores%20de%20la%20poblaci%C3%B3n%20mundial.>
- Grageda Cabrera, O. A., Díaz Franco, A., Peña Cabriaes, J. J., & Vera Nuñez, J. A. (2012). *Impacto de los biofertilizantes en la agricultura*. 3(6), 1261-1274. <https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sciarttext&pid=S2007-09342012000600015>
- Hernández, E. (2022, 25 de febrero). *La invasión de Rusia a Ucrania dispara hasta 180% el precio de los fertilizantes*. FORBES. <https://www.forbes.com.mx/invasion-rusia-ucraniadispara-precio-fertilizantes/>
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7244/1/2112059-2019-1-EF.pdf>
- Inamuddin., Mohd Imran, A., & Rajender Boddula, M. (2021). *Biofertilizers: study and impact*. Hoboken: Scriveners publishing.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2022, 21 de mayo). *Suelos de Colombia*. IDEAM. [http://www.ideam.gov.co/web/siac/sueloscolombia#:~:text=Los%20suelos%20de%20Colombia%20son,inceptisoles%20\(IGAC%2C%202012\).](http://www.ideam.gov.co/web/siac/sueloscolombia#:~:text=Los%20suelos%20de%20Colombia%20son,inceptisoles%20(IGAC%2C%202012).)

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). *Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos*. (6a ed). IGAC.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2014). *Manejo de Suelos Colombianos*. Gobierno Nacional.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2022, 20 de mayo). *Mapas de Suelos del Territorio Colombiano - Departamento del Meta*. Dato Abierto - Subdirección de Agrología. <https://geoportal.igac.gov.co/>
- Kumar, R., Kumawat, N, & Kumar Sahu, Y. (2017). *Role of biofertilizers in agriculture*. Popular Kheti. (5), 63-66. https://www.researchgate.net/publication/323185331_Role_of_Biofertilizers_in_Agriculture
- Loaiza, J. (2010). *El recurso suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Suelos Ecuatoriales. 41(2), 6-18. <https://docplayer.es/49406067-El-recurso-suelo-juan-carlos-loaiza-articulode-revision-the-soil-as-a-resource-resumen.html>
- Mayoral, M. L., Labandera, C., & Sanjuán, J. (2020). *Biofertilizantes en Iberoamérica: una visión técnica, científica y empresarial*. Universitaria. https://books.google.com.co/books?id=5ufzDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Documento Técnico de Soporte del Plan de Ordenamiento Territorial para el municipio de Vistahermosa, Meta*. Gobierno de Colombia. https://visionamazonia.minambiente.gov.co/content/uploads/2021/04/1-DTS_DIAGN%C3%93STICO_-Vistahermosa.pdf
- Montoya, G. (2016). Optimización del proceso de producción de un bioinoculante con base en
- Montoya Giraldo, Y. (2016). Optimización del proceso de producción de un bioinoculante con base en *Bacillus Subtilis* EA-CB0575. **[Trabajo de grado, Universidad EAFIT]**. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/10784/9736>
- Mora, Y. (2019). *La palma de aceite como ejemplo a la agroindustria en Colombia*. **[Trabajo de grado, Fundación Universidad de América]**. Repositorio Institucional.

- Munsell, A. H. (2019). *A Color Notation: a measured color system, based on the three qualities Hue, Value and Chroma*. Good Press.
- Navarro. (2016). *Agribusiness concept - Principle of Agriculture*. ABC Definition. <https://www.definicionabc.com/economia/agroindustria.php>
- Navas, C. (2001). *Bibliografía sobre: Palma africana (Elaeis guineensis)*. Instituto Nacional Autonomo de investigaciones Agropecuarias. https://books.google.com.co/books?id=ZZIzAQAAMAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., Nabel, V., Albán, K., & Morales, F. (2018). *Physical properties of the soil in different agricultural systems in the province of Los Ríos, Ecuador*. University of Cordoba. https://www.researchgate.net/publication/346811471_Physical_properties_of_the_soil_in_different_agricultural_systems_in_the_province_of_Los_Rios_Ecuador
- Organization of American States. (2019). *Republic of Panama - Integrated Development Project for the Eastern Region of Panama - Darién*. Government of the Republic of Panama. <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea30s/begin.htm>
- Pellegrini, A. (2019). *Apunte de Edafología - Textura y Color del Suelo*. Facultad de Ciencias Agraria y Forestales - Universidad Nacional de la Plata. <https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/mod/resource/view.php?id=25618>
- Pennock, D. &. (2016). *World State of Soil Resources*. United Nations Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/3/i5126s/i5126s.pdf>
- Porta, J. (2014). *Edafología: Uso y protección de suelos*. (3a ed). Mundi Prensa. <https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484767503/edafologia--uso-y-proteccionde-suelos>
- Ramos, L. (2018). *Caracterización físico - química del biofertilizante Microorganismos de Montaña (MM) para la Finca Agroecológica Santa Inés. [Trabajo de grado, Escuela Agrícola*

- Panamericana].** Repositorio. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/1045530>
- Rodriguez Reina, C. (2016). *Caracterización del uso Actual y Potencial de los Tipos de Utilización de Tierra en la Parte Plana del Municipio de Puerto Gaitán-Meta. [Trabajo de grado, Universidad de los Llanos Orientales].* Repositorio. <https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/340/RUNILLANOS/AGR0828%20Caracterizacion%20del%20Uso%20Actual%20y%20Potencial%20de%20los%20Tipos%20de%20Utilizacion%20de%20Tierra%20en%20la%20Parte%20Plana%20del%20Municipio%20de%20Puerto%20Gaitan%20-%20Meta?sequence=1>
- Rodríguez, Andrés; Rubiano S., Yolanda; Gutiérrez V., Albert J. Bernal R., Jaime H.; Rodríguez H., Nubia Stella; Arguello, Orlando; Pulido C., Sandra X. (2013). *Cobertura vegetal y usos del suelo de la altillanura plana de los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán, Meta: escala 1:25.000.* Corpoica. <https://1library.co/document/y96g2vry-cobeturavegetal-altillanura-municipios-puerto-lopez-puerto-gaitan.html>
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual del Compostaje del Agricultor: experiencias en América Latina.* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>
- Ruiz, C. Q. (1993). *Elementos de inferencia estadística.* Universidad de Costa Rica. https://books.google.co.cr/books?id=YsWPLU5_GpMC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false
- Rupert G. Miller, J. (2012). *Beyond ANOVA: Basics of Applied Statistics.* Chapman & Hall/CRC. https://books.google.com.co/books?id=nz241IjmSGgC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Sarastey Petrel, J. (2022, 2 de mayo). *Los suelos en Colombia se están deteriorando.* AGROSAVIA. <https://www.agrosavia.co/noticias/los-suelos-agricolas-de-colombia-seestan-deteriorando>
- Ucha, F. (2010). *Concept of contribution - Principle of Agriculture.* ABC Definition. <https://www.definicionabc.com/economia/aporte.php>

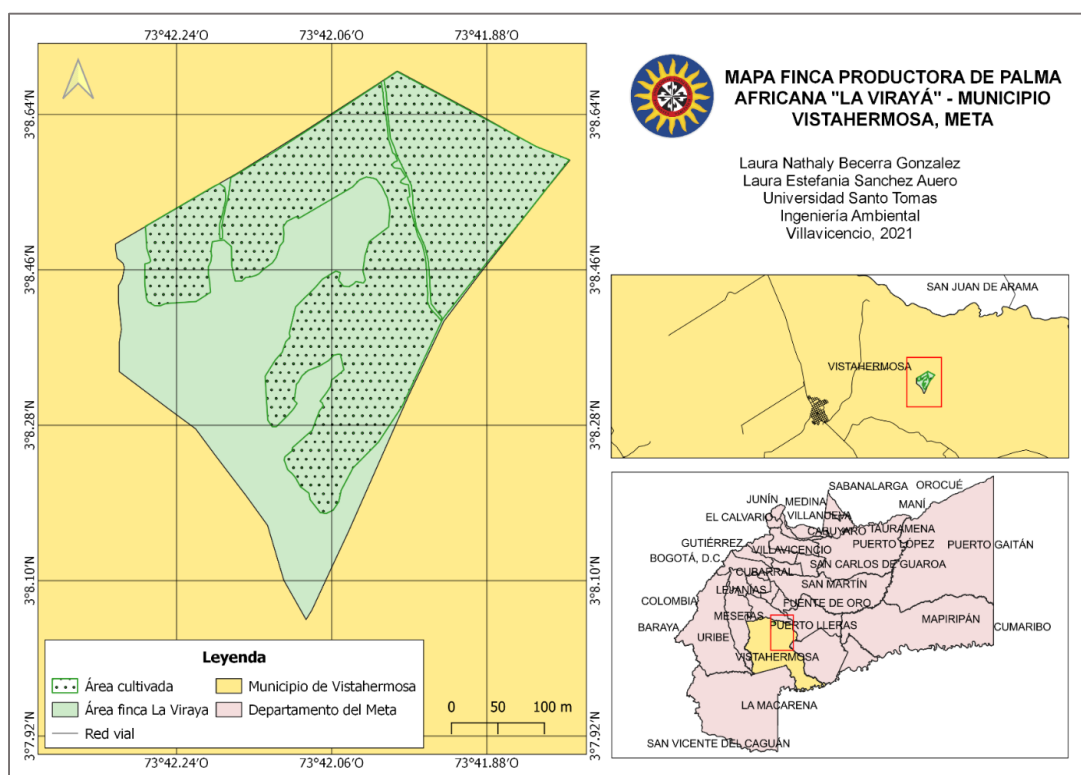
- USDA. (2022, 9 de mayo). *Soild Health - Inherent Factors Affecting Soil pH*. United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051574.pdf
- USDA. (2022, 9 de mayo). *United States Department of Agriculture*. Soild Health for Educators - Soild Bulk Density. <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/health/assessment/>
- Voroney, P. (2019). *Soils for Horse Pasture Management*. School of Environmental Sciences, University of Guelph. https://www.researchgate.net/publication/330055034_Soils_for_Horse_Pasture_Management
- Whela, A. (2018). *Bioinsumos: un giro hacia la sustentabilidad*. Ministerio de Agricultura y Pesca. <http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Publicaciones/revistas/nota.php?id=200>
- Zárate, J. (2019). *AulaViva Tropical - Memoria de curso de abono orgánicos*. Centro de Formación en Innovación Campesina - FINCA.

10. Anexos

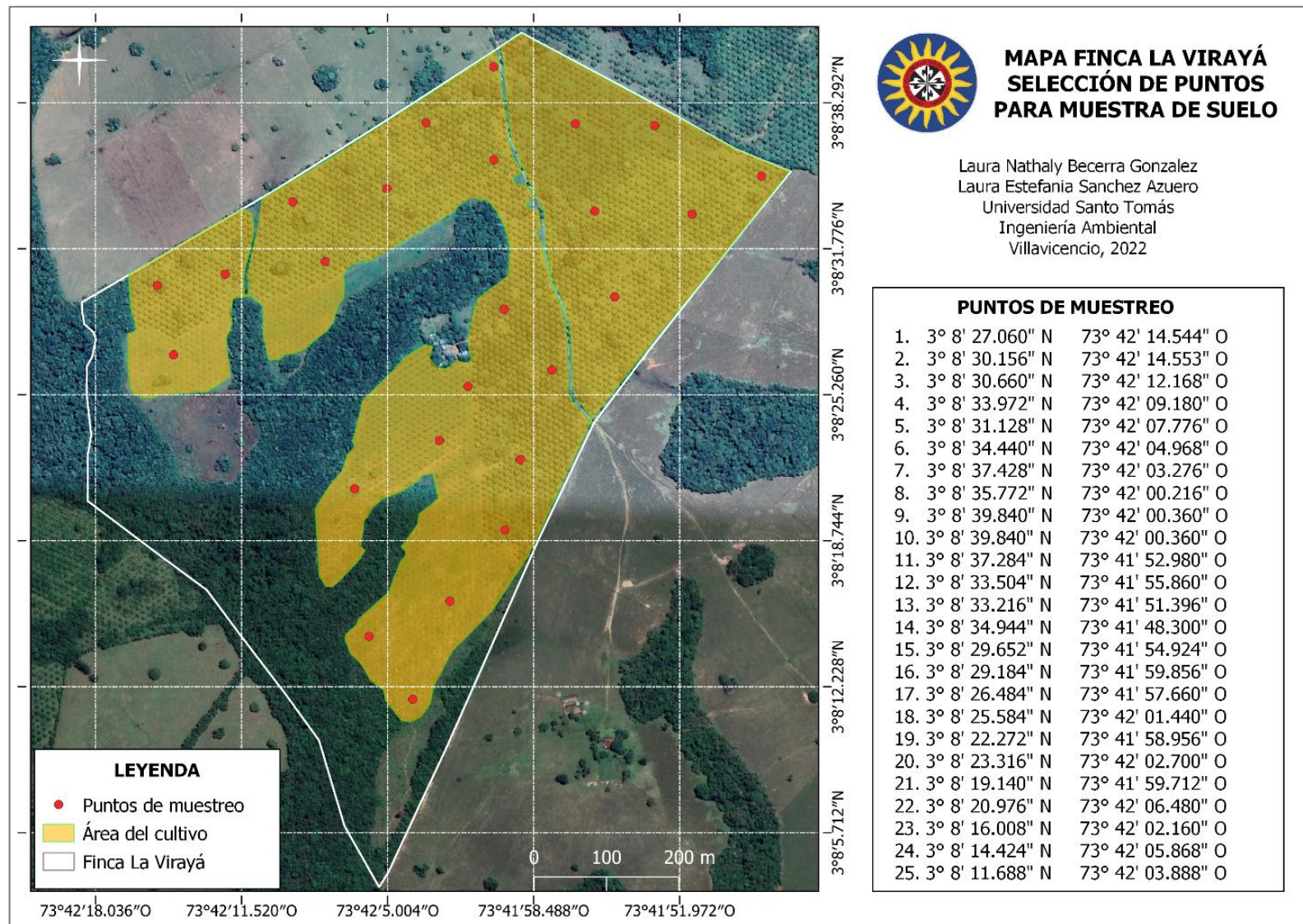
Anexo 1 Área del desarrollo del proyecto

La investigación se lleva a cabo al sur del departamento del Meta, en el municipio de Vista Hermosa específicamente en la finca La Virayá, localizada a $3^{\circ}8'27.37''$ N y $73^{\circ}42'2.50''$ O, cuya área es de 54,5 hectáreas, siendo destinadas 32,4 ha para el cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis*) **Ver: Figura 8**. Actualmente, los parámetros de materia orgánica y nitrógeno total del suelo generan preocupación al verse afectados por el uso excesivo de agroquímicos a lo largo de los años, aumentando la degradación de dicho recurso, reduciendo el rendimiento del área destinada para cultivo y obligando a la expansión de la frontera agrícola, por lo que la implementación de procesos de biofertilización optimizados respecto a los parámetros requeridos en el suelo permite disminuir el empleo de insumos agrícolas de origen químico y con ello las consecuencias ambientales, económicas y sociales que implican.

Figura 8 Localización geográfica y área de influencia del proyecto



Nota. Elaborado a partir de datos abiertos del Geoportal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Anexo 2 Mapa de la distribución de los puntos establecidos para el muestreo de suelo

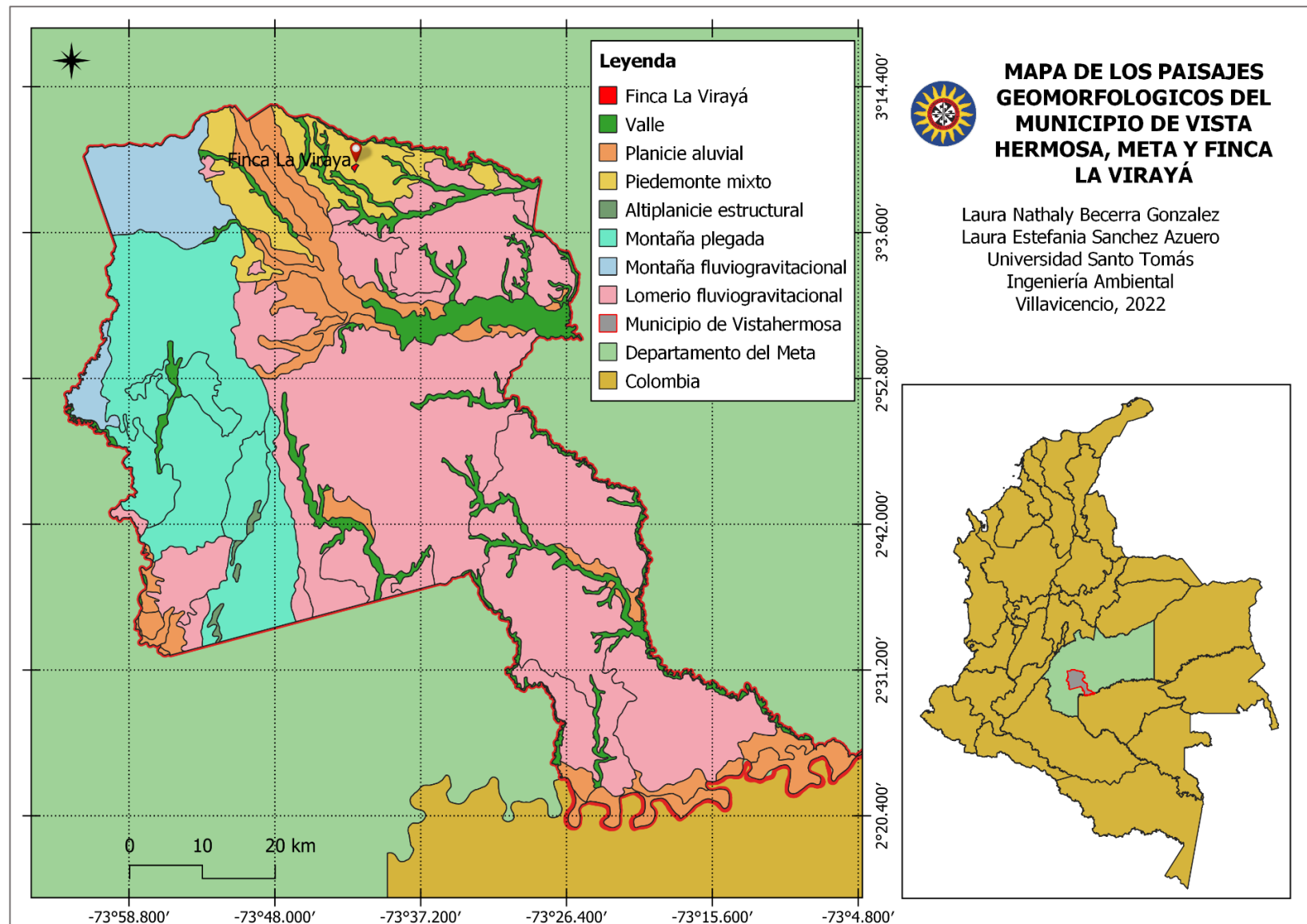
Nota. Elaborado a partir de datos abiertos del Geoportal del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Anexo 3 Tabla de formulas

Formula/Ecuación	Variable
Porcentaje de humedad	
$pw (\%) = \frac{(Pmh - Pc) - (Pms - Pc) * 100}{Pms - Pc}$	pw (%): porcentaje de humedad.
	Pmh: peso inicial de la muestra + el peso de la capsula (g).
	Pms: peso de la muestra + el peso de la capsula después del secado a 105 °C (g).
	Pc: peso de la capsula (g).
	Ds: densidad real (g/mL).
Densidad aparente	
$Da = \frac{PSS \ 105 \ ^\circ C}{Vd - \left[\frac{PSSP - PSS}{0,9} \right]}$	Da: densidad aparente (g/mL).
	PSS 105 °C: peso de terrón del suelo corregido (g).
	Vd: volumen desplazado (mL).
	PSSP: peso del terrón de suelo parafinado (g).
	PSS: peso terrón de suelo sin parafinar (g).
Densidad real	
$Ds = \frac{(Mpss - Mpv) * Dw}{(Mpw - Mpv) - (Mpssw - Mpss)}$ $Ds = \frac{Mss}{Vmn - Vwcs} = \frac{Mss}{Vss}$	Ds: densidad real (g/mL).
	Mpss: masa del picnómetro + la masa del suelo seco a 105 °C (g).
	Mpv: masa del picnómetro vacío y seco (g).
	Mpw: masa del picnómetro vacío + agua (g).
	Mpssw: masa del picnómetro + el peso del agua + el peso del suelo seco (g).
	Dw: densidad del agua.
	Mss: masa del suelo seco (g).
	Vwm: volumen del agua sin suelo (mL).
	Vwcs: volumen del agua con suelo (mL).
	Vss: volumen del suelo seco (mL).

Anexo 3 Tabla de formulas*Continuación*

Textura	
$Mhc_{seg} = T^{\circ}C + (0,11 * 4)$	Mhcseg: medida del hidrómetro corregida en función del tiempo.
$\%A = 100 - Mhc$	T: temperatura.
$\%Ar = Mhc_{3600seg}$	(%A): Porcentaje de arena.
$\%L = 100 - (\%A + \%Ar)$	(%Ar): Porcentaje de arcilla.
	(%L): Porcentaje de limo.
Materia orgánica y nitrógeno total	
$\%M.O = \%C.O * 1,72$	M.O: materia orgánica.
$\%N.T = \%M.O * 0,05$	N.T: nitrógeno total.
	C.O: carbono orgánico.
Materia fresca	
$MF = \frac{S * p * Da * \%M.O}{\%m.s * K_1}$	S: superficie (m ²).
	P: profundidad (m).
	Da: densidad aparente (g/mL).
	%m.s: porcentaje de materia fresca.
	K ₁ : coeficiente isohúmico respecto al material de origen del biofertilizante y compost.

Anexo 4 Mapa de los paisajes geomorfológicos del municipio de Vista Hermosa, Meta

Anexo 5 Diseño experimental de parcelas divididas

Respecto a una población total de 4000 palmas estimada al dividir el área total cultivada (32,4 ha) sobre el área ocupada por individuo, **Ver: Figura 9** y bajo un nivel de confianza del 90% indicando para análisis en entornos agrícolas, se determina el tamaño de la muestra para poblaciones finitas en 48 ejemplares de palma africana (*Elaeis guineensis*), los cuales serán sometidos bajo el diseño experimental de parcelas divididas a cuatro dosis de biofertilizante (B) (B1: 2,5 litros, B2: 3 litros, B3: 3,5 litros y B4: 4 litros) y tres dosis de compost (C) (C1: 0,5 arroba, C2: 1 arroba y C3: 1,5 arroba) **Ver: Figura 10** en bloques de cuatro repeticiones por tratamiento.

Figura 9 Esquema de siembra de palma africana en finca La Virayá

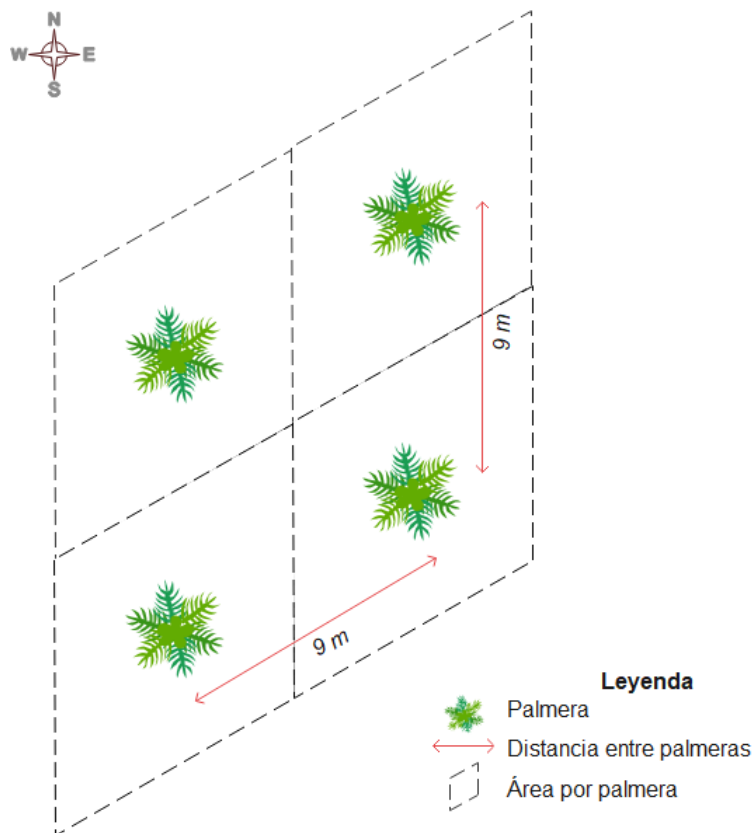


Figura 10 Esquema in situ de la aplicación de los tratamientos del diseño experimental

	C1		C2		C3	
B1	B1C1	B1C1	B1C2	B1C2	B1C3	B1C3
	B1C1	B1C1	B1C2	B1C2	B1C3	B1C3
B2	B2C1	B2C1	B2C2	B2C2	B2C3	B2C3
	B2C1	B2C1	B2C2	B2C2	B2C3	B2C3
B3	B3C1	B3C1	B3C2	B3C2	B3C3	B3C3
	B3C1	B3C1	B3C2	B3C2	B3C3	B3C3
B4	B4C1	B4C1	B4C2	B4C2	B4C4	B4C4
	B4C1	B4C1	B4C2	B4C2	B4C4	B4C4

Anexo 6 Tabla de resultados de los parámetros de porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total respecto a los tratamientos aplicados

Compost (A) Biofertilizante (B)		Repeticiones de Materia Orgánica (%)				
Factor 1	Factor 2	1	2	3	4	Sumatorias Parcela Chica
0,5 arroba	2,5 litros	2,34	2,40	2,40	2,41	9,55
	3 litros	2,42	2,44	2,41	2,40	9,67
	3,5 litros	2,43	2,42	2,41	2,44	9,70
	4 litros	2,43	2,44	2,42	2,46	9,75
Sumatoria Parcela Grande		9,62	9,70	9,64	9,71	38,67
1 arroba	2,5 litros	2,48	2,46	2,50	2,54	9,98
	3 litros	2,48	2,47	2,53	2,55	10,03
	3,5 litros	2,48	2,49	2,57	2,60	10,14
	4 litros	2,56	2,55	2,87	3,00	10,98
Sumatoria Parcela Grande		10,00	9,97	10,47	10,69	41,13
1,5 arroba	2,5 litros	2,58	2,57	2,90	3,01	11,06
	3 litros	3,00	3,01	3,02	3,05	12,08
	3,5 litros	3,02	3,04	3,09	3,00	12,15
	4 litros	3,06	3,08	3,07	3,09	12,30
Sumatoria Parcela Grande		11,66	11,70	12,08	12,15	47,59
Sumatorias Totales		31,28	31,37	32,19	32,55	127,39

Anexo 6 Tabla de resultados de los parámetros de porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total respecto a los tratamientos aplicados

Continuación

Compost (A)	Biofertilizante (B)	Repeticiones de nitrógeno Total (%)				
Factor 1	Factor 2	1	2	3	4	Sumatorias Parcela Chica
0,5 arroba	2,5 litros	0,117	0,120	0,120	0,121	0,478
	3 litros	0,121	0,122	0,121	0,120	0,484
	3,5 litros	0,122	0,121	0,121	0,122	0,485
	4 litros	0,122	0,122	0,121	0,123	0,488
Sumatoria Parcela Grande		0,481	0,485	0,482	0,486	1,934
1 arroba	2,5 litros	0,124	0,123	0,125	0,127	0,499
	3 litros	0,124	0,124	0,127	0,128	0,502
	3,5 litros	0,124	0,125	0,129	0,130	0,507
	4 litros	0,128	0,128	0,144	0,150	0,549
Sumatoria Parcela Grande		0,500	0,499	0,524	0,535	2,057
1,5 arroba	2,5 litros	0,129	0,129	0,145	0,151	0,553
	3 litros	0,150	0,151	0,151	0,153	0,604
	3,5 litros	0,151	0,152	0,155	0,150	0,608
	4 litros	0,153	0,154	0,154	0,155	0,615
Sumatoria Parcela Grande		0,583	0,585	0,604	0,608	2,380
Sumatorias Totales		1,564	1,569	1,610	1,628	6,370