

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRIA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGIA
MENCION, GESTION AMBIENTAL



**APLICACIÓN DE DIFERENTES METODOLOGÍAS EN EL USO DE
ENMIENDAS PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS
DEGRADADOS EN LA LOCALIDAD DE RÍO ESPINO - MONZÓN**

TESIS

Para optar el grado académico de

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGIA

MENCION: GESTION AMBIENTAL

PATRICIA TELLO REÁTEGUI

Tingo María - Perú

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO
DIRECCION



Av. Universitaria s/n .Telefax (062) 561070-Email: posgrado@unas.edu.pe

"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad universitaria, siendo las 6:00 pm, del día martes 20 de Marzo del 2018, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"APLICACIÓN DE DIFERENTES TECNICAS EN EL USO DE ENMIENDAS PARA LA RECUPERACION DE SUELOS DEGRADADOS EN LA LOCALIDAD DE RIO ESPINO - MONZON".

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención Gestión Ambiental, **PATRICIA TELLO REATEGUI**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** Con el calificativo de **BUENO**.

Acto seguido, a horas 8:00 pm el Presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

.....
MSc. LUCIO MANRIQUE DE LARA
Presidente del Jurado

.....
MSc. JOSE LEVANO CRISOSTOMO
Miembro del Jurado

.....
MSc. LADISLAO RUIZ RENGIFO
Miembro del Jurado

.....
Dr. HUGO MUAMANI YUPANQUI
Miembro del Jurado - Asesor



DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía.

A mí amado esposo y querida hija por el amor y apoyo incondicional en todo momento, por su motivación constante de superación permitiéndome ser mejor ser humano.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mis hermanos, Isaac Erick, Iván y Jorge Isaac; por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho. Y a mis sobrinas, para que vean en mí un ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y a todo el personal que la conforman, por su apoyo y confianza, en especial a los docentes de la Escuela de Post Grado que contribuyeron en mi formación profesional.

A los miembros del jurado de tesis: Ing. M. Sc. Lucio Manrique De Lara Suarez, Ing. M. Sc. José Lévano Crisóstomo e Ing. M. Sc. Ladislao Ruiz Rengifo, por su aporte a este trabajo de investigación.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al Dr. Hugo Alfredo Huamani Yupanqui por su importante aporte y participación activa en el desarrollo de esta tesis. Debo destacar, por encima de todo, su disponibilidad y paciencia desde el inicio a pesar de las dificultades resultó benéfica tanto a nivel científico como personal. No cabe duda que su participación ha enriquecido el trabajo realizado y, además, ha significado el surgimiento de una sólida y buena amistad

Asimismo, el trabajo tan arduo y lleno de dificultades como el desarrollo de una tesis de maestría te lleva a concentrar la mayor parte del mérito en el aporte que has hecho. Sin embargo, es imposible todo lo logrado sin la participación de personas y el Programa Nuevas Alternativas de USAID que han facilitado las cosas para que este trabajo llegue a un feliz término. Por ello, es para mí un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con ellas, expresándoles mis agradecimientos.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Sr. Jaime Armando García Díaz, Director del Programa por aceptar realizar esta tesis magistral. Su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación como profesional. Las ideas propias, siempre enmarcadas en su orientación y rigurosidad, han sido la clave del buen trabajo que hemos realizado juntos, el cual no se puede concebir sin su siempre oportuna participación. Le agradezco también el haberme facilitado siempre los medios suficientes para llevar a cabo todas las actividades propuestas durante el desarrollo de esta tesis.

En este mismo contexto, agradezco a los alumnos de la Facultad de Agronomía, por el apoyo en campo. Para aquellos amigos que han compartido conmigo los “ires y venires” en el plano personal y profesional durante esta jornada de investigación y los compañeros del programa con los que compartí muchas actividades extras. A mi amigo César Santos Pisco, con quien aún la conversación más ligera te deja algo provechoso. Y a todos mis colegas que durante 4 años y 5 meses en el Programa Nuevas Alternativas, me permitieron dar grandes pasos profesionales que a la vez se convirtieron en una base sólida de hábitos de trabajo con los cuales afrontar el futuro.

Por supuesto, el agradecimiento más profundo y sentido va para mi familia. Sin su apoyo, colaboración e inspiración habría sido imposible llevar a cabo este trabajo.

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	18
II. REVISIÓN DE LITERATURA	20
2.1. Degradación de suelos.....	20
2.2. Indicadores del suelo	22
2.2.1. Indicadores físicos.....	23
2.2.2. Indicadores químicos.....	23
2.2.3. Indicadores biológicos	24
2.3. Sistemas agroforestales.....	24
2.4. Materia orgánica.....	26
2.5. Carbonato de calcio y magnesio (Dolomita).....	27
2.6. Roca fosfatada o fosfórica.....	28
2.7. Biofertilizantes	29
2.8. Disponibilidad de nutrientes	30
2.8.1. Nitrógeno	31
2.8.2. Fósforo	32
2.8.3. Potasio.....	33
2.9. Encalado	35
2.10. Organismos del suelo y el pH	36
2.11. Cultivo de cacao y la coca.....	36
2.8.1. Asociación del cacao con otros cultivos	37
III. MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1. Lugar de ejecución	40

3.1.1. Ubicación política.....	40
3.1.2. Ubicación geográfica y factores climáticos	40
3.1.3. Datos meteorológicos	40
3.1.4. Historia del lugar de ejecución o campo experimental.....	41
3.2. Materiales y equipos	42
3.2.1. Materiales, herramientas e insumos	42
3.2.2. Equipos.....	43
3.3. Metodología	43
3.3.1. Pre campo	43
3.3.2. Campo	44
3.3.3. Gabinete	54
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.1. Técnica I.....	61
4.1.1. Propiedades físicas del suelo de la técnica I	61
4.1.2. Propiedades químicas del suelo de la técnica I	65
4.1.3. Propiedades biológicas de la técnica I.....	71
4.2. Técnica II.....	73
4.2.1. Propiedades físicas de la técnica II	73
4.2.2. Propiedades químicas de la técnica II	80
4.2.3. Propiedades biológicas de la técnica II.....	85
4.3. Técnica III.....	88
4.3.1. Propiedades físicas de la técnica III	88
4.3.2. Propiedades químicas de la técnica III	96
4.3.3. Propiedades biológicas de la técnica III.....	104

4.4. Técnica IV	106
4.4.1. Propiedades físicas de la técnica IV	106
4.4.2. Propiedades químicas de la técnica IV	112
4.4.3. Propiedades biológicas de la técnica IV	121
4.5. Altura de planta	125
4.6. Relación entre las características físicas, químicas y biológicas con la capacidad productiva del suelo.....	129
V. CONCLUSIONES	131
VI. RECOMENDACIONES.....	132
VII. RESUMEN.....	133
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	137
IX. ANEXO	141

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Niveles de la materia orgánica.....	27
2. Niveles de contenido de nitrógeno.....	32
3. Niveles del contenido total de fósforo.....	33
4. Niveles de contenido de potasio.....	35
5. Datos meteorológicos registrados durante la ejecución del experimento correspondiente, Abril a Setiembre del 2016.	41
6. Análisis físico, químico y biológico del suelo experimental.....	44
7. Descripción de los tratamientos de la técnica I.....	53
8. Descripción de los tratamientos de la técnica II.....	53
9. Descripción de los tratamientos de la técnica III.....	53
10. Descripción de los tratamientos de la técnica IV.	54
11. Esquema del análisis de variancia de la técnica I.....	55
12. Esquema del análisis de variancia de la técnica II.....	56
13. Esquema del análisis de variancia de la técnica III.....	58
14. Esquema del análisis de variancia de la técnica IV.	60
15. Parámetros químicos del suelo.....	50
16. Resumen del análisis de variancia de las propiedades físicas del suelo de la técnica I.....	62
17. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para las propiedades físicas del suelo de la densidad, porosidad y velocidad de infiltración de la técnica I...	63
18. Resumen del análisis de variancia de las propiedades químicas del suelo de la técnica I.....	67

19. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) de las propiedades químicas del suelo del pH, materia orgánica y fosforo de la técnica I.	68
20. Resumen del análisis de variancia de las propiedades biológicas del suelo de la técnica I.	71
21. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para las propiedades biológicas a los 3, 7, 14 y 21 días después del trasplante de cacao.	72
22. Resumen del análisis de variancia de las propiedades físicas del suelo de la técnica II.	73
23. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para las propiedades físicas del suelo de la densidad, porosidad, índice de infiltración y humedad de la técnica II.	74
24. Resumen del análisis de variancia de las propiedades químicas del suelo de la técnica II.	81
25. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para las propiedades químicas del suelo de la materia orgánica, nitrógeno y fosforo de la técnica II.	82
26. Resumen del análisis de variancia de las propiedades biológicas del suelo de la técnica II.	85
27. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para las propiedades biológicas del suelo a los 14 y 21 días de la técnica II.	86
28. Resumen del análisis de variancia de las propiedades físicas del suelo de la técnica III.	89
29. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para el efecto principal del factor A (niveles de dolomita) en la propiedad física del suelo del índice de penetrabilidad a 0 cm y 5 cm respectivamente.	90

30. Análisis de variancia de los efectos simples de los factores en estudio con la velocidad de infiltración.	91
31. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) de los efectos simples de los factores en estudio con la velocidad de infiltración.	92
32. Resumen del análisis de variancia de las propiedades químicas del suelo de la técnica III.	98
33. Efecto principal de la aplicación de los niveles de la materia orgánica en el incremento de la materia orgánica, nitrógeno y fosforo en el suelo de la técnica III.	99
34. Comparación entre factorial y testigo en las propiedades químicas de suelo como el pH, Capacidad de Intercambio Catiónico, materia orgánica, nitrógeno y fosforo.	100
35. Resumen del análisis de variancia de las propiedades biológicas del suelo de la técnica III.	104
36. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para las propiedades biológicas del suelo a los 3, 7, 14 y 21 días de la técnica III.	105
37. Resumen del análisis de variancia de las propiedades físicas del suelo de la técnica IV.	108
38. Análisis de variancia de los efectos simples del factor A (niveles de la dolomita) con el factor B (niveles de la materia orgánica) y el factor B (niveles de la materia orgánica) con el factor C (niveles de la roca fosfórica) en la velocidad de infiltración de la técnica IV.	109
39. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor A (niveles de la dolomita) con el nivel b1 (6 % materia orgánica) y factor B (niveles de la	

	materia orgánica) con el nivel c1 (150 g P ₂ O ₅) en la velocidad de infiltración de la técnica IV.	109
40.	Resumen del análisis de variancia de las propiedades químicas del suelo de la técnica IV.	114
41.	Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para el efecto principal del factor A (dolomita) en el porcentaje de materia orgánica, nitrógeno, Capacidad de Intercambio Catiónico, calcio y magnesio en el suelo de la técnica IV.	115
42.	Análisis de variancia de los efectos simples entre el factor A (niveles de dolomita) con el factor C (niveles de roca fosfórica) en el fosforo del suelo de la técnica IV.	119
43.	Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor A (niveles de la dolomita) con el nivel c2 (300 g P ₂ O ₅) del fosforo de suelo de la técnica IV.	119
44.	Resumen del análisis de variancia de las propiedades biológicas del suelo de la técnica IV.	122
45.	Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para las propiedades biológicas del suelo a los 3, 7, 14 y 21 días de la técnica IV.	122
46.	Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$), de los tratamientos en la capacidad productiva en las técnicas en estudio.	127
47.	Análisis de variancia de la relación entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.	130
48.	Altura del plantón de cacao en las técnicas en estudio.	142
49.	Resumen de las propiedades físicas, químicas y biológicas en las técnicas I, II, III y IV.	143

50. Peso de suelo por hoyo, número de plantas y cantidad de materia orgánica que se aplicó en la técnica I.....	152
51. Número de plantas, cantidad de dolomita y de materia orgánica que se aplicó en la técnica II.	152
52. Cantidad de dolomita, roca fosfórica y materia orgánica que se aplicarán en la técnica III.	153
53. Cantidad de dolomita, de roca fosfórica y de materia orgánica que se aplicarán en la técnica 4 más los *biofertilizantes aplicados cada 21 días.....	153
54. Resumen de la cantidad de insumos.....	154
55. Dosificación de biofertilizantes.....	154

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Diseño del sistema con cacao y maderables.....	38
2. Diseño del sistema con cacao, musáceas, leguminosas y maderables.....	39
3. Parcela experimental excocal.....	42
4. Correlación entre materia orgánica y porosidad.....	63
5. Correlación entre materia orgánica y densidad.....	64
6. Correlación entre materia orgánica y velocidad de infiltración.....	64
7. Correlación entre materia orgánica y pH.....	68
8. Correlación entre la fuente de materia orgánica con materia orgánica del suelo.....	69
9. Correlación entre materia orgánica y fosforo.....	69
10. Cantidad de microorganismos a los 3, 7, 14 y 21 días de la técnica I.....	72
11. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica y porosidad del suelo de la técnica II.....	75
12. Correlación entre la fuente de materia orgánica y densidad del suelo de la técnica II.....	76
13. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica y del índice de penetrabilidad (0 D) del suelo de la técnica II.....	77
14. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica con el índice de penetrabilidad (5 D) del suelo de la técnica II.....	78

15. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica con humedad del suelo de la técnica II.	79
16. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica con la materia orgánica del suelo de la técnica II.	82
17. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica con el nitrógeno del suelo de la técnica II.	83
18. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica con el fosforo del suelo de la técnica II.	84
19. Propiedades biológicas del suelo a los 3, 7, 14 y 21 días de la técnica II.	86
20. Efecto de la dolomita en el índice de penetrabilidad.....	90
21. Niveles de la dolomita con el 6 % de materia orgánica en la velocidad de infiltración de la técnica III.	92
22. Niveles de la materia orgánica con 2 toneladas de dolomita en la velocidad de infiltración de la técnica III.	93
23. Niveles de la roca fosfórica con el 9 % de materia orgánica en la velocidad de infiltración de la técnica III.	94
24. Niveles de la materia orgánica a 150 g de P ₂ O ₅ en la velocidad de infiltración de la técnica III.	95
25. Comparación entre el testigo vs factorial en la velocidad de infiltración de la técnica III.	96
26. Niveles de la materia orgánica al 6 y 9 % en el incremento de la materia orgánica, nitrógeno y fosforo en el suelo en la técnica III.	99

27. Comparación entre factorial y el testigo en el pH del suelo de la técnica III.	100
28. Comparación entre factorial y el testigo en la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo de la técnica III.....	101
29. Comparación entre factorial y el testigo en la materia orgánica del suelo de la técnica III.	101
30. Comparación entre factorial y el testigo en el nitrógeno del suelo de la técnica III.....	102
31. Comparación entre factorial y el testigo en el fósforo del suelo de la técnica III.	102
32. Propiedades biológicas del suelo a los 3, 7, 14 y 21 días de la técnica III.	106
33. Niveles de la dolomita con el 6 % de materia orgánica en la velocidad de infiltración de la técnica IV.	110
34. Niveles de la materia orgánica con 150 g P ₂ O ₅ en la velocidad de infiltración de la técnica IV.	110
35. Comparación entre el factorial vs el testigo en la capacidad de infiltración de la técnica IV.	111
36. Niveles de la dolomita en el incremento de la materia orgánica del suelo de la técnica IV.....	115
37. Niveles de la dolomita en el incremento del nitrógeno en el suelo de la técnica IV.	116
38. Efecto de la dolomita en el incremento de la Capacidad de Intercambio Catiónico en el suelo de la técnica IV.	117

39.	Efecto de la dolomita en el incremento del calcio en el suelo de la técnica IV.....	117
40.	Efecto de la dolomita en el incremento del magnesio en el suelo de la técnica IV.....	118
41.	Efecto de los niveles de la dolomita con 300 g de P ₂ O ₅ en el fosforo del suelo de la técnica IV.....	119
42.	Comparación entre el factorial vs el testigo del pH del suelo de la técnica IV.....	120
43.	Comparación entre el factorial vs el testigo en la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo de la técnica IV.	120
44.	Propiedades biológicas del suelo a los 3 del factor BxC y a los 14 días de los factores AxB y BxC de la técnica IV.	124
45.	Propiedades biológicas del suelo a los 14 del factor BxC y a los 21 días del factor AxB de la técnica IV.	125
46.	Capacidad productiva del plantón de cacao de la técnica I.	127
47.	Capacidad productiva del plantón de cacao de la técnica II.....	128
48.	Capacidad productiva del plantón de cacao de la técnica III.	128
49.	Capacidad productiva del plantón de cacao de la técnica IV.....	129
50.	Ubicación del campo experimental.....	145
51.	Croquis del campo experimental.	146
52.	Croquis de la unidad muestral.	146
53.	Vista del campo antes de la ejecución del experimento.	147
54.	Vista del campo después del experimento.	147
55.	Demarcación del experimental.	148

56.	Estaquillado del campo experimental.	148
57.	Hoyado del campo experimental.	149
58.	Preparación y pesado de las enmiendas.....	149
59.	Acarreo de las enmiendas al campo experimental.	150
60.	Siembra de plántones de cacao	150
61.	Técnica IV. Prueba de infiltración inicial Vs. Prueba de infiltración final en campo, usando cilindros.....	151
62.	Desmalezamiento del campo experimental.	151
63.	Dosificación de biofertilizantes etapa trasplante /crecimiento.....	155
64.	Módulo productor de biofertilizantes.....	155
65.	Timbos 1 y 2 – Macronutrientes.....	156
66.	Timbos 3 y 4 – Micronutrientes.....	156

I. INTRODUCCIÓN

La destrucción de los bosques amazónicos producida por la tala indiscriminada, tanto para la extracción ilegal de madera como para la ampliación de la frontera agropecuaria, es un flagelo que afecta a muchas regiones en el mundo. El Perú no ha sido ajeno al problema de deforestación de las masas boscosas, por ser fuente de alimento y riqueza de la población (SCHWARTZ, 2004). En la región selva los grados de intervención del hombre tales como: usos de suelos, las prácticas agrícolas del monocultivo (coca), la deforestación, las costumbres y tradiciones de los colonos, han acelerado la degradación y/o erosión de los suelos y con ello ayudaron a la extinción de miles de plantas y animales silvestres, en otros términos la pérdida de la biodiversidad. En el año 1994 en Tino María, la degradación de los suelos superaba en más del 60 %, visibilizándose la pérdida de la biodiversidad y otros efectos como las inundaciones en las partes bajas, surgimiento de los problemas eólicos.

Durante años tras buscar recuperar suelos, luego de instalar cultivos, los agricultores vienen aplicando técnicas como el uso de fertilizantes sintéticos, encalado y otros paquetes tecnológicos sin buen resultado; La Comisión Nacional y Vida sin Drogas (DEVIDA) inicio en el 2013 la instalación de cultivos como cacao y café bajo sistemas agroforestales en el valle del Monzón incentivando la producción de biofertilizantes y compost (materia orgánica) a fin de reactivar la vida al suelo de manera eficaz y eficiente, además de usar áreas anteriormente intervenidas de forma paralela.

Bajo estas consideraciones se hace necesario conocer científicamente la recuperación de suelos degradados planteando recuperar la estructura física, química y biológica del suelo , así como conservar la biodiversidad, a través de la aplicación de metodologías y paquetes tecnológicos que resulten. En tal sentido se planteó la hipótesis. “El uso de enmiendas más la aplicación de biofertilizantes contribuyen a la recuperación de suelos degradados, influyendo en el crecimiento del cultivo cacao e incremento de los microorganismos”.

Respecto a este contexto, el presente trabajo describe resultados importantes de técnicas nuevas a ser utilizadas para la recuperación de los suelos degradados, entendiéndose el comportamiento de un ecosistema a través del tiempo, planteándose los siguientes objetivos:

Objetivo general

Determinar la mejor técnica para la recuperación de suelos degradados .

Objetivos específicos:

- Diagnosticar la influencia en la recuperación de suelos degradados en las propiedades físicas, químicas y biológicas .
- Evaluar el incremento de la capacidad productiva de los suelos.
- Relacionar las características físicas, químicas y biológicas con la capacidad productiva de los suelos degradados .

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Degradación de suelos

“La degradación del suelo se define como un cambio en la salud del suelo resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios” (FAO, 2019). DORRONSORO (2003). La degradación también se conoce como: el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios; asimismo, es la consecuencia directa de la utilización de la misma por el hombre; bien como resultado de actuaciones directas, como agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos y riego; además, por acciones indirectas, como las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte, etc. (DORRONSORO, 2003)

HUAMÁN (2011) hace referencia que la degradación de suelos en la selva peruana, está vinculada básicamente a la falta de un programa coherente de estudio y extensión educativa en el manejo y conservación de los suelos; así como el abandono de los terrenos que fueron sembrados con coca y erradicados por el CORAH .

Dentro del amplio concepto de degradación, se distinguen una serie de degradaciones diferentes: La degradación de la fertilidad, es la disminución de la capacidad del suelo para soportar vida, produciendo modificaciones en sus propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas que conllevan a su deterioro; por lo tanto al degradarse el suelo pierde capacidad de producción y cada vez hay que añadirle más cantidad de abonos para producir siempre

cosechas muy inferiores a las que produciría el suelo si no se presentase degradado; además puede tratarse de una degradación química, que se debe a varias causas: Pérdida de nutrientes, acidificación, salinización, sodificación, aumento de la toxicidad por liberación o concentración de determinados elementos químicos. El deterioro del suelo a veces es consecuencia de una degradación física, por: Pérdida de estructura, aumento de la densidad aparente, disminución de la permeabilidad, disminución de la capacidad de retención de agua. En otras ocasiones se habla de degradación biológica, cuando se produce una disminución de la materia orgánica incorporada. Asimismo la erosión es la pérdida selectiva de materiales del suelo, por la acción del agua o del viento los materiales de las capas superficiales van siendo arrastrados. Si el agente es el agua se habla de erosión hídrica y para el caso del viento se denomina erosión eólica (DORRONSORO y BARAHONA, 2003).

La FAO (2016), en un informe sobre la conservación de los suelos en el Perú, mencionan que el deterioro de los suelos en la región de la selva se origina por el cultivo en zonas donde existía antes la protección vegetal. Es comprensible tal afirmación, en la medida que los asentamientos rurales para el desarrollo de la región, no han estado circunscritos dentro de un objetivo nacional programático, permanente por los gobiernos de turno, ocasionando que el agricultor de la región sierra se desplace a la selva, reproduce su esquema agrícola tradicional de una región totalmente distinta, talando el bosque y contribuyendo así al aceleramiento de la dinámica natural, teniendo como consecuencia el deterioro de los suelos (ZAVALA, 1999). Sin embargo,

la problemática del cultivo de la hoja de coca, los suelos cultivados con coca utilizan surcos a favor de la pendiente debido a que este cultivo no soporta excesos de humedad, por lo que el agua debe discurrir; además, después de las cinco cosechas anuales que se acostumbra, se deja descubierto el suelo que por acción de las fuertes lluvias y radiación solar, termina erosionándose en forma acelerada, quedando estéril en muy pocos años, además estudios realizados por la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) evidencian que la erosión en los cultivos de coca llega a las 40 toneladas por hectárea, por lo cual se habrían perdido durante el año 2006, alrededor de 680 mil toneladas de suelo fértil, lo que significa la degradación anual de más de 680 hectáreas por lo que en unos años más estas tierras ya no servirán para la agricultura; asimismo cada año son deforestadas entre 200 mil y 300 mil hectáreas en el país y cita números de INRENA y DEVIDA para asignarle a la coca "Entre el 26 % y 27 % de todo lo que se ha deforestado, porcentaje que se dispara en las cuencas cocaleras de las cuales las zonas más afectadas son las zonas de Tingo María, Vrae y Monzón" (INFOREGION, 2007).

2.2. Indicadores del suelo

ASTIER *et al.* (2002) indica que hay una preocupación creciente acerca de la degradación del suelo, de la disminución en su calidad y de su impacto en el bienestar de la humanidad y el ambiente, aún no hay criterios universales para evaluar los cambios en la calidad del suelo. Para hacer operativo este concepto, es preciso contar con variables que puedan servir para evaluar la condición del suelo. Estas variables se conocen como indicadores, pues

representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición .

2.2.1. Indicadores físicos

Las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente. Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros . “La estructura, textura, porosidad, humedad, capa arable, densidad aparente, densidad real, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad” (HUNNEMEYER *et al.*, 1997).

2.2.2. Indicadores químicos

Los indicadores químicos de calidad del suelo incluyen propiedades que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos, como indicadores tenemos “el contenido de materia orgánica (MO), carbono y nitrógeno orgánico, pH, conductividad eléctrica (CE), y el nitrógeno (N), fósforo (P) y el potasio (K) disponible. Los indicadores que reflejan estándares de fertilidad (pH, materia orgánica,

nitrógeno, fósforo y potasio) son factores importantes en términos de producción de cultivos” (ACEVEDO *et al.*, 2005).

2.2.3. Indicadores biológicos

Los indicadores biológicos integran los diferentes factores que afectan la calidad del suelo. Generalmente se refieren a la abundancia y subproductos de los organismos, incluidos bacterias, hongos, nemátodos, lombrices, anélidos y artrópodos. También se consideran como indicadores biológicos la población de lombrices de tierra, el crecimiento – desarrollo de las plantas y el rendimiento de los cultivos. “Las propiedades biológicas y bioquímicas (respiración edáfica, biomasa microbiana, actividades enzimáticas, microorganismos, y otros) son más sensibles y son muy valiosas en la interpretación de la dinámica de la materia orgánica y en los procesos de transformación de los residuos orgánicos; además, dan rápida respuesta a los cambios en el manejo del suelo, son sensibles al estrés ambiental y fáciles de medir” (BAUTISTA *et al.*, 2004).

2.3. Sistemas agroforestales

BRACK (1992), refiere que los sistemas agroforestales se pueden definir como una serie de tecnologías del uso de la tierra, en los que se combinan árboles con cultivos y/o pastos en función del tiempo y del espacio, para incrementar y optimizar la producción en forma sostenida, el principio radica esencialmente en que el árbol, asociado a determinado cultivo o crianza, contribuye al mejoramiento o conservación de la fertilidad de los suelos y del microclima; además de brindar otros aportes económicos y ecológicos al medio ambiente .

Los sistemas agroforestales de Cuba, tanto tradicionalmente como innovadores, han estado encaminados, principalmente a permitir actividades agropecuarias en condiciones de alta fragilidad y limitaciones productivas; simultáneamente intentan lograr una gestión económica más eficiente, alterando al mínimo la estabilidad ecológica, lo cual contribuye a alcanzar la sostenibilidad de los sistemas de producción y, como consecuencia, mejorar el nivel de vida de la población rural, presentando los siguientes objetivos (RENDA *et al.*, 1997): El objetivo ecológico, mediante ésta práctica que no sólo fueron conservados los suelos de las laderas, sino que se logró proteger importantes cursos fluviales y cuencas hidrográficas, en las áreas de pastizales, que ocupan grandes zonas del territorio nacional, con topografía llana o de lomas y colinas, tradicionalmente se ha permitido la presencia de árboles forestales y frutales, con la finalidad de capitalizar un terreno, elevando la producción por unidad de área; además los fines de producción se realizan en combinación con otros cultivos agrícolas perennes y temporales con rotación, en linderos, laderas, al borde de los caminos, produciendo madera de calidad; además los fines de protección se realizan en suelos degradados por una hiper-explotación o sobre utilización, devolviendo la fertilidad natural al suelo, de esta manera se puede controlar o evitar deslizamientos, formando cortinas corta vientos en defensa de los cultivos y finalmente los fines de servicio se da cuando se hacen cultivos en asociación, brindando sombra a cultivos que lo necesitan, por ejemplo café o cacao y al mismo tiempo brinda en el futuro un ingreso para el agricultor (GUERRA *et al.*, 1996).

2.4. Materia orgánica

Para SUQUILLANDA (2017), la degradación biológica del suelo consiste en la pérdida de materia orgánica por disminución de aportes vegetales, y por el aumento de la tasa de mineralización, es consecuencia principalmente de la erosión hídrica, los malos manejos del suelo en agricultura, el sobrepastoreo y la deforestación. Las consecuencias de la degradación biológica implican una pérdida de las propiedades del suelo disminuyendo su fertilidad y su capacidad para producir bienes y servicios. Según la recomendación de la *Soil Society of America*, la materia orgánica del suelo debe definirse como: “la fracción orgánica del suelo que incluye vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por los habitantes del mismo”. El concepto de materia orgánica, es muy amplio ya que incluye tanto el material poco alterado como aquel que ha experimentado profundos cambios en el suelo, la fracción más estable de esta materia orgánica se llama humus, y se obtiene mediante la descomposición de la mayor parte de sustancias vegetales o animales añadidas al suelo (CEPEDA, 1999). “El contenido de materia orgánica del suelo es pequeño, solo alrededor del 3 al 5 % en peso en el caso de un suelo típico, en su capa superficial, la influencia sobre las propiedades del suelo y, por lo tanto, en el crecimiento de las plantas, es, no obstante, mucho mayor que lo pudiera hacer creer este pequeño contenido” (BUCKMAN, 1985). “La materia orgánica del suelo amortigua el pH del suelo en los limitantes entre ligeramente ácido, neutro y alcalino, causado por la adición de enmiendas y/o fertilizantes, además sirve como depósito de elementos químicos para el

desarrollo de las plantas; la descomposición de la materia orgánica produce CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , y es fuente de elementos nutritivos para el crecimiento de las plantas, incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, del 20 a 70 %, la CIC de muchos suelos se debe a la materia orgánica” (BOHN, 1993).

Cuadro 1. Niveles de la materia orgánica

Niveles de materia orgánica	
Nivel	Contenido (%)
Bajo o pobre	< 2
Medio	2 – 4
Alto o rico	> 4

Fuente: Laboratorio de suelos UNAS

2.5. Carbonato de calcio y magnesio (Dolomita)

Este material generalmente está compuesto por un 40 % de carbonato de calcio (CaCO_3) y entre un 8 y un 10 % de carbonato de magnesio (MgCO_3). Contribuye en corregir la acidez de los suelos neutralizando los ácidos producidos y elevando el pH; proporciona calcio (Ca) y magnesio (Mg), elementos esenciales para el crecimiento de las plantas; reduce la actividad de las sustancias tóxicas del suelo como el aluminio (Al) y el manganeso (Mn) aumentando la disponibilidad del fósforo (P), del nitrógeno (N) y del azufre (S); acelera la descomposición de la materia orgánica (MO) y la liberación de nutrientes. La aplicación de la dolomita se puede hacer en forma manual con la ayuda de herramientas de labranza para distribuir el material de manera homogénea en el suelo y luego incorporarlo.

SUQUILLANDA (2017), recomienda “aplicar la primera mitad del material antes de la arada y la segunda después de la rastrillada; en los cultivos anuales la aplicación debe realizarse por lo menos un mes antes de la siembra o trasplante. En cultivos perennes se puede aplicar durante la plantación y durante el desarrollo del cultivo”.

2.6. Roca fosfatada o fosfórica

La roca fosfórica son minerales fosfatados, que representan por lo menos 15 - 20 %, valores significativamente superiores al de una roca sedimentaria típica que contiene menos de un 0,2 %. Los fosfatos están presente como $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ típico en masas criptocristalinas (tamaños de grano $< 1 \mu\text{m}$), así como en forma de hidroxiapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$, que a menudo se obtiene a partir de la disolución de los huesos de animales vertebrados. También se encuentran disueltos en rocas ígneas y metamórficas. Existen reportes significativos de rocas fosfórica (fosforitas) en suelos ácidos con resultados satisfactorios con los niveles de 100 y 200 kg de $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$. Por su alto contenido de calcio en forma de óxido de calcio (CaO) tiene una gran capacidad para neutralizar los suelos ácidos haciendo de esta manera que el fósforo aplicado o el fósforo contenido en el suelo sea asimilable (SUQUILLANDA, 2017).

La utilización de fosforita representa un doble beneficio cuando se aplica en suelos ácidos, ya que aporta simultáneamente fósforo y calcio al suelo. La fosforita aplicada aprovecha la acidez normal del suelo y produce una reacción lenta con el fósforo haciéndolo asimilable, evitando que sea fijado por las partículas del suelo para que pueda ser tomado por las plantas. Se utilizan en

la preparación de abonos orgánicos para posibilitar su acidulación natural. Debido a su reacción lenta y por los altos contenidos de fósforo (22 a 30 %) este elemento se mantiene disponible para las plantas durante varias cosechas después de su aplicación.

2.7. Biofertilizantes

Son abonos líquidos preparados con residuos de origen animal, microorganismos y minerales a través de un proceso de fermentación, estos residuos se convierten en nutrientes. “Los microorganismos transforman estos materiales y producen vitaminas, ácidos y minerales complejos indispensables al metabolismo y perfecto equilibrio nutricional de las plantas, las sustancias generadas a partir de este proceso fermentativo son muy ricas en energía libre, y al ser absorbidas por las plantas impiden el desarrollo de enfermedades y el constante ataque de insectos” (ZAGOYA, 2013).

Los biofertilizantes están siendo usados para nutrir, recuperar y reactivar la vida del suelo, fortalecer la fertilidad de las plantas estimulando la protección de los cultivos contra el ataque de insectos y enfermedades, sustituyen los fertilizantes químicos altamente solubles de la industria, los cuales son muy costosos y vuelven dependientes a los productores haciéndolos cada vez más pobres, se aplica de manera foliar la cual aporta nutrientes a las plantas a través de las hojas, corrección de deficiencias de macro y micronutrientes, los cuales son requeridos. Además, es aplicable al suelo, por la complejidad de las relaciones biológicas, químicas, físicas y energéticas que se establecen entre las plantas y la vida del suelo (DEVIDA, 2014).

La producción de biofertilizantes, lejos de ser una técnica donde se sigan “recetas” es una herramienta que se debe utilizar como complemento nutricional entendiendo tanto las necesidades del cultivo en los diferentes estados fisiológicos como el estado nutricional del suelo y de la planta; además los beneficios es brindar nutrientes inorgánicos y compuestos orgánicos beneficiosos para las plantas y suelo, promoviendo la salud de las mismas y mejorando la estructura del suelo, estimulando la creatividad y los saberes del agricultor de forma económica y sencilla (SUQUILLANDA, 2017).

Los biofertilizantes tienen una duración limitada, ya que los microorganismos (hongos, bacterias y actinomicetos) que los integran van perdiendo su viabilidad, recomendando su uso antes de un tiempo determinado, además estos microorganismos son susceptibles a altas temperaturas por lo que deben ser transportados y almacenados a la sombra y a una temperatura en lo posible no superior a los 12 C° (FRANCO, 2009).

SUQUILLANDA (2017), menciona que “las bacterias y hongos que forman parte de los biofertilizantes deben ser eficientes con alta carga microbiana capaces de transformar el nitrógeno atmosférico y el fosforo inorgánico en compuestos asimilables para la planta; ser competentes frente a microorganismos antagónicos que encuentren en el suelo y agresivos para recibir carbohidratos y otras sustancias necesarias para multiplicarse”.

2.8. Disponibilidad de nutrientes

Se refiere a la factibilidad con que un elemento llega o es accesible a las raíces de las plantas y penetra en ellas para satisfacer sus necesidades.

“Muchos elementos del suelo cambian de forma al producirse reacciones en el mismo, las plantas pueden ser capaces o no de usar elementos en sus formas cambiadas, las reacciones están controladas por el pH” (PLASTER, 2000), a su vez DOMÍNGUEZ (1990), indica que resulta muy frecuente la existencia de cantidades importantes de elementos nutritivos en el suelo. Sin embargo, no están en disposición de ser absorbidos o asimilados por las plantas por múltiples causas: Componentes de partículas minerales o compuestos insolubles precipitados en el suelo, absorbidos o fijados en el complejo de cambio iones no asimilables. “Los elementos más importantes para el crecimiento son los macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) y deberían ser suministrados a las plantas a través de fertilizantes” (ZAVALETA, 1992).

2.8.1. Nitrógeno

El nitrógeno se encuentra en distintas formas en el suelo, aunque es absorbido por las plantas y microorganismos como nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+), puede encontrarse en muy diversos estados de oxidación y reducción, en cuanto a las pérdidas de nitrógeno en el suelo, cuatro son las grandes formas de salida en los sistemas productivos: lixiviación, volatilización, cosecha y erosión. Además un suelo arenoso sometido a altas tasas de riego, puede perder hasta un 90 % del nitrógeno presente, los suelos francos o arcillosos sometidos a fertilización orgánica y rotaciones con leguminosas, suelen presentar balances positivos de nitrógeno. La cantidad de nitrógeno disponible para las plantas obedece a un balance entre ganancias y pérdidas, entre las ganancias de nitrógeno en el suelo se pueden considerar, las fijaciones (eléctricas, biológicas e industriales), los abonos de origen orgánico

(estiércoles) y los residuos de cosecha, las pérdidas de nitrógeno más significativas son: La extracción por los cultivos, lixiviación, volatilización, desnitrificación y fijación de amonio (NAVARRO, 2003). “El comportamiento del nitrógeno en el suelo, es su relación con el pH, cuando del amonio pasa a nitrato (nitrificación), se liberan iones H^+ lo que genera acidez en el suelo, por esta razón, la mineralización de la materia orgánica y el suministro de fuentes de nitrógeno amoniacaes, incrementa la acidez, si la planta no absorbe el amonio directamente” (ZAVALETA, 1992).

Cuadro 2. Niveles de contenido de nitrógeno.

Niveles del contenido de nitrógeno	
Niveles	Contenido (%)
Bajo	< 0,1
Medio	0,1 - 0,2
Alto	> 0,2

Fuente: Laboratorio de suelos UNAS

2.8.2. Fósforo

Macronutriente que en mayor medida limita el rendimiento de los cultivos, interviene en numerosos procesos bioquímicos a nivel celular y se considera un nutriente esencial para las plantas, proviene del agregado de fertilizantes fosfatados, mientras que las salidas se pueden dar por extracción en los granos cosechados, erosión, escurrimiento, lixiviación (NAVARRO, 2003), del contenido del fósforo total en los suelos de áreas tropicales parece estar ligado al contenido de materia orgánica en años, al aumentar la concentración de materia orgánica y fosfatos orgánicos en los suelos se obtiene una mayor cantidad de fósforo total (FAASBENDER y BORNEMISZA,

1987); además “las plantas absorben únicamente el fósforo que está en la solución del suelo en forma de HPO_4^{2-} (ion fosfato mono ácido) y $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ (ion fosfato di ácido); asimismo, cualquier fertilizante ya sea de origen orgánico o mineral debe transformarse primero en esas formas químicas antes de ser utilizado por el cultivo” (ZAVALETA, 1992); asimismo, el fósforo es absorbido principalmente durante el crecimiento vegetativo y luego la mayoría del fósforo absorbido es movilizado a los frutos y semillas durante las etapas reproductivas, las plantas con deficiencias de fósforo tienen un crecimiento retardado (reducción del crecimiento celular, expansión foliar así como de la fotosíntesis y la respiración) a menudo tiene un color verde oscuro (más alta concentración de clorofila) y rojizo (aumento de la formación de antocianinas), se ha indicado que el nivel de abastecimiento de fósforo durante los estados reproductivos regula el fraccionamiento entre las hojas y los órganos reproductivos, siendo efecto esencial para las leguminosas fijadoras de nitrógeno (MARSCHNER, 1993).

Cuadro 3. Niveles del contenido total de fósforo.

Niveles de contenido total de fosforo	
Nivel	Contenido (ppm)
Bajo	Menor a 7
Medio	7 - 14
Alto	Mayor a 14

Fuente: laboratorio de suelos UNAS

2.8.3. Potasio

Se encuentra en “la mayoría de los suelos en cantidades relativamente grandes, el contenido como K_2O varía de 0,5 a 3 %, y depende

de su textura, la fracción arcillosa es la que presenta un contenido mayor, por lo que los suelos arcillosos y limo-arcillosos son más ricos que los limo-arenosos y arenosos” (NAVARRO, 2003); además el potasio es uno de los tres nutrientes minerales que necesitan las plantas en mayor cantidad, las plantas absorben el potasio que se encuentra en la solución del suelo en forma de catión K^+ , la cantidad de K en la solución del suelo está en función de la liberación del potasio intercambiable, generalmente localizado alrededor de las partículas de arcillas. Los cultivos extraen grandes cantidades de potasio del suelo para su crecimiento y desarrollo y como es de esperarse, la falta de este elemento, influye negativamente en el rendimiento y calidad del cultivo, el abastecimiento de K en el suelo es limitado, aun los suelos que contienen arcillas ricas en este mineral no pueden suplirlo indefinidamente. Además es un error creer que en suelos que por naturaleza son ricos en K, adicionar este elemento a los cultivos es innecesario; igualmente el potasio extraído por los cultivos debe de regresarse al suelo para no disminuir la fertilidad del mismo; cuando el agricultor saca de la parcela o campo la cosecha, se está llevando consigo el K fuera del sistema agrícola, finalmente la absorción de K es óptima en pH cercano al neutro, suelos ricos en minerales fijadores de K disminuyen su poder de fijación con el aumento de la acidez, a la inversa, cuando se proporciona cal a estos suelos la fijación aumenta; además su deficiencia es frecuente en suelos ácidos debido al intenso lavado que se asocia a estos valores de pH.

Cuadro 4. Niveles de contenido de potasio.

Niveles de contenido de potasio	
Nivel	Contenido (K₂O/ha)
Muy bajo	Menos de 300
Medio	300 - 600
Alto o rico	Más de 600

Fuente: laboratorio de suelos UNAS

2.9. Encalado

El encalado consiste en la aplicación masiva de sales básicas con el objeto de neutralizar la acidez del suelo causada por hidrógeno y aluminio, los productos que se utilizan como alcalinizantes o correctivos de la acidez del suelo son principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio y/o magnesio, debido a su diferente naturaleza química, estos materiales presentan una capacidad de neutralización variable. La acción neutralizante de los materiales de encalado no se debe en forma directa al calcio y el magnesio, sino más bien a las bases químicas a la cual están ligados estos cationes, CO_3^{2-} , OH^- , y SiO_3^{2-} , los cationes reemplazan a los iones ácidos de las posiciones intercambiables y los ponen en solución, y al entrar en contacto la cal con el agua del suelo, las sales básicas se disocian y generan cationes y OH^- , los OH^- generados por los carbonatos, hidróxidos y silicatos son los que neutralizan la acidez del suelo al propiciar la precipitación del aluminio como $\text{Al}(\text{OH})_3$ y la formación de agua. Las sales básicas de calcio y magnesio son muy abundantes en la naturaleza, y además estos dos elementos son esenciales para la nutrición de las plantas, por este motivo constituyen los correctivos de acidez de mayor uso (TISDALE *et al.*, 1993).

2.10. Organismos del suelo y el pH

PLASTER (2000), refiere que “los organismos del suelo crecen mejor en suelo casi neutro, en general un suelo ácido inhibe el crecimiento de la mayoría de los organismos, incluyendo muchas bacterias y gusanos de tierra, por ello, el suelo retarda muchas actividades importantes llevadas a cabo por los microbios del suelo, incluyendo la fijación de nitrógeno, la nitrificación y la descomposición de la materia orgánica; asimismo, la bacteria Rhizobia, prospera en un pH casi neutro y es sensible al aluminio”.

2.11. Cultivo de cacao y la coca

“A pesar de que el país dispone de zonas agroecológicas apropiadas para una producción significativa de cacao los niveles de competitividad del producto comercial no son satisfactorios debido a diversos factores que influyen en los costos de producción y comercialización” (LAZO, 1996). Entre los factores limitantes de mayor gravitación son los bajos rendimientos y deficiente calidad, debido al inadecuado paquete tecnológico y falta de manejo integrado de plagas y enfermedades para llegar a una producción rentable y sostenida.

HERNÁNDEZ (1991), menciona que el cacao constituye una opción productiva que adecuadamente tratada puede convertirse en una fuente de trabajo y de bienestar social en zonas que actualmente confrontan problemas socio-económicos que deben solucionarse en forma pragmática y realista. Evidentemente, ello requiere un enfoque integral de la problemática productiva del cacao, lo cual implica una apropiada caracterización de las zonas agroecológicas aptas para el cultivo, la selección y multiplicación de los

cultivares con mayor potencial productivo, el buen manejo agronómico de las plantaciones, el eficiente control de las plagas y enfermedades, un adecuado tratamiento de post-cosecha de la producción, y la implementación de funcionales sistemas de comercialización que garantice beneficios razonables a los productores y a la industria (ARCA, 2000).

Por otro lado, en la actualidad no existe ningún otro cultivo que resulte económicamente rentable en comparación con la coca, cuyos altos márgenes de ganancias no solo desplaza tierras de cultivos para productos alimenticios y/o industriales, sino también distorsiona el mercado de trabajo, El Alto Huallaga en el Perú, a nivel mundial es una de las zonas que mayor y mejor producción de hoja de coca, es por eso que los narcotraficantes han incentivado la producción pagándoles a los agricultores altos precios por la hoja de coca en su propia chacra, esto ha cambiado el hábito del agricultor en remplazar el cultivo del cacao por hojas de coca. La proliferación de la moniliasis fue otra de las desventajas que mermó enormemente la producción del cacao (LOPEZ, 1999), “en el Perú, el cultivo de cacao ha venido afrontando una serie de enfermedades, siendo los causantes directos de los bajos rendimientos en las zonas cacaoteras; por lo tanto en esta zona el 90 % de las plantaciones han sido sembrados tradicionalmente y son mayores de 10 años, muy difíciles de manejar en esas condiciones mientras no está manejado en forma integral”.

2.8.1. Asociación del cacao con otros cultivos

El cultivo del plátano se asocia perfectamente al cacao, es necesario instalar el plátano al iniciar la siembra del cacao, que servirá como

sombra, las variedades que mejor se adaptan son las de porte alto como la seda y palillo, existe una selección de la variedad isla de porte alto que también se adapta bien, la exigencia de nutrientes, aumenta, ya que ambos son cultivos exigentes; además a las plantas de plátano se las debe abonar con 100 gramos de cloruro de potasio y un kilo de materia orgánica, antes y después de las lluvias (SALDAÑA, 2012): cacao + maderable + musáceas, este sistema es similar al anterior, solamente que en este caso se recomienda utilizar cobertura como el frijol Canavalia para aportar nitrógeno al suelo, y obtener plátanos o bananos para el autoconsumo, se establecen 4 surcos de cacao, y al cuarto surco se establece uno de maderables a 2 x 2 metros entre plantas; además se debe aprovechar para sembrar tres especies diferentes en la parcela y realice raleo cada cuatro años.

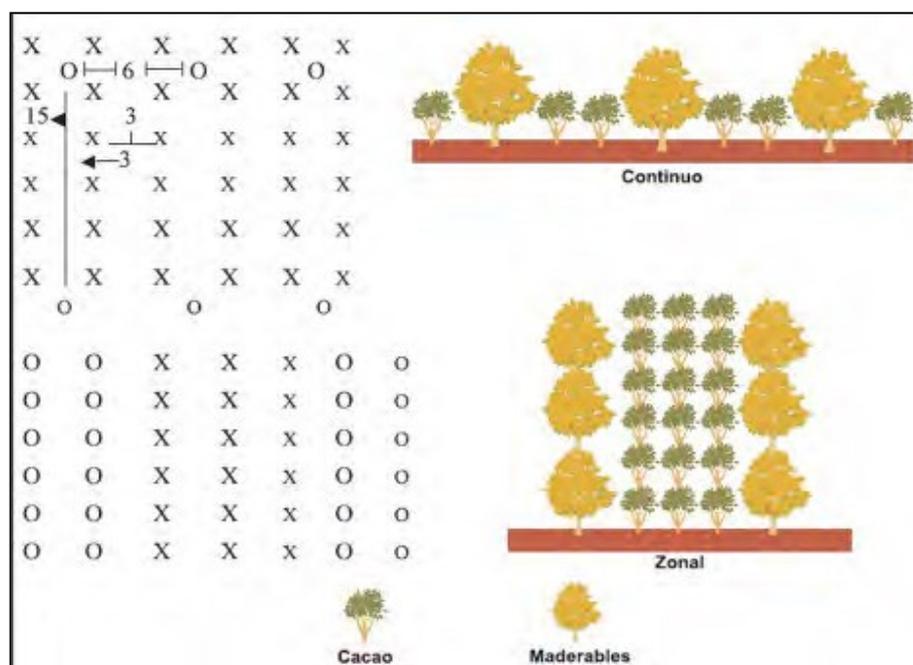


Figura 1. Diseño del sistema con cacao y maderables.

Cacao + musáceas + leguminosas + maderables, se establecen las musáceas a 3 x 3 metros un año antes, esto permitirá que cuando el cacao se establezca a 3 x 3 metros, tenga sombra en ese momento. Al eliminar las musáceas se establece Poró (*Erithrina sp*) a 9 x 9 metros, permaneciendo por siete años en el área. Al mismo tiempo se establecen los árboles de las especies maderables para acompañar al cacao.

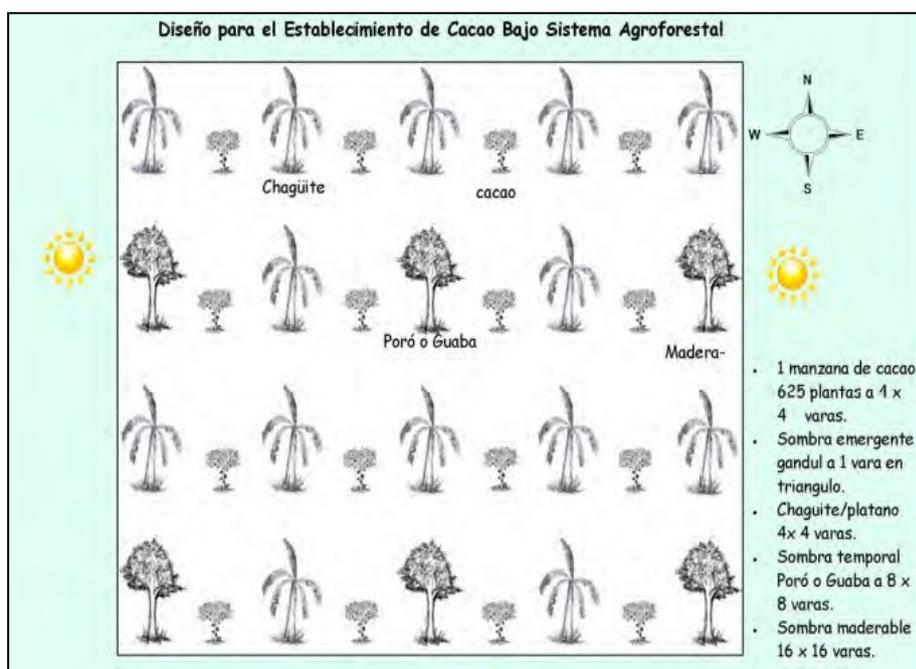


Figura 2. Diseño del sistema con cacao, musáceas, leguminosas y maderables.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

El presente trabajo de investigación se realizó en el Fundo “El Pajarillo”, perteneciente al Sr. Hugo Herrera Zamora, ubicado políticamente en el departamento de Huánuco, provincia de Huamalies, distrito de Monzón, en el centro poblado de Río Espino.

3.1.2. Ubicación geográfica y factores climáticos

Geográficamente se encuentra dentro de un rango de $76^{\circ}01'07''$ de longitud oeste, $09^{\circ}17'58''$ de latitud sur y a una altura promedio de 740 - 1100 msnm; sobre los 800 m.s.n.m. en la medida que se asciende altitudinalmente los rangos de temperatura disminuyen y los volúmenes de precipitación pluvial se incrementan con una humedad relativa de 84 %, temperatura media anual varía entre los 19.3°C y 29.4°C , precipitación pluvial de 3,100 mm/anales y ecológicamente cuenta con 2 zonas de vida: bosque húmedo tropical (bh-T), bosque muy húmedo premontano tropical (bmh-PT). (Figura 50 de Anexos).

3.1.3. Datos meteorológicos

En el Cuadro 5, se presentan los datos meteorológicos, obtenidos de la Estación Experimental Metrológica "José Abelardo Quiñones" de Tingo María, correspondiente a los meses de abril a setiembre del año 2016. Las características climáticas del campo experimental, corresponden a un clima de bosque muy húmedo sub-tropical, con una temperatura media de 25.3°C

mientras que la precipitación promedio fue 161.9 mm/mes, asimismo, la humedad relativa mostró cambios debido a las variaciones pluviales, de igual manera horas sol en los meses de agosto-setiembre presentó mayor incremento con un promedio de 178.1.

Cuadro 5. Datos meteorológicos registrados durante la ejecución del experimento correspondiente, Abril a Setiembre del 2016.

Meses	Temperatura (°C)			Precipitación (mm)	Humedad (%)	Insolación (horas sol)
	Max.	Med.	Min.			
Abril	30.1	25.3	20.5	280.6	84	123.4
Mayo	29.9	25.2	20.6	296.2	85	151
Junio	30.2	25.1	20.1	127.1	84	187.7
Julio	30.1	24.8	19.7	173.1	84	192.3
Agosto	31.1	25.4	19.8	50.8	83	217
Setiembre	32.4	26.2	20.1	43.5	80	197
Total	183.8	152	121	971.3	500	1068.4
Promedio	30.63	25.3	20.1	161.9	83.3	178.1

Fuente: Estación Experimental Meteorológica "José Abelardo Quiñones" de Tingo María.

3.1.4. Historia del lugar de ejecución o campo experimental

El campo experimental fue una parcela excocal, de aproximadamente 30 años de sobre explotación y manejada intensamente con pesticidas; presencia de gramíneas hojas alargadas y delgadas denominada comúnmente como "rabo de zorro", tal como se ve en la Figura 3.

Además, se determinó bajo porcentaje de materia orgánica - MO (0.87 %) afectando la capacidad de retención de nutrientes y menor capacidad de intercambio catiónico - CICE* (3.75 cmol/kg).



Figura 3. Parcela experimental ex cocal.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales, herramientas e insumos

- Biofertilizantes
- Materia orgánica
- Roca fosfórica
- Dolomita
- Azadón
- Machete
- Mochila fumigadora
- Tubo muestreador
- Rafia
- Alcohol
- Vasos descartables
- Platos descartables

- Cuaderno de apuntes

3.2.2. Equipos

- Cámara digital
- Penetrómetro
- Balanza digital
- Equipos de laboratorio
- Cilindro metálico
- Minicilindros de infiltración

3.3. Metodología

Para la ejecución del presente trabajo se tomó en cuenta la siguiente metodología:

3.3.1. Pre campo

- Coordinación de actividades a ejecutar según proyecto aprobado respecto a la implementación del trabajo de investigación.
- Coordinación de actividades con los alumnos de la facultad de agronomía y técnicos de DEVIDA asignados para el apoyo respectivo en el trabajo de investigación.
- Elaboración de fichas para la recolección de datos.
- Plan de Trabajo, ruta de movimiento en el campo experimental y cronograma de actividades.

3.3.2. Campo

A. Línea base-Análisis físico, químico y biológico del suelo

Como parte de la actividad se sacó una muestra representativa del suelo previo a la aplicación de los tratamientos, a fin de ser usada como línea base para comparar con los resultados del trabajo de investigación, la misma que se llevó a los Laboratorios de Análisis de Suelo y de microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para su respectiva determinación de nutrientes y carga microbiana. En el Cuadro 6, se muestra los resultados del análisis físico, químico y biológico del suelo; presentando las siguientes características: textura franca arcilloso, con pH extremadamente ácido, bajo nivel disponible de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y capacidad de intercambio catiónico. Características determinantes de un suelo infértil o baja fertilidad.

Cuadro 6. Análisis físico, químico y biológico del suelo experimental.

Parámetro	Valor	Método empleado
Análisis físico:		
Arena (%)	43.68	Hidrómetro
Arcilla (%)	39.68	Hidrómetro
Limo (%)	17.28	Hidrómetro
Clase textural	Franco arcilloso	Triangulo textural
Análisis químico:		
pH (1:1) en agua	4.33	Potenciómetro
M. O. (%)	0.87	Walkey y Black
N- total (%)	0.05	% M.O. x 0,05
Fósforo disponible (ppm)	4.61	Olsen Modificado
K ₂ O disponible (ppm)	21.34	Ácido sulfúrico
Ca cambiante (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	1.08	EAA
Mg cambiante (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	0.12	EAA

K cambiable (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	----	EAA
Na cambiable (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	----	EAA
Al cambiable (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	1.09	
CIC (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	---	Suma de cationes
CICe (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	3.75	
Bases cambiables (%)	31.76	
Ac. Cambiable (%)	68.24	
Saturación del Al.	46.85	
Análisis biológico:		
N.M.A	100x10 ⁴	
N.M.L	11x 10 ⁴	
Actinomicetos	126x10 ⁴	

N.M.A: numeración de microorganismos aerobios, N.M.L: numeración de mohos y levaduras
Fuente: Laboratorio de análisis de suelos y laboratorio de microbiología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María.

B. Características del campo experimental

El campo experimental en la que se realizó el trabajo de investigación se delimito en 7 bloques albergando 4 diferentes técnicas con 90 unidades muestrales (ver figura 51 de anexos).

Cada una de estas unidades muestrales diseñadas bajo sistemas agroforestales-SAF tal como menciona BRACK (1992), RENDA (1997) y GUERRA (1996); en las que se instalaron 12 plantas de cacao (3x3m a tres bolillos), 6 plantas de plátano (3x6m a tres bolillos), 2 plantas de guabas (ubicadas en el centro de la unidad muestral a 3 metros de distanciamiento entre ellas) y 18 plantas de pino chuncho (cada 2m en 2 lados paralelos y 2.6m en los otros dos lados paralelos, alrededor de la unidad muestral bajo sistema lineal). Ver figura 52 de anexos.

Adicional a ello se colocaron semillas de canavalia en los cuatro puntos extremos del hoyo de cacao, usado como cobertura viva por 6 meses, siguiendo la recomendación de (SALDAÑA, 2012).

C. Ejecución del experimento

c.1. Limpieza

Se realizó de forma manual con machetes y azadones, esta etapa consiste en la limpieza del área mediante la eliminación de maleza existente en el campo experimental.

c.2. Demarcación

Se realizó con una wincha de 50 m, colocándolo estacas de aproximadamente 50 cm de largo con un diámetro de 2 cm, en puntos estratégicos, con el fin diferenciar los bloques en las cuatro técnicas.

c.3. Estaquillado

Se realizó con estacas de madera de 30 cm aproximadamente, para delimitar todas las parcelas (unidades muestrales) y en todos los bloques, aun distanciamiento de 3x3m entre plantas y surcos.

c.4. Hoyado

Se realizó con una palana recta de dimensiones aproximadamente 20x30 cm, lo cual facilita la construcción del hoyado, cada hoyo tiene 30 cm de ancho por 30 cm de largo y 30 cm de profundidad.

c.5. Siembra

Para el caso del cacao, guaba y pino chuncho se quitaron las bolsas de polietileno antes de colocar la planta dentro del hoyo,

mientras que el plátano se colocó como hijuelo, a su vez se aplicó como mínimo una palada de abono orgánico revuelto con tierra según técnica y tratamiento en ambos casos. La cobertura viva (canavalia) se colocó en los puntos extremos del hoyo de cacao.

c.6. Aplicación de biofertilizante

Se utilizó biofertilizante para la técnica IV, aplicando dosis para trasplante / crecimiento, del total de mezcla 11 litros se utilizó 1 litro por mochila de 20 Lt. cada 21 días, la aplicación se realizó tanto foliar como al suelo en la base de la planta. (Ver cuadro 55 y figura 63 de anexos).

El biofertilizante se obtuvo del Programa Nuevas Alternativas - NAP – USAID que apoya a DEVIDA en todas las zonas post erradicación, la dosificación se consideró según la recomendación de este programa en base a las experiencias en campo y análisis de laboratorio que realizaron el año 2014 y 2015. Los detalles de insumos utilizados por timbos se encuentran en las figuras 65 y 66 de anexos.

D. Parámetros a evaluar

d.1. Parámetros físicos

d.1.1. Densidad aparente

Se siguió el método del cilindro descrito por JARAMILLO (2002), en la que se introduce el cilindro verticalmente en la porción del suelo que se desea muestrear, con un bloque de madera y martillo logrando que penetre completamente en el suelo, luego se retira el cilindro lleno con suelo, se enrasan sus bordes con una navaja y se tapan para llevarlo

al laboratorio, se coloca el cilindro con la muestra de suelo a secar en la estufa a 105 °C, durante 24 horas, luego se retira el conjunto del horno, se deja enfriar y se pesa (Pt), se retira el suelo del cilindro y se pesa este (Pc); además, al cilindro se le toman las medidas de su longitud (h) y de su diámetro interno (d), con las cuales se calculará el volumen de éste (Vc), el cálculo se realizará a partir de la siguiente formula:

$$Da = \frac{P_{ss}}{V_c}$$

Dónde:

Da: densidad aparente: g/cm³

PAS: peso del suelo seco en el horno: = Pt – Pc: g.

Vc: volumen del cilindro (cm³).

$$V_c = \frac{\pi d^2 h}{4} = \pi r^2 h$$

Los cilindros utilizados poseerán longitudes de 7 y 5 cm, con radio de 2.4 cm.

d.1.2. Porcentaje de la porosidad total

Debido a que la porosidad del suelo depende de las características de su fracción sólida, ella se estima con base en las densidades real y aparente, el cálculo se realizará a partir de la siguiente relación.

$$P = \left[1 - \frac{D_a}{D_r} \right] \times 100$$

P=porosidad total: %.

Da= densidad aparente

D_r = densidad real (2.65 g / cc como media general).

d.1.3. Determinación de la velocidad de infiltración

El método utilizado para evaluar la infiltración fue el infiltrómetro de cilindro doble, utilizando minicilindros con altura de 16 cm., de diámetro mayor 15 cm y diámetro menor 9 cm. Además este método consiste en Introducir el cilindro exterior en el lugar seleccionado, mediante el uso de un martillo, se golpea la plancha de madera que se ha colocado sobre el cilindro y el cilindro se deberá introducir hasta unos 3 cm aproximadamente, luego se introduce el cilindro interior unos 5 cm verticalmente a fin de evitar que se alteren significativamente las condiciones de la superficie del suelo. Una vez instalados los cilindros, se removerá con cuidado del suelo, que se encuentra adyacente a las paredes de estos y se colocara la regla graduada, fijándola adecuadamente en la parte externa del cilindro interior, luego se extiende la lámina de plástico sobre la superficie del suelo, del cilindro interior, se coloca un plástico en el cilindro interior, y se procede a su llenado con agua hasta aproximadamente una lámina de 10 cm, el agua deberá ser aplicada al cilindro exterior, e inmediatamente al cilindro interior, siendo preferiblemente que simultáneamente sean llenados, lo cual requiere que dos personas operen juntas, luego de llenado los cilindros, se procede a retirar el plástico del cilindro interior, para iniciar inmediatamente las lecturas de la carga de agua, se retira el plástico del cilindro, luego se procede a efectuar las lecturas del nivel del agua en el cilindro interior dicho nivel se mide con el gancho metálico y la regla graduada previamente colocadas, se toma lecturas a 1,1,1, 2,2,2, 5,5,5, 10,10,10,15,15,15,30,30,30 minutos y 1 hora.

d.1.4. Índice de penetrabilidad.

Es un índice de resistencia del suelo, el instrumento usado para determinarla es el penetrómetro, se evaluó en la superficie del suelo y a 5 cm de profundidad, se anotó cada lectura correspondiente.

d.2. Parámetros químicos

Para el desarrollo de los diferentes análisis químicos, se realizó el muestreo de suelo de cada tratamiento y repetición para cada técnica, tanto para el inicio como al final, las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Análisis de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, los análisis de laboratorio efectuados fueron los siguientes:

Cuadro 7. Parámetros químicos del suelo.

Parámetro químicos	Método empleado
pH (1:1)	Potenciómetro, relación suelo agua 1:1
Materia orgánica (%)	Walkley y Black
Nitrógeno (%)	% M.O x 0.045
Fósforo disponible (ppm)	Olsen modificado
Potasio disponible (ppm)	Desplazamiento con acetato de Amonio 1N pH: 7.0
Cationes cambiabiles (Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , k ⁺), para suelos con pH>5.5	Reemplazamiento con acetato de amonio 1N pH: 7.0 (cuantificado por EAA).
Cationes cambiabiles (Ca ⁺² , Mg ⁺² , Al ⁺³ , H ⁺), para suelos con pH < 5.5	Reemplazamiento con cloruro de potasio 1N: cuantificado el Ca ⁺² , Mg ⁺² por EAA, y método de Yuan para Al ⁺³ , H ⁺ .
CIC	Suma de cationes (Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , k ⁺)
CICe	Suma de cationes (Ca ⁺² , Mg ⁺² , Al ⁺³ , H ⁺),

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos de la U.N.A.S.

d.3. Parámetros biológicos (microorganismos Actividad metabólica a través de la respiración CO₂ liberado

Se pesó 100 g de suelo de las muestras obtenidas, se colocó en un taper descartable hermético, se humedeció el suelo usando una pizeta con agua, se coloca un vaso de plástico el cual tuvo como contenido 10 ml de NaOH 1N, se tapó herméticamente; luego se ubicó en un lugar fresco y oscuro, así realizar la medición del CO₂ emitido y capturado por la solución básica, se extrajo el vaso con los 10 ml de NaOH 1N, a este mismo se agregó 10 ml BaCl₂ 1N, el cual reacciona con el Na₂CO₃ precipitando como BaCO₃; 2 gotas de fenolftaleína y se titula con HCl 0.01 N, se anotará el gasto de lectura.

E. Componentes en estudio

Componente de la técnica I.

Factor A: Materia orgánica (%)

a₁: 1.5 %

a₂: 3.0 %

a₃: 4.5 %

a₄: 6.0 %

Componente de la técnica II.

Factor A: Dolomita

a₁: 0 tn/ha

a₂: 2 tn/ha

a₃: 3 tn/ha

Factor B: Materia orgánica

b₁: 3 %

b₂: 6 %

b₃: 9 %

 **Componente de la técnica III.**

Factor A: Niveles de dolomita (tn)

a₁: 0 tn/ha

a₂: 2 tn/ha

Factor B: Niveles de materia orgánica (%)

b₁: 6 %

b₂: 9 %

Factor C: Niveles de Roca fosfórica (g)

c₁: 150

c₂: 300

 **Componente de la técnica IV.**

Factor A: Niveles de dolomita (tn)

a₁: 0 tn/ha

a₂: 2 tn/ha

Factor B: Niveles de materia orgánica (%)

b₁: 6 %

b₂: 9 %

Factor C: Niveles de Roca fosfórica (g)

c₁: 150 kg

c₂: 300 kg

Factor D: Biofertilizantes

d₁: 0.05 L

F. Tratamientos en estudio

✚ Tratamientos de la técnica I

Cuadro 8. Descripción de los tratamientos de la técnica I.

Tratamientos	Descripción
T ₁	1.5 % Materia orgánica
T ₂	3.0 % Materia orgánica
T ₃	4.5 % Materia orgánica
T ₄	6.0 % Materia orgánica

✚ Tratamientos de la técnica II

Cuadro 9. Descripción de los tratamientos de la técnica II.

Tratamientos	Descripción
T ₁	1.5 % Materia orgánica
T ₂	0 (Tn/ha) dolomita + 3 % Materia orgánica
T ₃	2 (Tn/ha) dolomita + 6 % Materia orgánica
T ₄	3 (Tn/ha) dolomita + 9 % Materia orgánica

✚ Tratamientos de la técnica III

Cuadro 10. Descripción de los tratamientos de la técnica III.

Trat.	Clave	Descripción
T ₁	a1b1c1	0 Tn Dol. + 6 % M.O. + 150 g R.F.
T ₂	a1b1c2	0 Tn Dol. + 6 % M.O. + 300 g R.F.
T ₃	a1b2c1	0 Tn Dol. + 9 % M.O. + 150 g R.F.
T ₄	a1b2c2	0 Tn Dol. + 9 % M.O. + 300 g R.F.
T ₅	a2b1c1	2 Tn Dol. + 6 % M.O. + 150 g R.F.
T ₆	a2b1c2	2 Tn Dol. + 6 % M.O. + 300 g R.F.
T ₇	a2b2c1	2 Tn Dol. + 9 % M.O. + 150 g R.F.
T ₈	a2b2c2	2 Tn Dol. + 9 % M.O. + 300 g R.F.
T ₉	- - - - -	Testigo

Tratamientos de la técnica IV

Cuadro 11. Descripción de los tratamientos de la técnica IV.

Trat.	Clave	Descripción
T ₁	a ₁ b ₁ c ₁	0 Tn Dol. + 6 % M.O. + 150 g R.F. + 0.05 L. Biofertilizante
T ₂	a ₁ b ₁ c ₂	0 Tn Dol. + 6 % M.O. + 300 g R.F. + 0.05 L. Biofertilizante
T ₃	a ₁ b ₂ c ₁	0 Tn Dol. + 9 % M.O. + 150 g R.F. + 0.05 L. Biofertilizante
T ₄	a ₁ b ₂ c ₂	0 Tn Dol. + 9 % M.O. + 300 g R.F. + 0.05 L. Biofertilizante
T ₅	a ₂ b ₁ c ₁	2 Tn Dol. + 6 % M.O. + 150 g R.F. + 0.05 L. Biofertilizante
T ₆	a ₂ b ₁ c ₂	2 Tn Dol. + 6 % M.O. + 300 g R.F. + 0.05 L. Biofertilizante
T ₇	a ₂ b ₂ c ₁	2 Tn Dol. + 9 % M.O. + 150 g R.F. + 0.05 L. Biofertilizante
T ₈	a ₂ b ₂ c ₂	2 Tn Dol. + 9 % M.O. + 300 g R.F. + 0.05 L. Biofertilizante
T ₉	-----	Testigo

*Se aplicó cada 21 días un litro de biofertilizante dosificado etapa trasplante, disuelto en 20 litros de agua.

3.3.3. Gabinete

En la etapa de gabinete se sistematizaron los datos recopilados en campo, considerando diseños experimentales por técnicas; de la siguiente manera:

Diseño de la técnica I

Para el presente trabajo se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), cuatro tratamientos con tres repeticiones, para las comparaciones entre los tratamientos se utilizó la prueba de comparación de medias Duncan, con un nivel de significación ($\alpha = 0.05$).

Modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Respuesta obtenida en la j-ésima repetición a la cual se aplicó el i-ésima proporción de materia orgánica.

μ = Efecto de la media general.

α_i = Efecto del i-ésima proporción de materia orgánica.

β_j = Efecto del j-ésima repetición.

ε_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental obtenida en la j-ésima repetición a la cual se aplicó el i-ésima proporción de materia orgánica.

Para:

$i = 1, \dots, 4$ tratamientos

$j = 1, \dots, 3$ repetición.

Análisis de variancia

En el Cuadro 11, se presenta el análisis de variancia de la técnica I.

Cuadro 12. Esquema del análisis de variancia de la técnica I.

Fuentes de variación	Esquema	Grados de libertad
Bloque	(r-1)	2
Tratamientos	(t-1)	3
Error experimental	(t-1) (r-1)	6
Total	(tr-1)	11

Diseño de la técnica II

Para el presente trabajo se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), cuatro tratamientos con tres repeticiones, para las comparaciones entre los tratamientos se utilizará la prueba de comparación de medias Duncan, con un nivel de significación ($\alpha = 0.05$).

Modelo aditivo lineal

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Respuesta obtenida en la j-ésima repetición a la cual se aplicó el i-ésima proporción de dolomita y materia orgánica

μ = Efecto de la media general.

α_i = Efecto del i-ésima proporción de dolomita y materia orgánica

β_j = Efecto del j-ésima repetición.

ϵ_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental obtenida en la j-ésima repetición a la cual se aplicó el i-ésima proporción de dolomita y materia orgánica

Para:

$i = 1, \dots, 4$ tratamientos

$j = 1, \dots, 3$ repetición.

Análisis de variancia

En el Cuadro 12, se presenta el análisis de variancia de la técnica II.

Cuadro 13. Esquema del análisis de variancia de la técnica II.

Fuentes de variación	Esquema	Grados de libertad
Bloque	(r-1)	2
Tratamientos	(t-1)	3
Error experimental	(t-1) (r-1)	6
Total	(tr-1)	11

Diseño de la técnica III

Se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) de $2A \times 2B \times 2C$ con arreglo factorial (2 niveles de dolomita, 2 niveles de roca fosfórica y 2 niveles de materia orgánica), más un testigo adicional y tres

repeticiones, para las comparaciones entre los tratamientos se utilizó la prueba de comparación de medias Duncan, con un nivel de significación ($\alpha = 0.05$).

Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \lambda_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

Y_{ijkl} = Respuesta del i – ésimo nivel de dolomita, j -ésimo nivel de roca fosfórica, k -ésimo nivel de materia orgánica, l – ésima repetición.

μ = Efecto de la media general.

α_i = Efecto de la i – ésimo nivel de dolomita.

β_j = Efecto de la j – ésimo nivel de roca fosfórica.

γ_k = Efecto de la k – ésimo nivel de materia orgánica.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i - ésimo nivel de dolomita con el j -ésimo nivel de roca fosfórica.

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = Efecto de la interacción entre el i – ésimo nivel de dolomita con el k -ésimo nivel de materia orgánica.

$(\beta\gamma)_{jk}$ = Efecto de la interacción entre el j – ésimo nivel de roca fosfórica con el k -ésimo nivel de materia orgánica.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = Efecto de la interacción entre el i - ésimo nivel de dolomita con el j – ésimo nivel de roca fosfórica y el k – ésimo nivel de materia orgánica.

λ_l = Efecto del l – ésimo bloque o repetición.

ε_{ijkl} = Efecto aleatorio del error experimental obtenida en la u .e correspondiente a la l – ésimo repetición sujeta a la aplicación del i – ésimo nivel de dolomita con el j – ésimo nivel de roca fosfórica y el k - ésimo nivel de materia orgánica.

Para:

$i = 1,2$ Niveles de dolomita.

$j = 1,2$ Niveles de roca fosfórica.

$k = 1,2$ Niveles de materia orgánica.

$l = 1, 2, 3$ repeticiones

Análisis de variancia

En el Cuadro 13, se presenta el análisis de variancia de la técnica III.

Cuadro 14. Esquema del análisis de variancia de la técnica III.

Fuentes de variación		G. L.
Bloques	$(r-1)$	2
Tratamientos	$(t-1)$	8
Factorial	$(f-1-1)$	7
A (Dolomita)	$(a-1)$	1
B (Roca fosfórica)	$(b-1)$	1
C (Materia orgánica)	$(c-1)$	1
AxB (Dolomita x roca fosfórica)	$(a-1)(b-1)$	1
AxC (Dolomita x materia orgánica)	$(a-1)(c-1)$	1
BxC (Roca fosfórica x materia orgánica)	$(b-1)(c-1)$	1
AxBxC (Dm. x roca fosfórica x m. orgánica)	$(a-1)(b-1)(c-1)$	1
Factorial vs Testigo	$(f-1)t$	1
Error experimental	$(abc)(r-1)$	16
Total	$(Tr)-1$	26

 **Diseño de la técnica IV**

Se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) de $2A \times 2B \times 2C$ con arreglo factorial 2 niveles de dolomita, 2 niveles de roca fosfórica y 2 niveles de materia orgánica, incluyendo en todos ellos la aplicación del biofertilizante, más un testigo adicional con tres repeticiones.

Para las comparaciones entre los tratamientos se utilizó la prueba de comparación de medias Duncan, con un nivel de significación ($\alpha = 0.05$).

Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + \lambda_l + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde:

Y_{ijkl} = Respuesta del i – ésimo nivel de dolomita, j –ésimo nivel de roca fosfórica, k –ésimo nivel de materia orgánica, l – ésima repetición.

μ = Efecto de la media general.

α_i = Efecto de la i – ésimo nivel de dolomita.

β_j = Efecto de la j – ésimo nivel de roca fosfórica.

γ_k = Efecto de la k – ésimo nivel de materia orgánica.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el i - ésimo nivel de dolomita con el j –ésimo nivel de roca fosfórica + biofertilizante.

$(\alpha\gamma)_{ik}$ = Efecto de la interacción entre el i – ésimo nivel de dolomita con el k –ésimo nivel de materia orgánica + biofertilizante.

$(\beta\gamma)_{jk}$ = Efecto de la interacción entre el j – ésimo nivel de roca fosfórica con el k –ésimo nivel de materia orgánica + biofertilizante.

$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = Efecto de la interacción entre el i - ésimo nivel de dolomita con el j – ésimo nivel de roca fosfórica y el k – ésimo nivel de materia orgánica + biofertilizante.

λ_l = Efecto del l – ésimo bloque o repetición.

ε_{ijkl} = Efecto aleatorio del error experimental obtenida en la u.e correspondiente a la l – ésimo repetición sujeta a la aplicación del i – ésimo nivel de

dolomita con el j – ésimo nivel de roca fosfórica y el k - ésimo nivel de materia orgánica.

Para:

i = 1,2 Niveles de dolomita.

j = 1,2 Niveles de roca fosfórica.

k = 1,2 Niveles de materia orgánica.

l = 1, 2, 3 repeticiones

Análisis de variancia

En el Cuadro 14, se presenta el análisis de variancia.

Cuadro 15. Esquema del análisis de variancia de la técnica IV.

Fuentes de variación	Esquema	G. L.
Bloques	(r-1)	2
Tratamientos	(t-1)	8
Factorial	(f-1-1)	7
A (Dolomita)	(a-1)	1
B (Roca fosfórica)	(b-1)	1
C (Materia orgánica)	(c-1)	1
AxB (Dolomita x roca fosfórica)	(a-1) (b-1)	1
AxC (Dolomita x materia orgánica)	(a-1) (c-1)	1
BxC (Roca fosfórica x materia orgánica)	(b-1) (c-1)	1
AxBxC (Dm. x roca fos. x Mat. Org.)	(a-1)(b-1)(c-1)	1
Factorial vs Testigo	(f-1)t	1
Error experimental	(abc)(r-1)	16
Total	(Tr)-1	26

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Técnica I

4.1.1. Propiedades físicas del suelo de la técnica I

El análisis de variancia de las propiedades físicas del suelo (Cuadro 16), se observa, que a nivel de bloques no existen diferencias estadísticas para la textura, densidad, porosidad, índice de penetrabilidad y humedad a excepción de la velocidad de infiltración; asimismo a nivel de tratamientos, existe significación estadística para la textura, densidad, porosidad, velocidad de infiltración a excepción del índice de penetrabilidad y humedad. Asimismo se tiene excelente coeficiente de variabilidad para la textura (arcilla), densidad y porosidad con 8.46, 6.78 y 3.98 % respectivamente, muy buen coeficiente de variabilidad para la textura (arena), y velocidad de infiltración con 12.43 y 10.48 % respectivamente, buen coeficiente de variabilidad para textura (arena) y índice de penetrabilidad (0 cm) con 15.02 y 18.56 % respectivamente; finalmente se tiene regular coeficiente de disponibilidad del índice de penetrabilidad (5 cm) y humedad con 29.43 y 26.96 % respectivamente; además la prueba de Duncan se presente en el Cuadro 17.

Cuadro 16. Resumen del análisis de variancia de las propiedades físicas del suelo de la técnica I.

Fuente de variación	G.L.	Textura						Densidad		Porosidad		I. Penetrabilidad				Vel. de infiltración		Humedad	
		Arena		Limo		Arcilla		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	0 cm		5 cm		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.					C.M.	Sig.	C.M.	Sig.				
Bloques	2	21.00	NS	16.33	NS	65.33	NS	0.01	NS	18.55	NS	0.09	NS	0.32	NS	16501.00	S	43.77	NS
Trat.	3	211.00	S	12.00	NS	123.00	S	0.02	S	31.20	S	0.05	NS	0.00	NS	60823.60	S	37.90	NS
Error exp.	6	17.00		7.00		17.33		0.00		6.29		0.02		0.08		1099.79		108.54	
Total	11																		
C.V. (%)		12.43		15.02		8.46		6.78		3.98		18.56		29.43		10.48		26.96	

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.

NS : No Significación estadística al 5 % de probabilidad.

Cuadro 17. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para las propiedades físicas del suelo de la densidad, porosidad y velocidad de infiltración de la técnica I.

Densidad			Porosidad			Velocidad de infiltración		
Trat	Prom.	Sig.	Trat	Prom.	Sig.	Trat	Prom.	Sig.
T ₁	1.10	a	T ₃	65.22	a	T ₂	273.74	a
T ₄	0.97	a b	T ₂	65.13	a	T ₄	250.01	a b
T ₂	0.92	b	T ₄	63.33	a b	T ₃	238.37	a b
T ₃	0.92	b	T ₁	58.35	b	T ₁	103.74	c

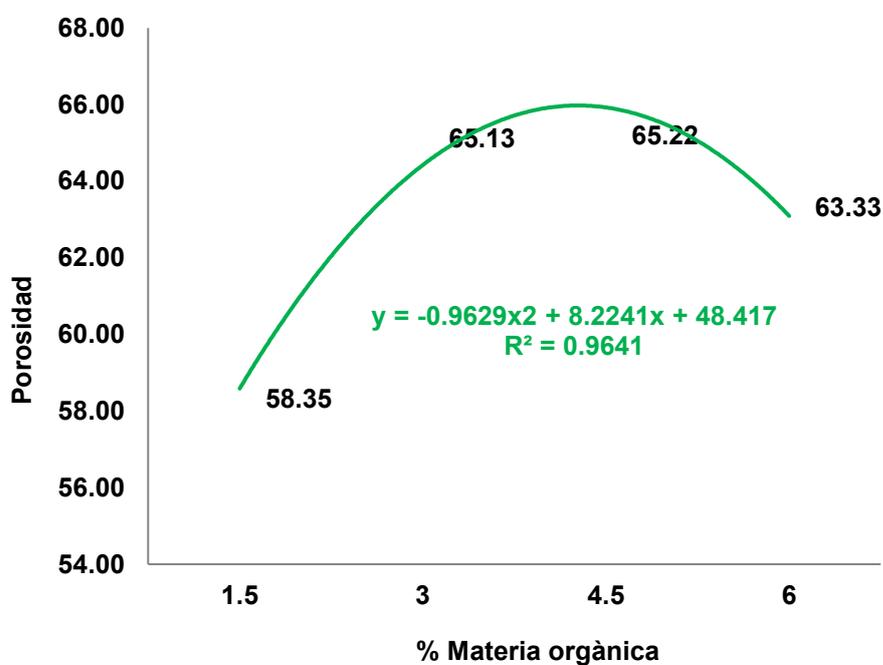
Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística

T₁ 1.5 % Materia orgánica

T₃ 4.5 % Materia orgánica

T₂ 3.0 % Materia orgánica

T₄ 6.0 % Materia orgánica



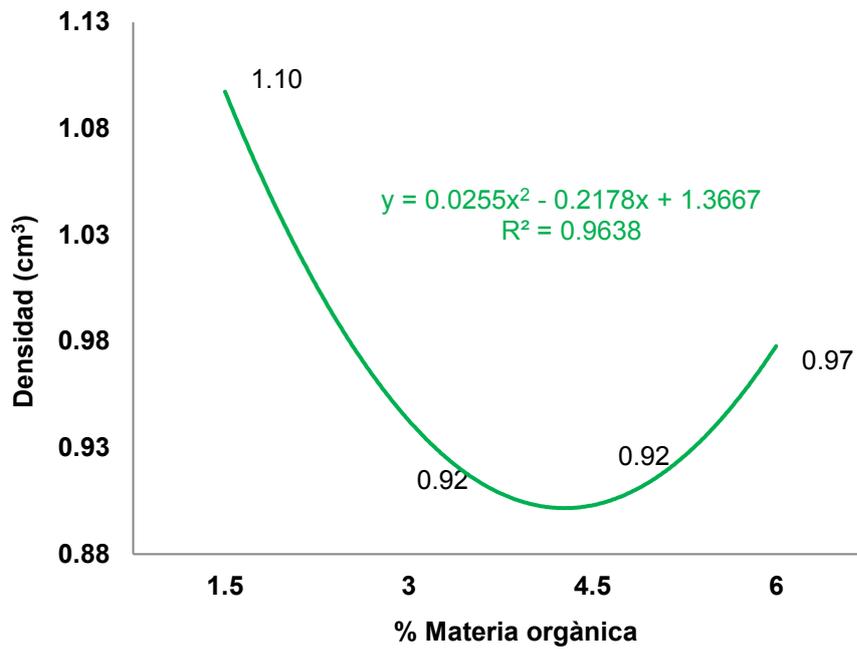
T₁ 1.5 % Materia orgánica

T₃ 4.5 % Materia orgánica

T₂ 3.0 % Materia orgánica

T₄ 6.0 % Materia orgánica

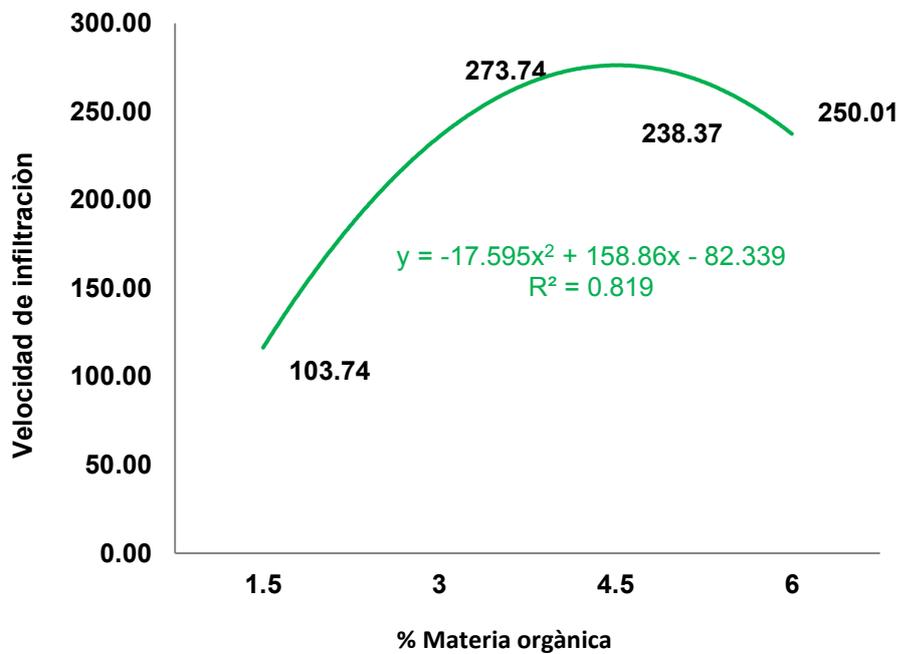
Figura 4. Correlación entre materia orgánica y porosidad.



T₁ 1.5 % Materia orgànica
 T₂ 3.0 % Materia orgànica

T₃ 4.5 % Materia orgànica
 T₄ 6.0 % Materia orgànica

Figura 5. Correlación entre materia orgànica y densidad.



T₁ 1.5 % Materia orgànica
 T₂ 3.0 % Materia orgànica

T₃ 4.5 % Materia orgànica
 T₄ 6.0 % Materia orgànica

Figura 6. Correlación entre materia orgànica y velocidad de infiltración.

En el Cuadro 17 y Figuras 4, 5 y 6, se observa los resultados correspondientes a las propiedades físicas del suelo de la técnica I. Las ecuaciones de regresión de los niveles del porcentaje de la materia orgánica, muestran que la línea de tendencia que mejor se ajusta a los valores evaluados son polinómicas, cuyas ecuaciones y coeficientes de determinación son: ($y = (-0.9629x^2 + 8.2241x + 48.417; r^2 = 0.9641)$), ($0.0255x^2 - 0.2178x + 1.3667; r^2 = 0.9638$) y ($-17.595x^2 + 158.86x - 82.339; r^2 = 0.819$) para la densidad, porosidad y velocidad de infiltración respectivamente. Además, de acuerdo a la ecuación matemática para el punto crítico (mínimo), fue cuando se aplica 4.27 % materia orgánica y se obtuvo una densidad de 0.90 g/cm^3 , este valor indica que una dosis por encima de este porcentaje de materia orgánica va incrementar la densidad; el punto crítico (máximo), fue cuando se aplicó 4.27 % de materia orgánica y se obtuvo una porosidad de 65.98 %, indicando que mayor o menor dosis de materia orgánica baja el porcentaje de porosidad; finalmente la velocidad de infiltración cuando se aplicó 4.51 % de materia orgánica, se obtuvo el punto crítico (máximo), de 276.23 mmh^{-1} , indicando que a mayor aplicación de materia orgánica mayor será la porosidad (Figura 4) y volumen; por lo tanto disminuye la densidad (Figura 5); asimismo a mayor aplicación de la materia orgánica al suelo aumenta la velocidad de infiltración tal como lo menciona BOHN (1993), (Figura 6), por la modificación de los agregados.

4.1.2. Propiedades químicas del suelo de la técnica I

El análisis de variancia de las propiedades físicas del suelo (Cuadro 18), se observa, que a nivel de bloques no existen diferencias estadísticas significativas para la materia orgánica, nitrógenos, fosforo, potasio,

calcio, magnesio, y potasio cambiabile a excepción del pH, Capacidad de Intercambio Catiónico y sodio; asimismo a nivel de tratamientos, no existe significación estadística para la Capacidad Intercambio Catiónico, nitrógeno, potasio, calcio, magnesio, potasio cambiabile y sodio a excepción del pH, materia orgánica y fosforo.

El coeficiente: se tiene excelente coeficiente de variabilidad para el pH con 4.53 %, regular coeficiente de disponibilidad materia orgánica, fosforo, potasio y calcio con 24.66, 22.77, 24.94 y 22.92 % respectivamente, de variable coeficiente de variabilidad para el magnesio y sodio con 28.60 y 25.87 % respectivamente y finalmente de muy variable coeficiente para la capacidad de intercambio catiónico y potasio, la prueba de Duncan se presenta en el Cuadro 19.

Cuadro 18. Resumen del análisis de variancia de las propiedades químicas del suelo de la técnica I.

Fuente de variación	G.L.	pH		CIC		M.O.		Elementos primarios						Saturación de bases							
								N		P		K		Ca		Mg		K (CIC)		Na	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Bloques	2	1.801	S	54.55	S	0.379	NS	0.003	NS	8.753	NS	662.003	NS	2.757	NS	0.145	NS	0.196	NS	0.0022	S
Trat.	8	0.705	S	14.30	NS	2.294	S	0.003	NS	79.38	S	3954.61	NS	8.102	NS	0.163	NS	0.073	NS	0.0001	NS
Error exp.	16	0.081		9.20		0.315		0.001		7.944		5025.56		2.077		0.079		0.085		0.0001	
Total	26																				
CV. (%):		4.532		47.14		24.66		38.69		22.77		24.947		22.92		28.6		63.54		25.876	

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.

NS : No Significación estadística al 5 % de probabilidad.

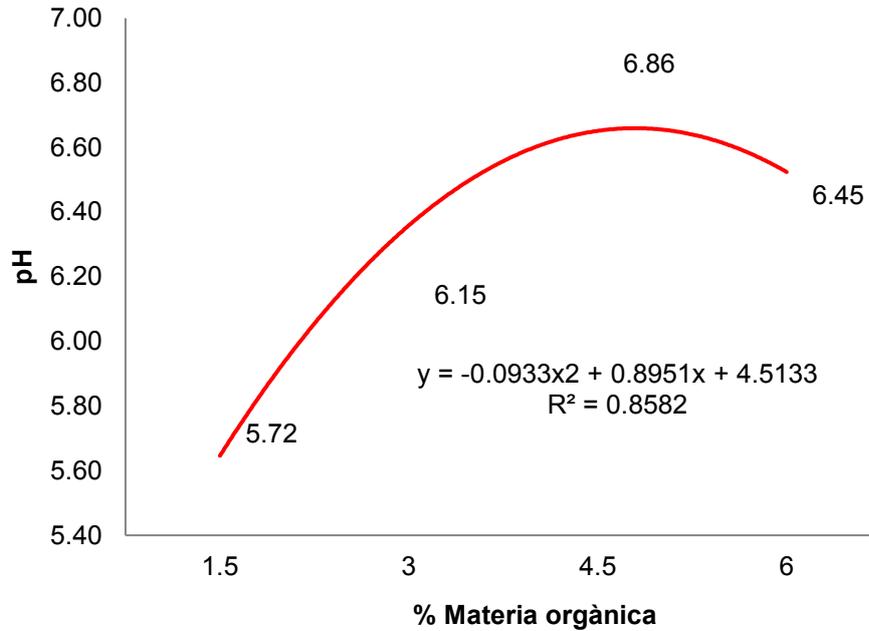
Cuadro 19. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) de las propiedades químicas del suelo del pH, materia orgánica y fosforo de la técnica I.

pH.			Materia orgánica			Fósforo		
Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.
T ₃	6.86	a	T ₄	3.05	a	T ₄	19.68	a
T ₄	6.45	a b	T ₃	3.04	a	T ₃	12.16	b
T ₂	6.15	b c	T ₂	2.63	a	T ₁	9.47	b
T ₁	5.72	c	T ₁	0.97	b	T ₂	8.19	b

Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística.

T₁ 1.5 % Materia orgánica
T₂ 3 % Materia orgánica

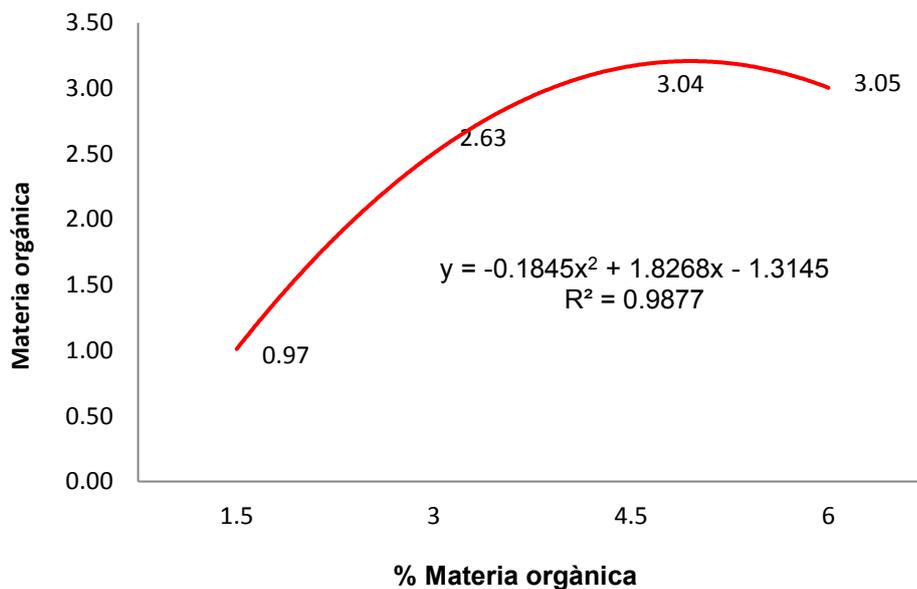
T₃ 4.5 % Materia orgánica
T₄ 6 % Materia orgánica



T₁ 1.5 % Materia orgánica
T₂ 3 % Materia orgánica

T₃ 4.5 % Materia orgánica
T₄ 6 % Materia orgánica

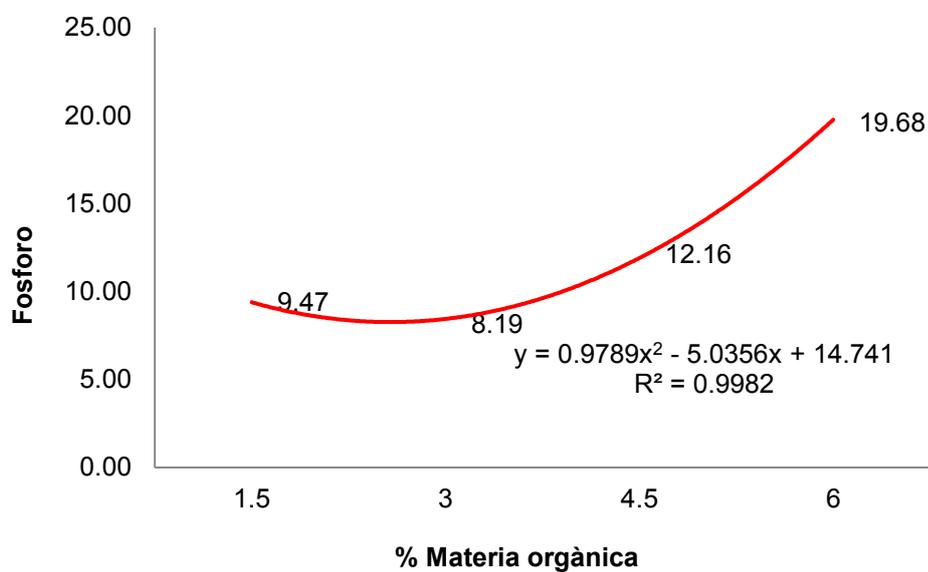
Figura 7. Correlación entre materia orgánica y pH.



T₁ 1.5 % Materia orgànica
 T₂ 3 % Materia orgànica

T₃ 4.5 % Materia orgànica
 T₄ 6 % Materia orgànica

Figura 8. Correlación entre la fuente de materia orgánica con materia orgánica del suelo.



T₁ 1.5 % Materia orgànica
 T₂ 3 % Materia orgànica

T₃ 4.5 % Materia orgànica
 T₄ 6 % Materia orgànica

Figura 9. Correlación entre materia orgánica y fosforo.

En el Cuadro 19 y Figuras 7, 8 y 9, se observa los resultados correspondientes a las propiedades químicas del suelo de la técnica I. Las ecuaciones de regresión de los niveles del porcentaje de la materia orgánica, muestran que la línea de tendencia que mejor se ajusta a los valores evaluados son polinómicas, cuyas ecuaciones y coeficientes de determinación son: ($y = -0.0933x^2 + 0.8951x + 4.5133$; $r^2 = 0.8582$), ($y = -0.1845x^2 + 1.8268x - 1.3145$; $r^2 = 0.9877$) y ($y = 0.9789x^2 - 5.0356x + 14.74$; $r^2 = 0.9982$) para el pH, materia orgánica del suelo y fósforo respectivamente; además, de acuerdo a la ecuación matemática para el punto crítico (máximo), fue cuando se aplica 4.80 % materia orgánica y se obtuvo un pH de 6.66, este valor indica que una dosis por encima de este porcentaje de materia orgánica va a disminuir; el punto crítico (máximo), fue cuando se aplicó 4.95 % de materia orgánica y se obtuvo 3.21 % de materia orgánica en el suelo indicado que mayor o menor dosis de materia orgánica baja el porcentaje de materia orgánica en el suelo; finalmente para el fósforo cuando se aplicó 2.57 % de materia orgánica, obteniendo el punto crítico (máximo), de 8.26 ppm, en la Figura 7.

Del pH se observa que a medida que se incorpora materia orgánica al suelo se incrementa el pH, debido probablemente al uso de algún insumo como dolomita o roca fosfórica (SUQUILLANDA, 2017), en el compostaje (compost) influyendo así en este parámetro químico del suelo; mientras que en la figura 8 se observa que a mayor incorporación de una fuente orgánica existe incremento de materia orgánica en el suelo y en la Figura 9, el resultado obtenido pudo haber sido por dos eventos: Primero por la mineralización de los compuestos que contienen fósforo (NAVARRO, 2003) y el segundo según

FAASBENDER y BORNEMISZA. 1987, se debe probablemente a un incremento de la Capacidad de Intercambio Catiónico que inactiva al aluminio a fin que el fosforo se fije (BUCKMAN, 1985) (Figura 9).

4.1.3. Propiedades biológicas de la técnica I

En el Cuadro 20 se presenta las propiedades biológicas del suelo.

Cuadro 20. Resumen del análisis de variancia de las propiedades biológicas del suelo de la técnica I.

Fuente de variación	G.L.	Propiedades biológicas del suelo							
		3 días		7 días		14 días		21 días	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Bloques	2	1.651	NS	15.623	S	9.971	S	2.286	NS
Trat.	3	0.361	NS	24.34	S	34.97	S	33.994	S
Error exp.	6	2.494		3.026		2.123		2.183	
Total	11								
C.V. (%)		13.01		30.51		24.94		21.59	

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.

NS : No Significación estadística al 5 % de probabilidad.

A nivel de bloques no existen diferencias estadísticas significativas a los 3 y 21 días, pero sí a los 7 y 14 días; asimismo a nivel de tratamientos, no existe significación estadística a los 3 días a excepción de los 7, 14 y 21 días, se tiene muy buen coeficiente de variabilidad a los 3 días, y regularidad coeficiente de variabilidad a los 14 y 21 días con 24.94 y 21.59 % respectivamente y con variable coeficiente de variabilidad a los 7 días con 30.51 %.

Cuadro 21. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para las propiedades biológicas a los 3, 7, 14 y 21 días después del trasplante de cacao.

Propiedades biológicas de la técnica I											
3 Días			7 Días			14 Días			21 Días		
Trat.	Pro.	Sig.	Trat.	Pro.	Sig.	Trat.	Pro.	Sig.	Trat.	Pro.	Sig.
T ₂	12.53	a	T ₁	9.86	a	T ₁	10.83	a	T ₁	11.86	a
T ₃	12.33	a	T ₃	5.16	b	T ₄	4.76	b	T ₄	5.33	b
T ₁	11.86	a	T ₄	4.10	b	T ₃	4.66	b	T ₃	5.23	b
T ₄	11.83	a	T ₂	3.66	b	T ₂	3.10	b	T ₂	4.73	b

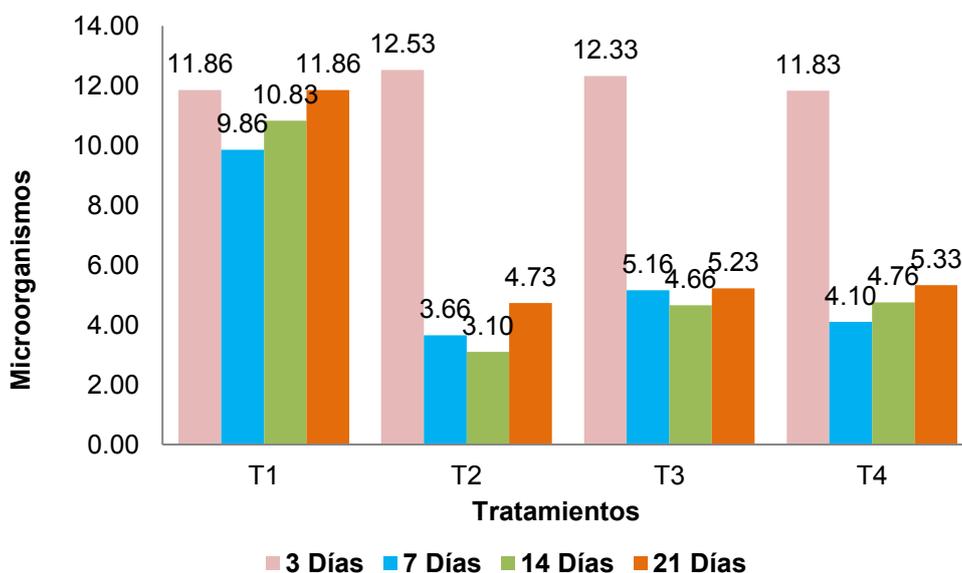
Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística.

T₁ 1.5 % Materia orgánica

T₃ 4.5 % Materia orgánica

T₂ 3.0 % Materia orgánica

T₄ 6.0 % Materia orgánica



T₁ 1.5 % Materia orgánica

T₃ 4.5 % Materia orgánica

T₂ 3.0 % Materia orgánica

T₄ 6.0 % Materia orgánica

Figura 10. Cantidad de microorganismos a los 3, 7, 14 y 21 días de la técnica I.

En el Cuadro 21 y Figura 10, se presenta los resultados correspondientes a las propiedades biológicas del suelo de la técnica I, observándose que a los 3 días el que tuvo mayor cantidad de microorganismos fue el T₂ (3.0 % Materia orgánica) con 12.53 y de menor cantidad fue el

tratamientos T₄ (6.0 % Materia orgánica) con 11.83, a los 7 días el que tuvo mayor cantidad de microorganismos fue el T₁ (1.5 % Materia orgánica) con 9.86 y de menor cantidad fue el tratamientos T₂ (3.0 % Materia orgánica) con 3.66, a los 14 días el que tuvo mayor cantidad de microorganismos fue el T₁ (1.5 % Materia orgánica) con 10.83 y de menor cantidad fue el tratamiento T₂ (3.0 % Materia orgánica) con 3.10 y a los 21 días el que tuvo mayor cantidad de microorganismos fue el T₁ (1.5 % Materia orgánica) con 11.86 y de menor cantidad fue el tratamiento T₂ (3.0 % Materia orgánica) con 4.3.

Los resultados obtenidos según SUQUILLANDA (2007), probablemente se deban a que la materia orgánica en el suelo regula la actividad microbiana y activan la rizogénesis; favoreciendo la respiración radicular, mejorando la nutrición mineral de las plantas y aportando reguladores de crecimiento vegetal.

4.2. Técnica II

4.2.1. Propiedades físicas de la técnica II

Cuadro 22. Resumen del análisis de variancia de las propiedades físicas del suelo de la técnica II.

Fuente de variación	G.L	Densidad (D)		Porosidad (D)		I. Penetrabilidad (D)				Humedad (D)	
						0 cm		5 cm			
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Bloques	2	0.0002	NS	0.28	NS	0.01	NS	0.28	NS	110.96	NS
Trat.	3	0.0210	NS	29.84	NS	0.01	NS	0.08	NS	7.68	NS
Error exp	6	0.0051		7.31		0.02		0.06		47.11	
Total	11										
C.V. (%)		7.28		4.30		16.05		22.82		19.72	

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.
 NS : No Significación estadística al 5 % de probabilidad.

El análisis de variancia de las propiedades físicas del suelo (Cuadro 22), se observa, que a nivel de bloques y tratamientos no existen diferencias estadísticas significativas para la densidad, porosidad, índice de penetrabilidad y humedad; además, se tiene excelente coeficiente de variabilidad para la densidad y porosidad con 7.28 y 4.30 % respectivamente, buen coeficiente de variabilidad para el índice de penetrabilidad (0 cm) y humedad con 16.05 y 19.72 % respectivamente y de regular coeficiente para el índice de penetrabilidad (0 cm) con 22.82 %, la prueba de Duncan se presenta en el Cuadro 23.

Cuadro 23. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para las propiedades físicas del suelo de la densidad, porosidad, índice de infiltración y humedad de la técnica II.

Densidad (D)			Porosidad (D)			Índice de penetrabilidad						Humedad		
						0.D.			5 D.					
Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.
T ₄	1.104	a	T ₃	65.248	a	T ₂	0.8567	A	T ₁	1.311	a	T ₄	36.77	a
T ₁	0.978	a	T ₂	64.797	a	T ₄	0.8233	A	T ₂	1.045	a	T ₃	35.21	a
T ₂	0.933	a	T ₁	63.083	a	T ₁	0.7667	A	T ₃	0.990	a	T ₁	34.28	a
T ₃	0.921	a	T ₄	58.35	a	T ₃	0.7100	A	T ₄	0.956	a	T ₂	32.97	a

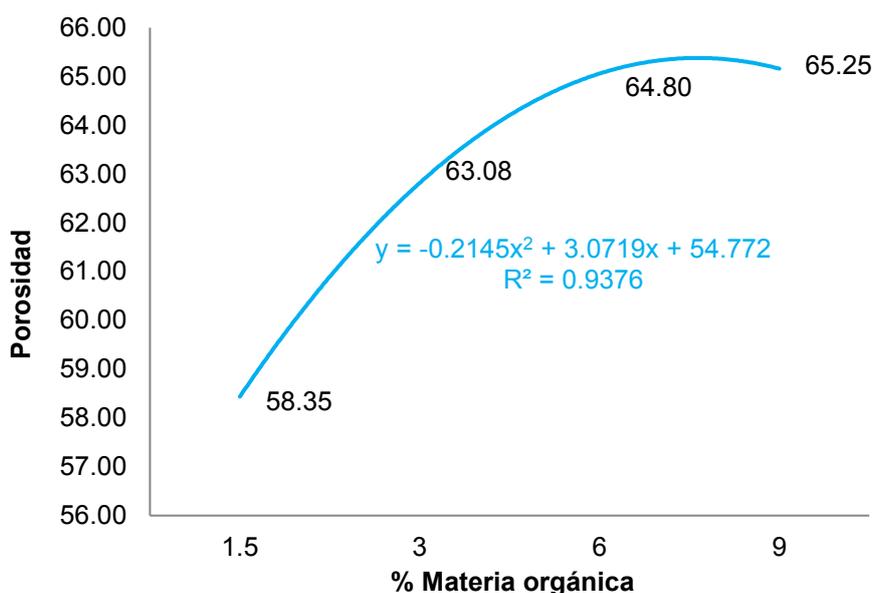
Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística.

T₁ 1.5 % Materia orgánica

T₃ 2 (Tn/ha) dolomita + 6 % Materia orgánica

T₂ 0 (Tn/ha) dolomita + 3 % Materia orgánica

T₄ 3 (Tn/ha) dolomita + 9 % Materia orgánica



T₁ 1.5 % Materia orgánica

T₃ 2 (Tn/ha) dolomita + 6 % Materia orgánica

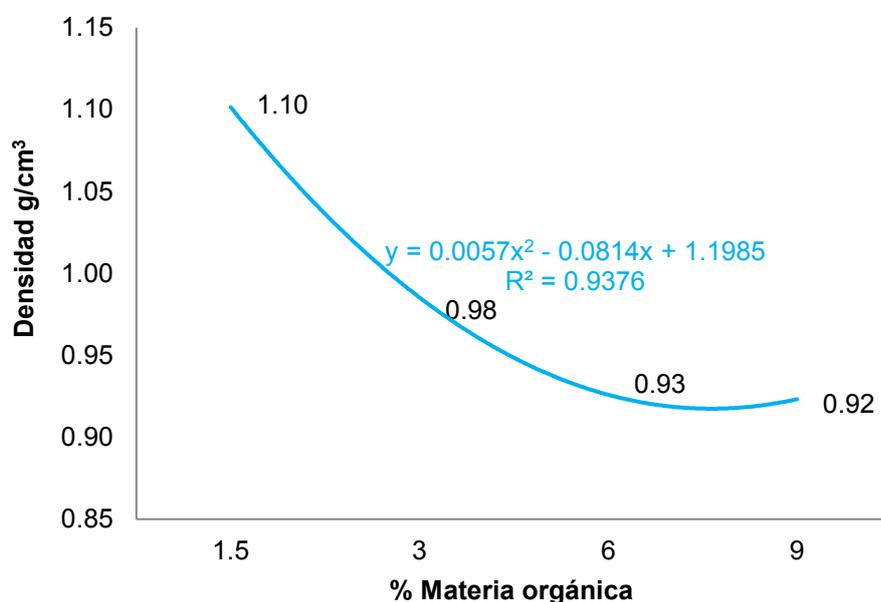
T₂ 0 (Tn/ha) dolomita + 3 % Materia orgánica

T₄ 3 (Tn/ha) dolomita + 9 % Materia orgánica

Figura 11. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica y porosidad del suelo de la técnica II.

Los resultados correspondientes a las propiedades físicas del suelo de la técnica II (Cuadro 23 y Figura 11), se observa las ecuaciones de regresión de los niveles del porcentaje de la materia orgánica, la línea de tendencia que mejor se ajusta a los valores evaluados es polinómica, cuyas ecuaciones y coeficientes de determinación son: ($y = -0.2145x^2 + 3.0719x + 54.772$; $r^2 = 0.9376$); además, de acuerdo a la ecuación matemática para el punto crítico (máximo), fue cuando se aplica 7.16 % de materia orgánica y se obtuvo una porosidad de 65.77 (%), este valor indica que una dosis por encima o por debajo de este porcentaje de materia orgánica va a disminuir la porosidad del suelo; sin embargo la incorporación del contenido de materia orgánica, aumenta la porosidad por ende el volumen del suelo que a su vez es dependiente de los agregados, por su lado MÁRQUEZ *et al.* (2004) concuerda que el suelo bien

agregado ofrece mayor diversidad de tamaños de poros y provee mayor cantidad de macroporos.



T₁ 1.5 % Materia orgánica

T₃ 2 (Tn/ha) dolomita + 6 % Materia orgánica

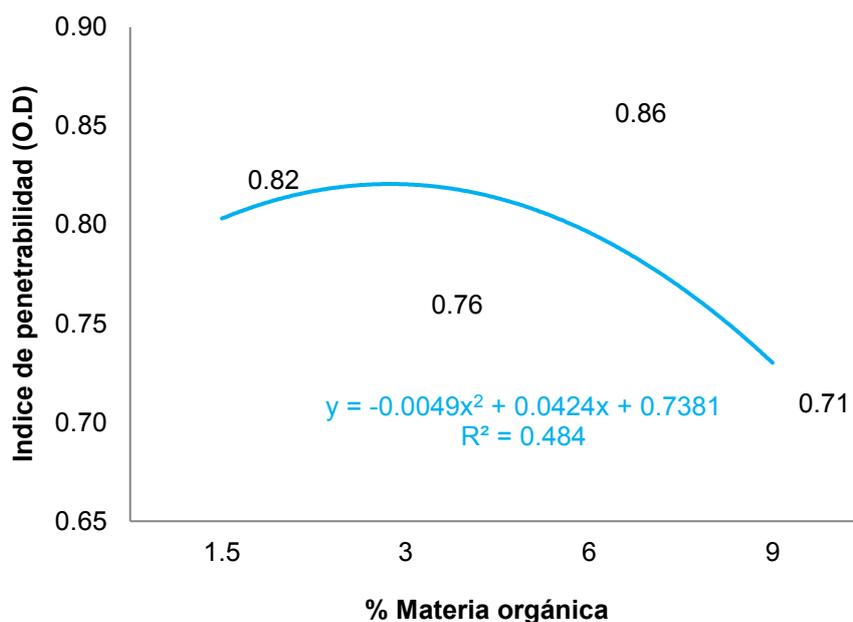
T₂ 0 (Tn/ha) dolomita + 3 % Materia orgánica

T₄ 3 (Tn/ha) dolomita + 9 % Materia orgánica

Figura 12. Correlación entre la fuente de materia orgánica y densidad del suelo de la técnica II.

Los resultados correspondientes a las propiedades físicas del suelo de la técnica II (Cuadro 23 y Figura 12), se observa las ecuaciones de regresión de los niveles del porcentaje de la materia orgánica, la línea de tendencia que mejor se ajusta a los valores evaluados es polinómica, cuyas ecuaciones y coeficientes de determinación son: ($y = 0.0057x^2 - 0.0814x + 1.1985$; $r^2 = 0.9376$); además, de acuerdo a la ecuación matemática para el punto crítico (mínimo), fue cuando se aplica 7.14 % de materia orgánica y se obtuvo una densidad de 0.91 g/cm³, este valor indica que la incorporación de la materia orgánica al suelo, disminuye la densidad y grado de compactación por influir en la

distribución del tamaño de las partículas del suelo (MÁRQUEZ, 2004); además a mayor agregados mayor macroporos, por lo tanto aumenta el volumen pero disminuye la densidad (BRUCKMAN, 1985).

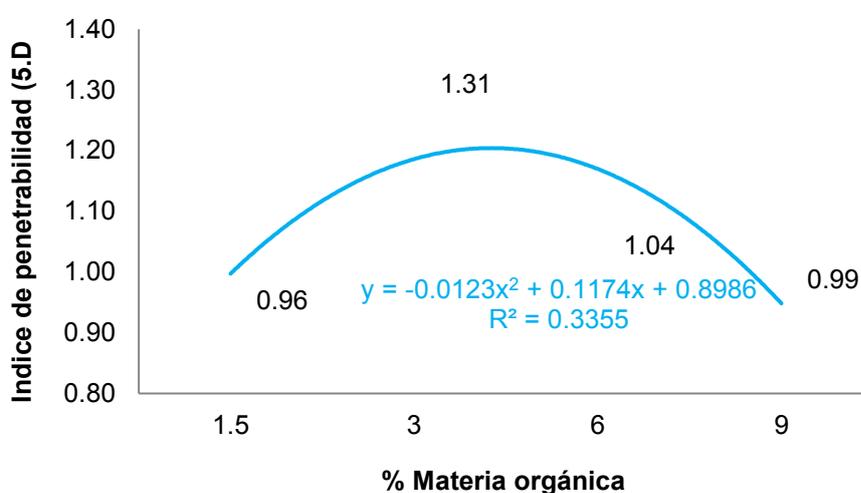


T ₁	1.5 % Materia orgánica	T ₃	2 (Tn/ha) dolomita + 6 % Materia orgánica
T ₂	0 (Tn/ha) dolomita + 3 % Materia orgánica	T ₄	3 (Tn/ha) dolomita + 9 % Materia orgánica

Figura 13. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica y del índice de penetrabilidad (0 D) del suelo de la técnica II.

Se observa en los resultados correspondientes a las propiedades físicas del suelo de la técnica II (Cuadro 23 y Figura 13), que las ecuaciones de regresión de los niveles del porcentaje de la materia orgánica, presenta la línea de tendencia que mejor se ajusta a los valores evaluados siendo polinómica, cuyas ecuaciones y coeficientes de determinación son: ($y = -0.0049x^2 + 0.0424x + 0.7381$; $r^2 = 0.484$); además, de acuerdo a la ecuación matemática para el punto crítico (máximo), fue cuando se aplica 4.33 % de materia orgánica

obteniendo un índice de penetrabilidad de 0.83, este valor indica que una dosis por encima o por debajo de este porcentaje de materia orgánica va a disminuir la penetrabilidad del suelo, es decir que en un suelo desnudo, la caída de las gotas de lluvia tienden a desagregar la estructura de los suelos formando costras impermeables (HÜNNEMEYER *et al.*, 1997).



T₁ 1.5 % Materia orgánica

T₃ 2 (Tn/ha) dolomita + 6 % Materia orgánica

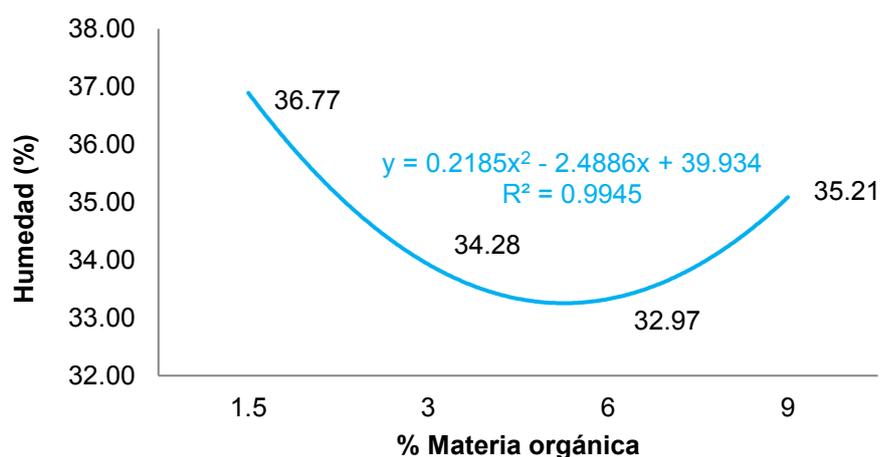
T₂ 0 (Tn/ha) dolomita + 3 % Materia orgánica

T₄ 3 (Tn/ha) dolomita + 9 % Materia orgánica

Figura 14. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica con el índice de penetrabilidad (5 D) del suelo de la técnica II.

Los resultados correspondientes a las propiedades físicas del suelo de la técnica II (Cuadro 23 y Figura 14), se observa las ecuaciones de regresión de los niveles del porcentaje de la materia orgánica, la línea de tendencia que mejor se ajusta a los valores evaluados es polinómica, cuyas ecuaciones y coeficientes de determinación son: $(y = -0.0123x^2 + 0.1174x + 0.8986; r^2 = 0.3355)$; además, de acuerdo a la ecuación matemática para el punto crítico (máximo),

fue cuando se aplica 4.77 % de materia orgánica y se obtuvo un índice de penetrabilidad de 1.79 este valor indica que una dosis por encima o por debajo de este porcentaje de materia orgánica va a disminuir la penetrabilidad del suelo; a medida que se incrementa la materia orgánica existe un incremento del índice de penetrabilidad, es decir el punto máximo fue 1.79 de penetrabilidad cuando se va aplicar 4.77 % de materia orgánica, resultado similar de CARTER (2002) afirmando que al aplicar niveles adecuados de materia orgánica al suelo contribuye a disminuir la densidad aparente (Figura 12) y la resistencia a la compactación del suelo.



T₁ 1.5 % Materia orgánica

T₃ 2 (Tn/ha) dolomita + 6 % Materia orgánica

T₂ 0 (Tn/ha) dolomita + 3 % Materia orgánica

T₄ 3 (Tn/ha) dolomita + 9 % Materia orgánica

Figura 15. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica con humedad del suelo de la técnica II.

Los resultados correspondientes a las propiedades físicas del suelo de la técnica II (Cuadro 23 y Figura 15), se observa las ecuaciones de regresión de los niveles del porcentaje de la materia orgánica, la línea de tendencia que mejor se ajusta a los valores evaluados es polinómica, cuyas ecuaciones y

coeficientes de determinación son: ($y = 0.2185x^2 - 2.4886x + 39.934$; $r^2 = 0.9945$); además, de acuerdo a la ecuación matemática para el punto crítico (máximo), fue cuando se aplica 5.70 % de materia orgánica y se obtuvo una humedad de 32.85 (%), es decir la disminución de la humedad como consecuencia de la aplicación de materia orgánica, obedece al incremento de la porosidad (Figura 11), disminución de la densidad (Figura 12) y aumento del índice de penetrabilidad (Figura 13 y 14), tal como menciona (HÜNNEMEYER *et al.*, 1997) el movimiento del agua dentro del suelo está relacionado con el arreglo de las partículas y los poros.

4.2.2. Propiedades químicas de la técnica II

En el análisis de variancia de las propiedades químicas (Cuadro 24), se observa que a nivel de bloques no existen diferencias estadísticas para el pH, Capacidad de Intercambio Catiónico, fósforo, potasio, magnesio y sodio a excepción de la materia orgánica, nitrógeno, y potasio cambiante. A nivel de tratamientos, existe significación estadística para la materia orgánica, nitrógeno, y fósforo a excepción del pH, Capacidad de Intercambio Catiónico, potasio, calcio, magnesio potasio cambiante y sodio. Además se tiene excelente coeficiente de variabilidad para el pH con 8.6 %, buen coeficiente de variabilidad para el fósforo y potasio con 19.7 y 18.7 % respectivamente, de regular coeficiente de variabilidad la materia orgánica y nitrógeno con 23.2 y 23.3 % respectivamente, de coeficiente variable el calcio, magnesio y potasio cambiante con 25.2, 28 y 26.7 % respectivamente, finalmente de muy variable coeficiente para la Capacidad de Intercambio Catiónico y sodio.

Cuadro 24. Resumen del análisis de variancia de las propiedades químicas del suelo de la técnica II.

Fuente de variación	G.L.	pH.		CIC.		M.O.		Elementos primarios						Saturación de bases							
		N.		P.		K.		Ca.		Mg.		K (CIC).		Na.							
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.				
Bloques	2	0.81	NS	14.61	NS	1.89	S	0.004	S	86.08	NS	4219.69	NS	2.86	NS	0.25	NS	0.24	S	0.0010	NS
Trat.	8	0.76	NS	21.21	NS	2.56	S	0.005	S	1280.51	S	1340.85	NS	7.89	NS	0.28	NS	0.07	NS	0.0004	NS
Error	16	0.28		10.99		0.26		0.001		20.27		2368.76		2.43		0.10		0.02		0.0004	
Total	26																				
CV. (%):		8.6		47.0		23.2		23.3		19.7		18.7		25.2		28.0		26.7		46.96	

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.

NS : No Significación estadística al 5 % de probabilidad.

Cuadro 25. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para las propiedades químicas del suelo de la materia orgánica, nitrógeno y fosforo de la técnica II.

Propiedades químicas del suelo de la técnica II								
Materia orgánica (%)			Nitrógeno (%)			Fosforo (ppm)		
Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.
T ₃	3.03	A	T ₃	0.14	a	T ₃	53.05	a
T ₂	2.78	A	T ₂	0.13	a b	T ₂	19.38	b
T ₁	2.06	A	T ₁	0.09	a b	T ₁	9.53	c
T ₄	0.97	b	T ₄	0.04	c	T ₄	9.47	c

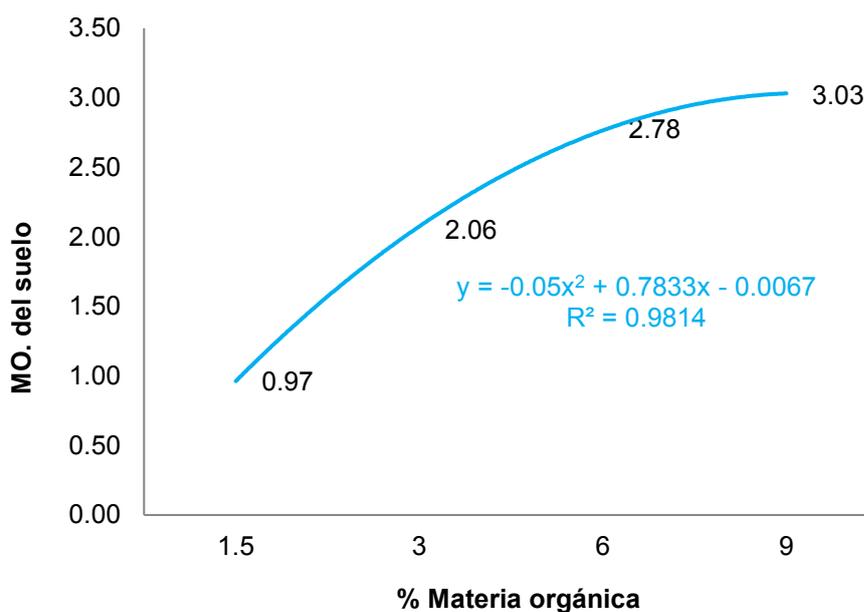
Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística.

T₁ 1.5 % Materia orgánica

T₃ 2 (Tn/ha) dolomita + 6 % Materia orgánica

T₂ 0 (Tn/ha) dolomita + 3 % Materia orgánica

T₄ 3 (Tn/ha) dolomita + 9 % Materia orgánica



T₁ 1.5 % Materia orgánica

T₃ 2 (Tn/ha) dolomita + 6 % Materia orgánica

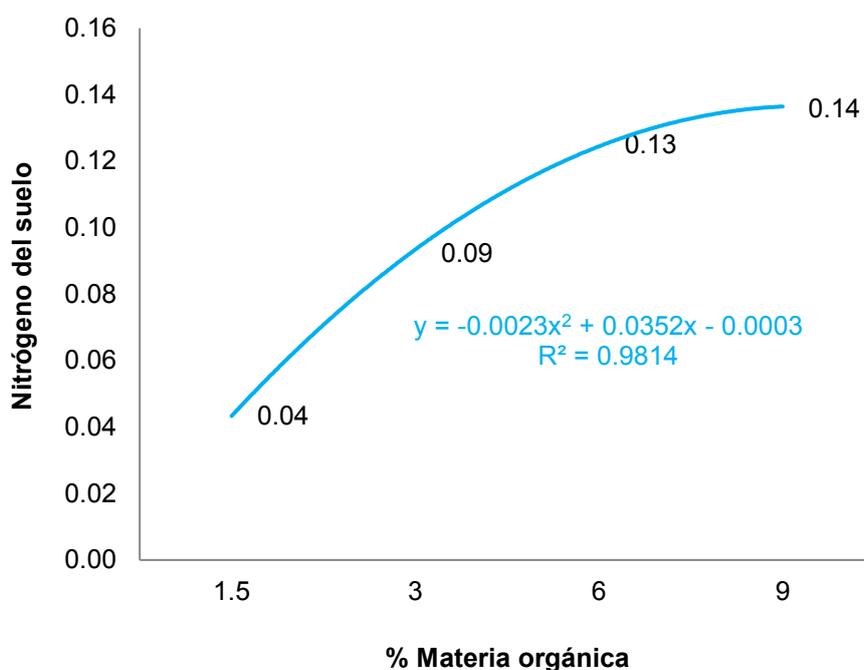
T₂ 0 (Tn/ha) dolomita + 3 % Materia orgánica

T₄ 3 (Tn/ha) dolomita + 9 % Materia orgánica

Figura 16. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica con la materia orgánica del suelo de la técnica II.

Los resultados correspondientes a las propiedades químicas del suelo de la técnica II (Cuadro 25 y Figura 16), se observa las ecuaciones de

regresión de los niveles del porcentaje de la materia orgánica, la línea de tendencia que mejor se ajusta a los valores evaluados es polinómica, cuyas ecuaciones y coeficientes de determinación son: ($y = -0.05x^2 + 0.7833x - 0.0067$; $r^2 = 0.9814$); de acuerdo a la ecuación matemática para el punto crítico (máximo), fue cuando se aplica 7.83 % de materia orgánica y se obtuvo 3.06% de materia orgánica del suelo; esto quiere decir según CEPEDA (1999) que a mayor incorporación de una fuente orgánica existe incremento de materia orgánica en el suelo.

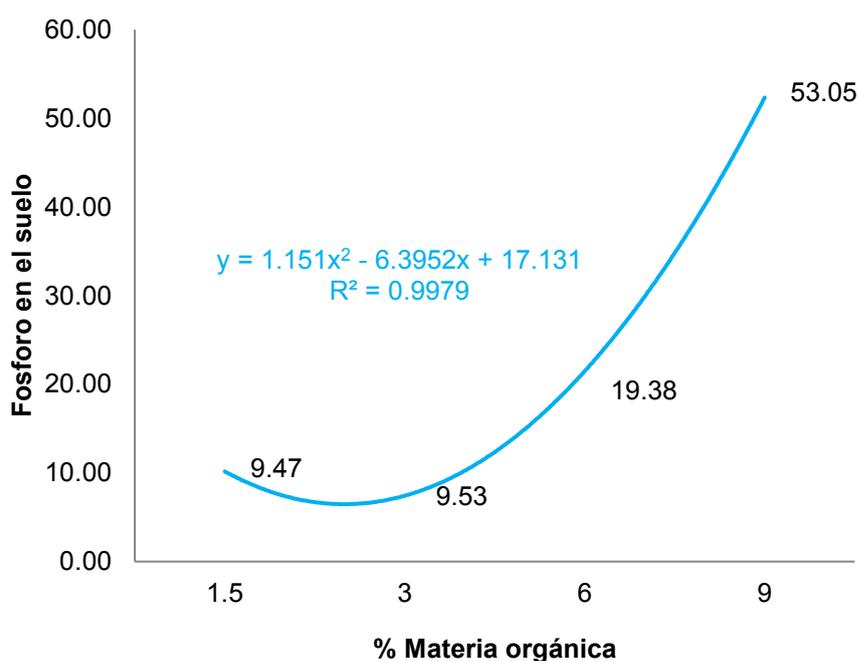


- | | |
|--|--|
| T₁ 1.5 % Materia orgánica | T₃ 2 (Tn/ha) dolomita + 6 % Materia orgánica |
| T₂ 0 (Tn/ha) dolomita + 3 % Materia orgánica | T₄ 3 (Tn/ha) dolomita + 9 % Materia orgánica |

Figura 17. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica con el nitrógeno del suelo de la técnica II.

Los resultados correspondientes a las propiedades químicas del suelo de la técnica II (Cuadro 25 y Figura 17), se observa las ecuaciones de regresión de los niveles del porcentaje de la materia orgánica, la línea de

tendencia que mejor se ajusta a los valores evaluados es polinómica, cuyas ecuaciones y coeficientes de determinación son: ($y = -0.0023x^2 + 0.0352x - 0.0003$; $r^2 = 0.9814$); además, de acuerdo a la ecuación matemática para el punto crítico (máximo), fue cuando se aplica 7.65 % de materia orgánica y se obtuvo 0.13 % de nitrógeno en el suelo, estos resultados indican que la materia orgánica dentro de su composición tiene proteínas que al mineralizarse contribuye en un incremento de nitrógeno en el suelo. Por otro lado NAVARRO (2003), considera que la fertilización orgánica suele presentar balances positivos de nitrógeno.



- | | |
|--|--|
| T ₁ 1.5 % Materia orgánica | T ₃ 2 (Tn/ha) dolomita + 6 % Materia orgánica |
| T ₂ 0 (Tn/ha) dolomita + 3 % Materia orgánica | T ₄ 3 (Tn/ha) dolomita + 9 % Materia orgánica |

Figura 18. Correlación entre el porcentaje de materia orgánica con el fósforo del suelo de la técnica II.

Los resultados correspondientes a las propiedades químicas del suelo de la técnica II (Cuadro 25 y Figura 18), se observa las ecuaciones de

regresión de los niveles del porcentaje de la materia orgánica, la línea de tendencia que mejor se ajusta a los valores evaluados es polinómica, cuyas ecuaciones y coeficientes de determinación son: ($y = 1.151x^2 - 6.3952x + 17.131$; $r^2 = 0.9979$); además, de acuerdo a la ecuación matemática para el punto crítico (máximo), fue cuando se aplica 2.78 % de materia orgánica y se obtuvo 8.25 ppm de fósforo en el suelo, estos resultados indican que pudo haber sido por dos eventos: primero por la mineralización de los compuestos que contiene el fósforo (ACEVEDO *et al.*, 2005) y segundo probablemente a un incremento de la Capacidad de Intercambio Catiónico que inactiva al aluminio a fin que el fósforo se fije (BOHN, 1993).

4.2.3. Propiedades biológicas de la técnica II

En el Cuadro 26 se presenta análisis de variancia de las propiedades biológicas del suelo.

Cuadro 26. Resumen del análisis de variancia de las propiedades biológicas del suelo de la técnica II.

Fuente de variación	G.L.	Propiedades biológicas del suelo							
		3 días		7 días		14 días		21 días	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Bloques	2	1.956	NS	4.353	NS	7.723	NS	1.008	NS
Trat.	3	2.085	NS	22.670	S	42.939	S	35.507	S
Error exp.	6	4.440		3.200		2.861		3.994	
Total	11								
C.V. (%)		18.230		30.440		31.81		29.710	

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.

NS : No Significación estadística al 5 % de probabilidad.

En el análisis de variancia de las propiedades biológicas (Cuadro 26), se observa que a nivel de bloques no existen diferencias estadísticas a los 3, 7, 14

En el Cuadro 27 y Figura 19, se presenta los resultados correspondientes a las propiedades biológicas del suelo de la técnica II, se observa que a los 3 días el que tuvo mayor cantidad de microorganismos fue el T₂ (0 tn Dolomita + 3 % materia orgánica) con 12.30 y de menor cantidad fue el tratamientos testigo T₃ (2 tn Dolomita + 6 % materia orgánica) con 10.36, a los 7 días el que tuvo mayor cantidad de microorganismos que el T₁ (1.5 % materia orgánica) con 9.86 y de menor cantidad fue el tratamientos T₃ (2 tn Dolomita + 6 % materia orgánica) con 3.90, a los 14 días el que tuvo mayor cantidad de microorganismos que el T₁ (1.5 % materia orgánica) con 10.83 y de menor cantidad fue el tratamientos T₂ (0 tn Dolomita + 3 % materia orgánica) con 2.72 y a los 21 días el que tuvo mayor cantidad de microorganismos fue el T₁ (1.5 % materia orgánica) con 11.86 y de menor cantidad fue el tratamiento T₄ (3 tn Dolomita + 9 % Materia orgánica) con 4.60. Los resultados obtenidos se deben a que la dolomita no contribuye en el desarrollo y la actividad de los microorganismos del suelo, posiblemente las grandes cantidades de materia encalante eliminen la parte biológica. Sin embargo, SUQUILLANDA, (2017) menciona que la dolomita reduce la actividad de las sustancias tóxicas del suelo como el aluminio (Al) y el manganeso (Mn) aumentando la disponibilidad del fósforo (P), del nitrógeno (N) y del azufre (S); acelerando la descomposición de la materia orgánica (MO) y la liberación de nutrientes.

4.3. Técnica III

4.3.1. Propiedades físicas de la técnica III

El análisis de variancia de las propiedades físicas del suelo (Cuadro 28), a nivel de bloques no existen diferencias estadísticas para el índice de penetrabilidad (0 fuera), densidad y porosidad por fuera, velocidad de infiltración, humedad por dentro y humedad por fuera a excepción del índice de penetrabilidad a 0.5 por fuera, densidad por dentro y porosidad por dentro. A nivel de tratamientos, factorial, interacción AxC y BxC no existe significación estadística para el índice de penetrabilidad (0 y 0.5), densidad (fuera y dentro), porosidad (dentro y fuera) y humedad (dentro y fuera) a excepción de la velocidad de infiltración; para el factor A, no existe significación estadística, densidad (fuera y dentro), porosidad (dentro y fuera), velocidad de infiltración y humedad (dentro y fuera) a excepción del índice de penetrabilidad (0 y 0.5); además el factor B, C, interacción de (AxB) y (AxBxC) no existe significación estadística en ninguna de las propiedades físicas del suelo; asimismo el factorial vs testigo, no existe significación estadística para índice de penetrabilidad (0 y 0.5), densidad (por fuera y dentro), porosidad (por dentro y fuera) y humedad por dentro a excepción de la velocidad de infiltración y humedad por fuera, además: se tiene excelente coeficiente de variabilidad para la densidad (dentro y fuera) y porosidad (dentro y fuera) con 6.69, 9.57, 4.55 y 7.93 % respectivamente, buen coeficiente de variabilidad para la humedad (dentro y fuera) con 17.97 y 17.01 % respectivamente y finalmente se tiene regular coeficiente de variabilidad del índice de penetrabilidad (0 fuera y 0.5 fuera) y velocidad de infiltración con 29.58, 25.04 y 25.05 % respectivamente.

Cuadro 28. Resumen del análisis de variancia de las propiedades físicas del suelo de la técnica III.

Fuente de variación	Índice de penetrabilidad (0 Fuera)			Índice de penetrabilidad (0.5 Dentro)		Densidad por dentro		Densidad por fuera		Porosidad por dentro		Porosidad por fuera		Velocidad de infiltración		Humedad por dentro		Humedad por fuera	
	GL	CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.
Bloques	2	0.15	NS	0.27	S	0.05	S	0.02	NS	65.28	S	25.91	NS	230.08	NS	71.98	NS	89.19	NS
Tratamientos	8	0.14	NS	0.06	NS	0.00	NS	0.01	NS	5.68	NS	16.67	NS	20364.64	S	22.46	NS	58.67	NS
Factorial	7	0.14	NS	0.06	NS	0.00	NS	0.01	NS	5.81	NS	15.04	NS	14310.39	S	21.12	NS	37.68	NS
A	1	0.63	S	0.23	S	0.00	NS	0.03	NS	0.77	NS	36.86	NS	854.55	NS	6.86	NS	40.72	NS
B	1	0.04	NS	0.02	NS	0.00	NS	0.01	NS	1.46	NS	14.94	NS	2341.75	NS	2.20	NS	0.01	NS
C	1	0.01	NS	0.06	NS	0.02	NS	0.01	NS	21.62	NS	14.75	NS	2920.79	NS	0.01	NS	105.44	NS
AxB	1	0.01	NS	0.09	NS	0.01	NS	0.01	NS	8.98	NS	8.39	NS	101.26	NS	16.05	NS	0.09	NS
AxC	1	0.00	NS	0.00	NS	0.00	NS	0.01	NS	0.12	NS	11.95	NS	35912.21	S	2.92	NS	0.05	NS
BxC	1	0.25	NS	0.00	NS	0.00	NS	0.01	NS	6.81	NS	15.73	NS	48709.76	S	117.32	NS	87.34	NS
AxBxC	1	0.02	NS	0.02	NS	0.00	NS	0.00	NS	0.92	NS	2.64	NS	9332.44	NS	2.46	NS	30.15	NS
Fact. vs test.	1	0.15	NS	0.01	NS	0.00	NS	0.02	NS	4.74	NS	28.06	NS	62744.36	S	31.86	NS	205.57	S
Error exp.	16	0.08		0.05		0.01		0.01		7.35		18.81		5159.43		36.70		29.60	
Total	26																		

CV. (%): 29.58 25.04 6.69 9.57 4.55 7.93 25.05 17.97 17.01

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.
NS : No Significación estadística al 5 % de probabilidad.

A. Efecto principal de la dolomita en el índice de penetrabilidad

Cuadro 29. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para el efecto principal del factor A (niveles de dolomita) en la propiedad física del suelo del índice de penetrabilidad a 0 cm y 5 cm respectivamente.

Factor A: (Niveles de dolomita)	Índice de penetrabilidad			
	0 cm		5 cm	
	Prom.	Sig.	Prom.	Sig.
a ₁ (0 Toneladas de dolomita)	1.08	a	0.98	a
a ₂ (2 Toneladas de dolomita)	0.76	b	0.79	b

Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística.

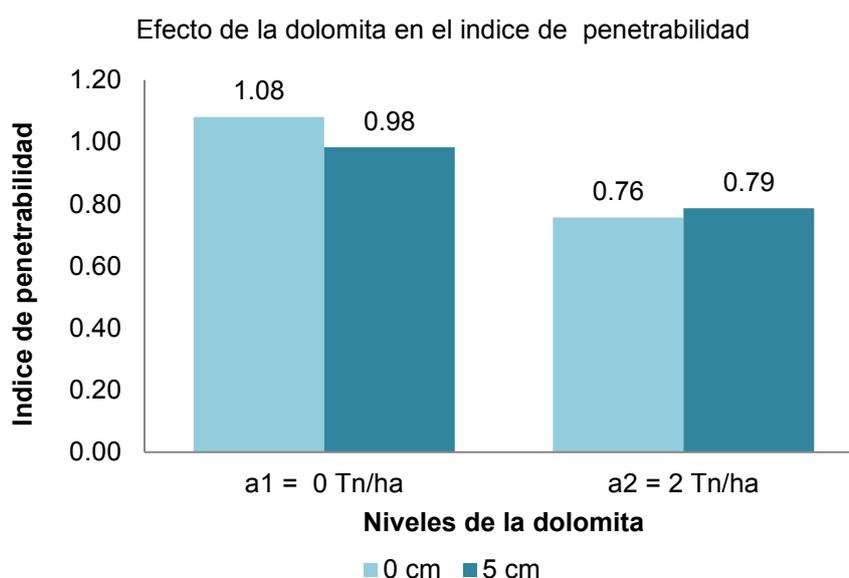


Figura 20 Efecto de la dolomita en el índice de penetrabilidad.

El efecto de la dolomita en el índice de penetrabilidad (Cuadro 29 y Figura 20), se observa que cuando no se aplicó dolomita ni a cero ni a 5 cm, tuvo mayor efecto de penetrabilidad que cuando se aplicó las 2 toneladas por hectárea. Es decir cuando existe menos calcio en el suelo habrá menos agregados por lo tanto se incrementa el índice de penetrabilidad (Figura 13),

Por otro lado, a mayor calcio en el suelo mayor agregados por lo tanto menor índice de penetrabilidad (SUQUILLANDA, 2017).

B. Efectos simples

Los efectos simples del análisis de variancia para la velocidad de infiltración, se presenta en el Cuadro 30.

Cuadro 30. Análisis de variancia de los efectos simples de los factores en estudio con la velocidad de infiltración.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F cal.	Sig.
Efecto simple del factor niveles de dolomita (A)					
A en b ₁ (6 % M.O.)	1	23923.11	23923.11	4.64	S
A en b ₂ (9 % M.O.)	1	12843.65	12843.65	2.49	NS
Efecto simple del factor niveles de materia orgánica (B)					
B en a ₁ (0 Tn Do)	1	9174.82	9174.82	1.78	NS
B en a ₂ (2 Tn Do)	1	29658.17	29658.17	5.75	S
Efecto simple del factor niveles de roca fosfórica (C)					
C en b ₁ (6 % M.O.)	1	14854.59	14854.59	2.877	NS
C en b ₂ (9 % M.O.)	1	36205.93	36205.93	7.017	S
Efecto simple del factor niveles de materia orgánica (B)					
B en c ₁ (150 g P ₂ O ₅)	1	37743.01	37743.01	7.32	S
B en c ₂ (300 g P ₂ O ₅)	1	13887.54	13887.54	2.69	NS
Error experimental	16	172979,21	10811,20		

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.

NS : No Significación estadística al 5 % de probabilidad.

M.O. : Materia orgánica

Do : Dolomita

Los efectos simples de los factores en la velocidad de infiltración en el suelo (Cuadro 30), se observa que cuando se aplicó la dolomita tuvo efecto la materia orgánica al 6 %, cuando se aplicó materia orgánica tuvo efecto la dolomita a 2 toneladas, cuando se aplicó roca fosfórica tuvo efecto la materia orgánica al 9 % y cuando se aplicó materia orgánica tuvo efecto la roca fosfórica a 150 g P₂O₅, la prueba de Duncan para la velocidad de infiltración se presenta en el Cuadro 31.

Cuadro 31. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) de los efectos simples de los factores en estudio con la velocidad de infiltración.

Velocidad de infiltración (mm/h)		
Factores	Promedio	Sig.
A: (Niveles de dolomita) en: B₁ (6 % Materia orgánica)		
a ₁ : (0 Tn Do), b ₁ (6 % M.O.)	337.452	A
a ₂ : (2 Tn Do), b ₁ (6 % M.O.)	248.152	B
B: (Niveles de materia orgánica) en: a₂ (2 Tn Dolomita)		
b ₂ : (9 % M.O), a ₂ (2 Tn Do)	347.581	A
b ₁ : (6 % M.O), a ₂ (2 Tn Do)	248.152	B
C: (Niveles de roca fosfórica) en: b₂ (9 % Materia orgánica)		
c ₁ : (150 g P ₂ O ₅), b ₂ (9 % M.O.)	369.794	a
c ₂ : (300 g P ₂ O ₅), b ₂ (9 % M.O.)	259.937	b
B: (Niveles de materia orgánica) en : C₁ (150 kg P₂O₅)		
b ₂ : (9 % M.O), c ₁ (150 g P ₂ O ₅)	369.794	a
b ₁ : (6 % M.O), c ₁ (150 g P ₂ O ₅)	257.629	b

Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística.

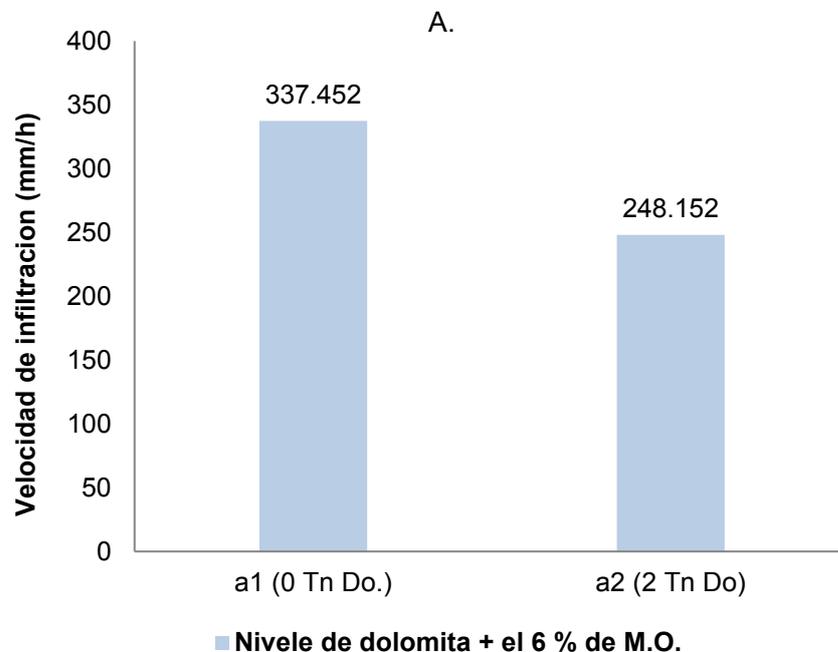


Figura 21. Niveles de la dolomita con el 6 % de materia orgánica en la velocidad de infiltración de la técnica III.

El efecto de la dolomita con el 6 % de materia orgánica (Cuadro 31 y Figura 21), registro que cuando no se aplicó la dolomita tuvo mayor efecto en la velocidad de infiltración que cuando se aplicó las 2 toneladas de dolomita por hectárea, estos resultados se debe a que el incremento de la velocidad de infiltración se da por efecto de la materia orgánica; por otro lado la dolomita no aporta en este parámetro. Tal como menciona SUQUILLANDA (2017), la dolomita proporciona calcio (Ca) y magnesio (Mg), elementos esenciales para el crecimiento de las plantas; reduce la actividad de las sustancias toxicas del suelo como el aluminio (Al) y el manganeso (Mn) aumentando la disponibilidad del fosforo (P), del nitrógeno (N) y del azufre (S); acelera la descomposición de la materia orgánica (MO) y la liberación de nutrientes.

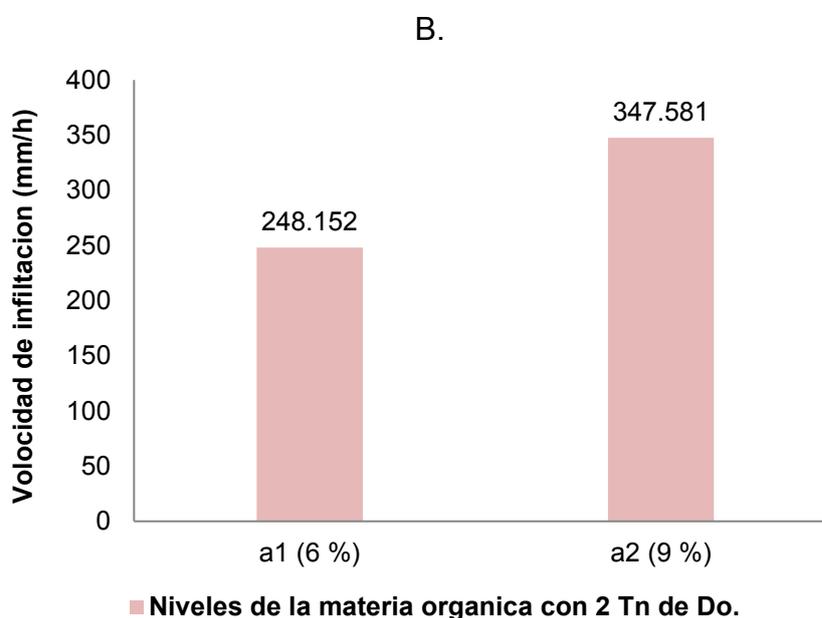


Figura 22. Niveles de la materia orgánica con 2 toneladas de dolomita en la velocidad de infiltración de la técnica III.

El efecto de la materia orgánica con 2 toneladas de dolomita (Cuadro 31 y Figura 22), registro que la materia orgánica cuando se aplicó al 9 % tuvo mayor efecto en la velocidad de infiltración que cuando se aplicó al 6 %, estos resultados coinciden con (BOHN, 1993) mencionando que a mayor aplicación de materia orgánica mayor será la velocidad de infiltración como consecuencia del incremento de la porosidad (Figura 11), disminución de la densidad (Figura 12) y el índice de penetrabilidad (Figura 13 y 14).

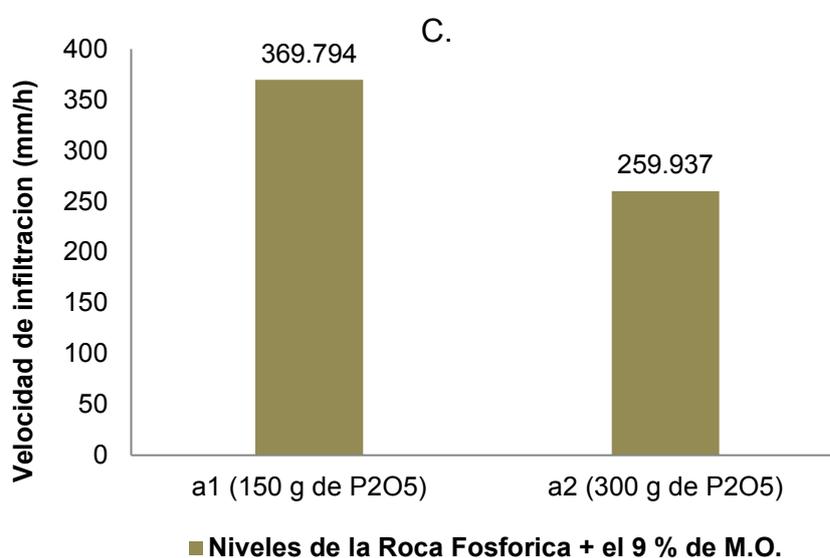


Figura 23. Niveles de la roca fosfórica con el 9 % de materia orgánica en la velocidad de infiltración de la técnica III.

El efecto de la roca fosfórica con el 9 % de materia orgánica (Cuadro 31 y Figura 23), registro que cuando se aplicó 150 gramos de roca fosfórica tuvo mayor efecto en la velocidad de infiltración que cuando se aplicó 300 gramos, debiéndose probablemente a que la roca fosfórica en su composición tiene calcio y que al liberarse estaría segmentándose las partículas del suelo, por lo tanto la densidad aparente aumentaría. Resultados dentro de lo reportado por

(SUQUILLANDA, 2017), en la que aplican roca fosfórica en suelos ácidos con resultados satisfactorios con niveles de 100 y 200 kg de P_2O_5 /ha. Por su alto contenido de calcio en forma de óxido de calcio (CaO) tiene una gran capacidad para neutralizar los suelos ácidos haciendo de esta manera que el fósforo aplicado o el fósforo contenido en el suelo sea asimilable.

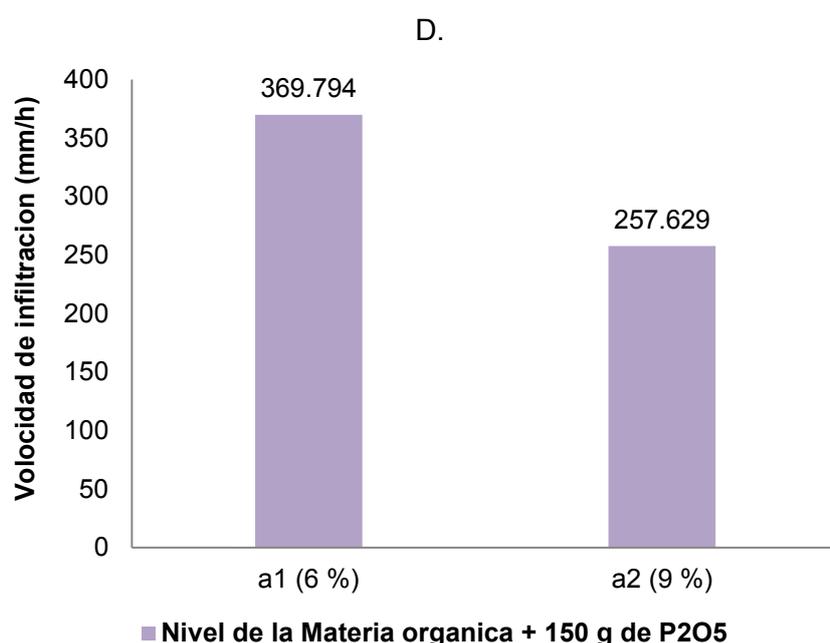


Figura 24. Niveles de la materia orgánica a 150 g de P_2O_5 en la velocidad de infiltración de la técnica III.

El efecto de la materia orgánica con 150 g de P_2O_5 (Cuadro 31 y Figura 24), nos registra que cuando se aplicó 6 % de materia orgánica tuvo mayor efecto en la velocidad de infiltración que cuando se aplicó el 9 % de materia orgánica, debiéndose a la capacidad de retención de la materia orgánica, cuya capacidad de retener agua es cuatro veces su peso (DOMÍNGUEZ, 1990) por lo tanto esta retención estaría impidiéndole la movilidad en la velocidad de infiltración.

C. Factorial vs testigo

La comparación entre el factorial vs el testigo para la velocidad de infiltración se presenta en la Figura 25.

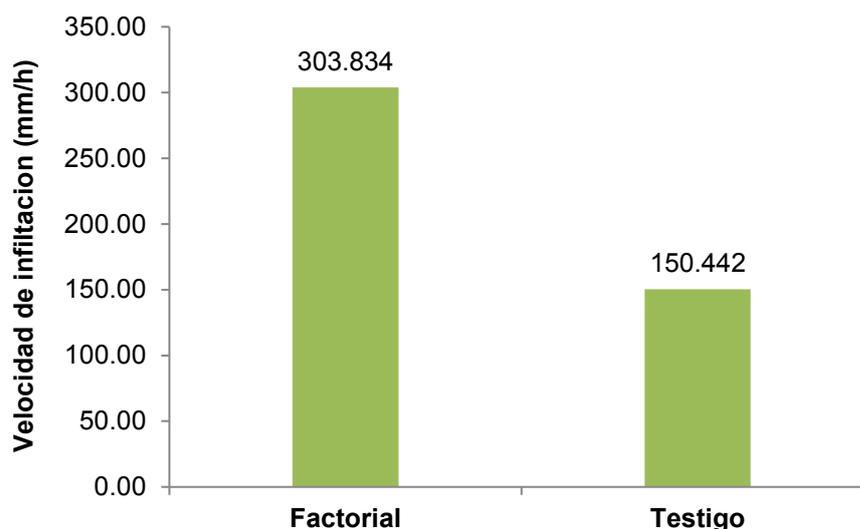


Figura 25. Comparación entre el testigo vs factorial en la velocidad de infiltración de la técnica III.

La velocidad de infiltración entre factorial y el testigo (Figura 25), nos muestra claramente que factorial tuvo mayor efecto con respecto al testigo, debiéndose al efecto de la materia orgánica (Figura 16) es decir que a mayor incorporación de una fuente orgánica existe incremento de materia orgánica en el suelo (CEPEDA, 1999).

4.3.2. Propiedades químicas de la técnica III

En el análisis de variancia de las propiedades químicas (Cuadro 32), se observa que a nivel de bloques no existen diferencias estadísticas en las variables dependientes a excepción del sodio; asimismo a nivel de

tratamientos, no existe significación estadística para el potasio, magnesio y potasio cambiante a excepción del pH y fósforo que tienen alta significación.

Por otro lado para la Capacidad de Intercambio Catiónico, materia orgánica, nitrógeno, calcio y sodio tienen significación estadística a nivel de tratamiento; sin dejar de mencionar que el factorial para el caso de fósforo y sodio registraron alta significación y significación estadística respectivamente.

Factor A, C, AxB, AxC, BxC y AxBxC no existe significación estadística a excepción del sodio del factor A, de la interacción AxC y AxBxC; asimismo para el factor B, no existe significación estadística a excepción de la materia orgánica, fósforo y sodio; sin embargo, para el factorial vs testigo, existe significación estadística para todas las variables dependientes a excepción del potasio; por lo tanto se tiene excelente coeficiente de variabilidad para el pH con 4.95 %, de buen coeficiente de variabilidad para el calcio y magnesio con 15.41 % y 19.90 % respectivamente, de regular coeficiente de variabilidad para Capacidad de Intercambio Catiónico, potasio y sodio con 20.41, 24.09 y 22.95 % y finalmente de variable coeficiente de variabilidad para la materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio cambiante con 28.79 28.78, 26.71 y 28.57 % respectivamente, el efecto principal se presenta en el Cuadro 33.

Cuadro 32. Resumen del análisis de variancia de las propiedades químicas del suelo de la técnica III.

Fuente de variación	G.L.	Ph		CIC		M.O.		Elementos primarios						Saturación de bases							
								N		P		K		Ca		Mg		K		Na	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Bloques	2	0.0902	NS	2.74	NS	0.861	NS	0.0017	NS	25.28	NS	1579.90	NS	0.26	NS	0.085	NS	0.047	NS	0.001	S
Trat.	8	0.4852	AS	8.07	S	1.287	S	0.0026	S	808.24	AS	3039.52	NS	3.59	S	0.070	NS	0.031	NS	0.001	S
Factorial	7	0.1184	NS	0.41	NS	0.547	NS	0.0011	NS	484.59	AS	3423.04	NS	0.27	NS	0.011	NS	0.031	NS	0.001	S
A	1	0.0126	NS	0.35	NS	0.005	NS	0.0000	NS	287.83	NS	1681.90	NS	0.10	NS	0.009	NS	0.041	NS	0.002	S
B	1	0.0570	NS	0.40	NS	2.434	S	0.0049	S	2069.96	AS	2377.96	NS	0.47	NS	0.000	NS	0.000	NS	0.001	S
C	1	0.0100	NS	0.71	NS	0.048	NS	0.0001	NS	121.56	NS	73.44	NS	0.21	NS	0.051	NS	0.021	NS	0.001	NS
AxB	1	0.0001	NS	0.01	NS	0.005	NS	0.0000	NS	199.67	NS	2560.42	NS	0.00	NS	0.004	NS	0.005	NS	0.001	NS
AxC	1	0.0001	NS	0.85	NS	0.005	NS	0.0000	NS	289.36	NS	758.71	NS	0.88	NS	0.009	NS	0.000	NS	0.002	S
BxC	1	0.0009	NS	0.49	NS	0.659	NS	0.0013	NS	71.58	NS	1119.68	NS	0.06	NS	0.004	NS	0.127	S	0.000	NS
AxBxC	1	0.0376	NS	0.04	NS	0.671	NS	0.0014	NS	352.15	NS	15389.17	NS	0.17	NS	0.478	NS	0.019	NS	0.001	S
Fact. vs test.	1	3.7631	AS	61.71	AS	6.468	AS	0.0131	S	3073.84	AS	354.92	NS	26.89	S	0.066	S	0.038	NS	0.002	S
Error exp.	16	0.1122		2.80		0.459		0.0009		111.36		4219.65		1.06		0.045		0.022		0.000	
Total	26																				
CV. (%):		4.95		20.41		28.78		28.78		26.61		24.09		15.41		19.90		28.57		22.95	
S		: Significación estadística al 5 % de probabilidad.																			
NS		: No Significación estadística al 5 % de probabilidad.																			
AS		: Alta Significación estadística al 5 % de probabilidad																			

A. Efecto principal

Cuadro 33. Efecto principal de la aplicación de los niveles de la materia orgánica en el incremento de la materia orgánica, nitrógeno y fosforo en el suelo de la técnica III.

Factor A: (Niveles de la materia orgánica)	Materia orgánica (%)		Nitrógeno (%)		Fósforo (ppm)	
	Promedio	Sig.	Promedio	Sig.	Promedio	Sig.
b ₁ (6 %)	2.207	a	0.093	a	34.14	a
b ₂ (9%)	2.844	b	0.128	b	52.71	b

Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística.

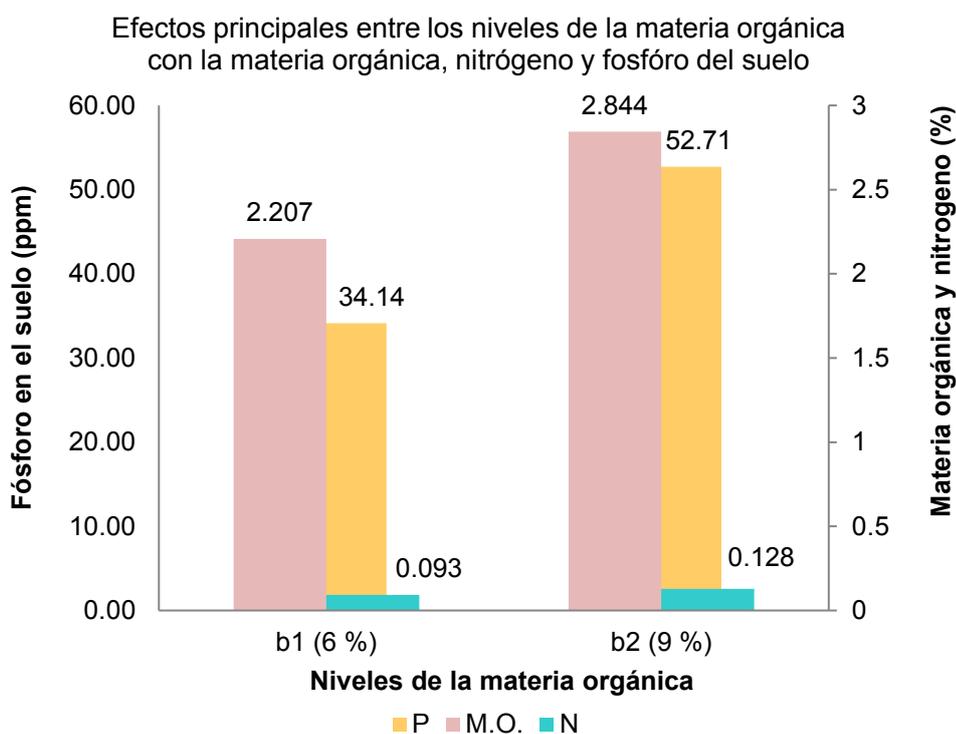


Figura 26. Niveles de la materia orgánica al 6 y 9 % en el incremento de la materia orgánica, nitrógeno y fosforo en el suelo en la técnica III.

El efecto principal de la fuente de materia orgánica (Figura 26), al 9 % tuvo mayor efecto que cuando se aplicó al 6 %, tanto en materia orgánica,

nitrógeno y fósforo en el suelo. Estos resultados son corroborados en la técnica II, es decir a mayor incorporación de fuentes orgánicas, existirá incremento de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en el suelo (CEPEDA, 1999).

B. Factorial vs testigo

La comparación factorial vs el testigo se presenta en el Cuadro 34.

Cuadro 34. Comparación entre factorial y testigo en las propiedades químicas de suelo como el pH, Capacidad de Intercambio Catiónico, materia orgánica, nitrógeno y fósforo.

Comparación	Ph		CIC.		M.O.		Nitrógeno		Fósforo	
	Prom.	Sig.	Prom.	Sig.	Prom.	Sig.	Prom.	Sig.	Prom.	Sig.
Factorial	6.905	a	8.738	a	2.526	a	0.114	a	43.425	a
Testigo	5.717	b	3.927	b	0.968	b	0.044	b	9.474	b

Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística.

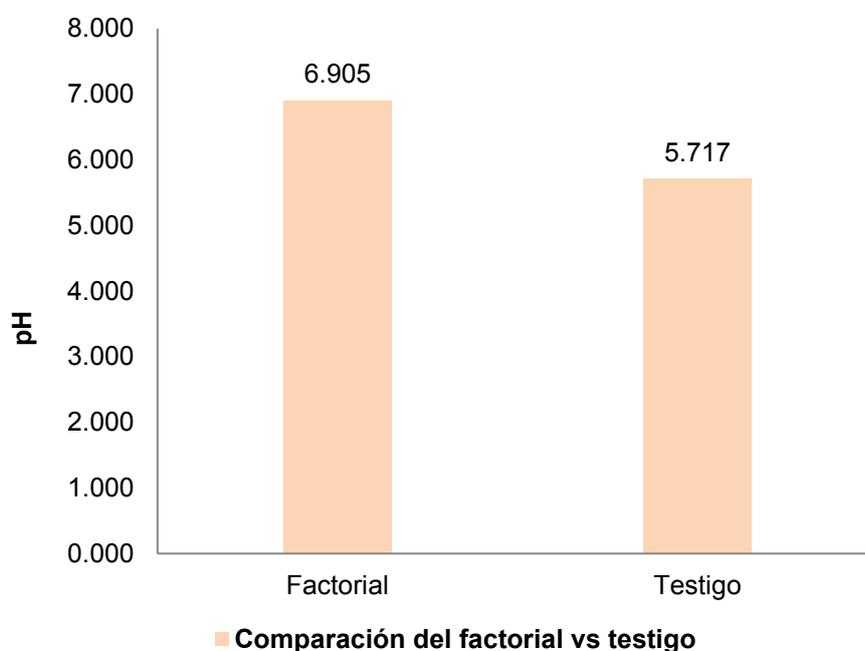


Figura 27. Comparación entre factorial y el testigo en el pH del suelo de la técnica III.

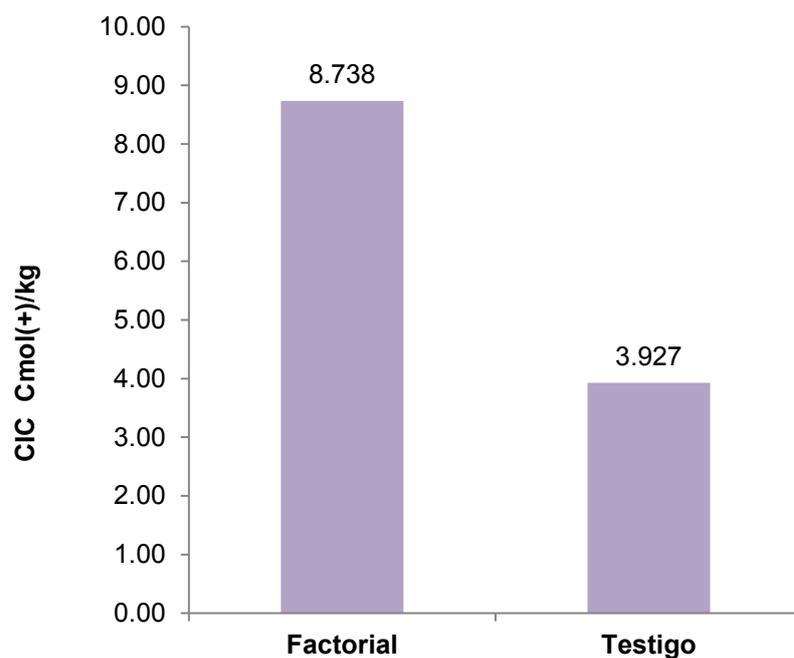


Figura 28. Comparación entre factorial y el testigo en la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo de la técnica III.

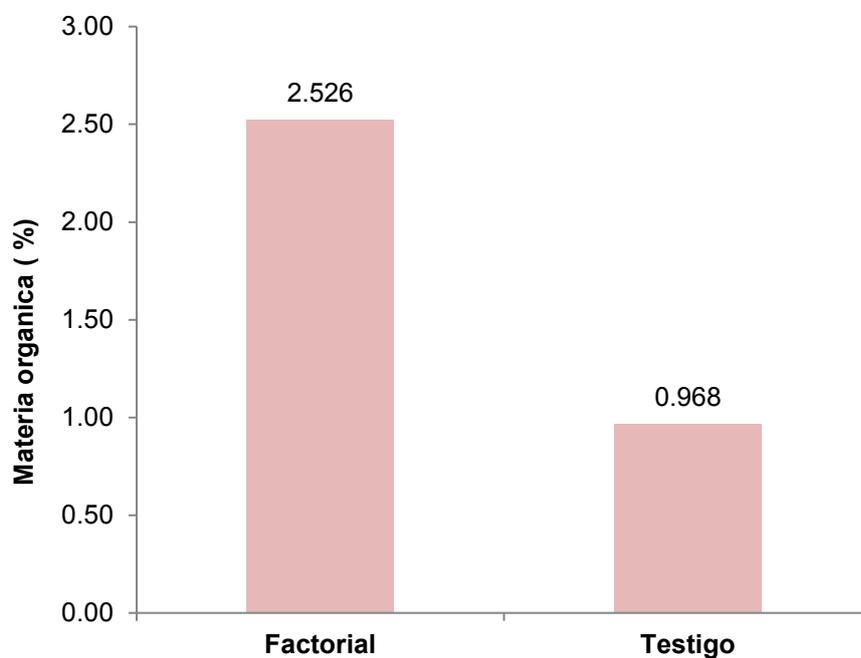


Figura 29. Comparación entre factorial y el testigo en la materia orgánica del suelo de la técnica III.

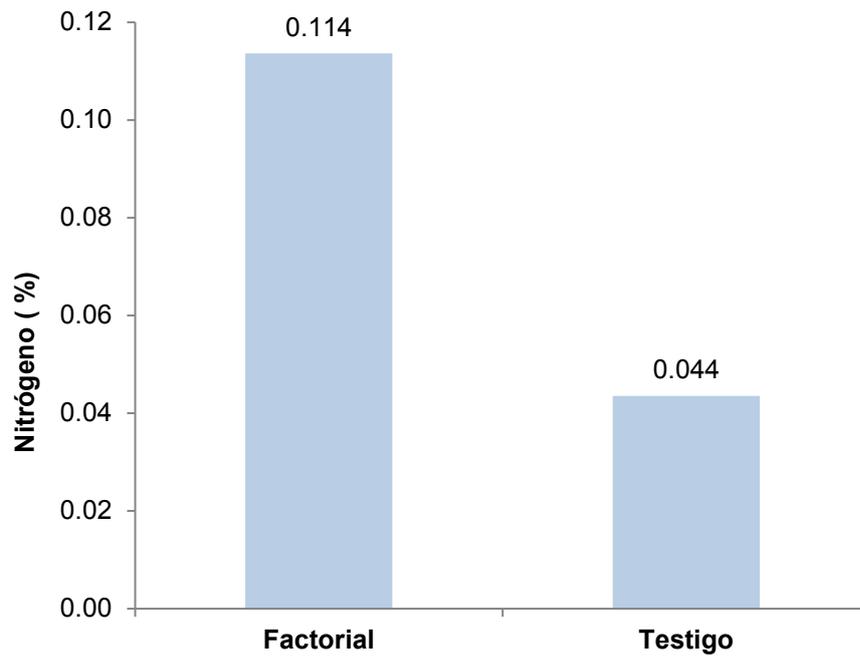


Figura 30. Comparación entre factorial y el testigo en el nitrógeno del suelo de la técnica III.

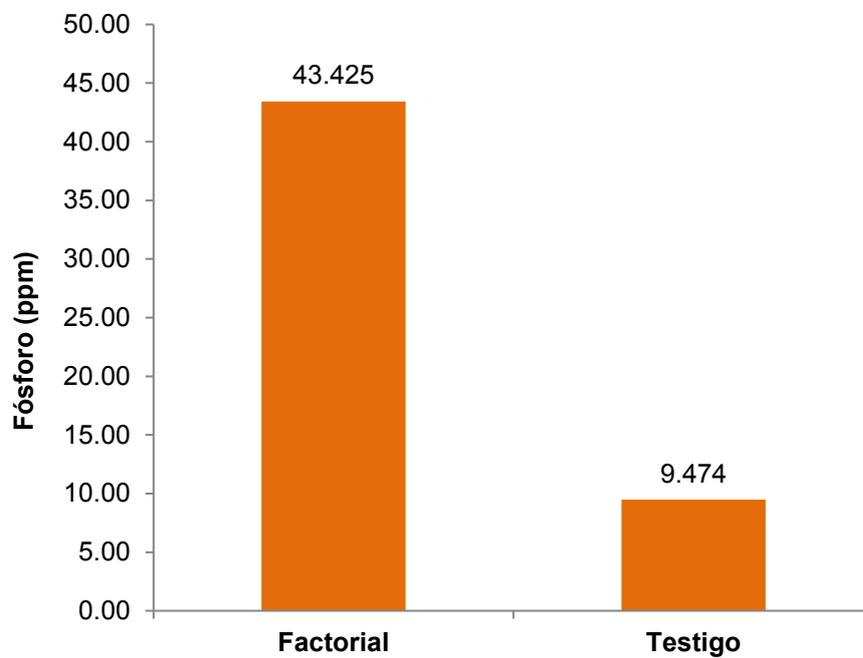


Figura 31. Comparación entre factorial y el testigo en el fósforo del suelo de la técnica III.

De la Figura 27, del pH en la comparación del factorial con el testigo, se debe a la influencia de las enmiendas: Roca fosfórica y dolomita aplicadas al suelo (SUQUILLANDA, 2017); en la Figura 28, de la capacidad de intercambio catiónico, se debe al efecto de la materia orgánica y como consecuencia del incremento del pH, es decir, en estos suelos al aumentar el pH aumenta las cargas negativas de la arcilla tipo 1:1, y los óxidos de hierro, aluminio y manganeso que predominan en este tipo de suelo (BOHN, 1993).

En la Figura 29 la materia orgánica, se debe a que cuando a mayor incorporación de una fuente de materia orgánica mayor incremento de materia orgánica en el suelo (CEPEDA, 1999) corroborado por la técnica anterior (Figura 16); mientras que la figura 30, del nitrógeno, indica que la materia orgánica dentro de su composición tiene proteínas que al mineralizarse contribuye en un incremento de nitrógeno en el suelo, asimismo es corroborado por la técnica II, donde NAVARRO (2003), considera que la fertilización orgánica suele presentar balances positivos (Figura 17), de la Figura 31, el resultado del fósforo indica que pudo haber sido por dos eventos: primero por la mineralización de los compuestos que contienen fósforo y el segundo probablemente a un incremento de la Capacidad de Intercambio Catiónico que inactiva al aluminio a fin que el fósforo se fije corroborado por la técnica II (Figura 18).

4.3.3. Propiedades biológicas de la técnica III

Cuadro 35. Resumen del análisis de variancia de las propiedades biológicas del suelo de la técnica III.

Fuente de variación	G.L.	CO ₂ liberado a los:								
		3 días		7 días		14 días		21 días		
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	
Bloques	2	6.132	S	2.625	NS	0.228	NS	3.533	NS	
Tratamientos	8	2.161	S	1.625	NS	1.039	NS	0.834	NS	
Factorial	7	0.012	NS	0.004	NS	0.005	NS	0.007	NS	
A	1	3.682	NS	2.344	NS	0.107	NS	0.027	NS	
B	1	0.007	NS	0.634	NS	0.002	NS	0.327	NS	
C	1	3.375	S	1.000	NS	2.042	NS	1.042	NS	
AxB	1	1.127	NS	0.920	NS	0.327	NS	0.735	NS	
AxC	1	0.202	NS	0.700	NS	0.007	NS	0.807	NS	
BxC	1	1.127	NS	4.420	S	4.682	S	1.500	NS	
AxBxC	1	5.607	S	1.354	NS	0.107	NS	1.402	NS	
Fact. vs. Test.	1	1.003	NS	0.036	NS	0.045	NS	0.147	NS	
Error exp.	16	1.606		1.343		1.246		1.005		
Total	26									
C.V. (%):		11.94		19.93		23.45		18.94		
S		: Significación estadística al 5 % de probabilidad.								
NS		: No Significación estadística al 5 % de probabilidad.								
AS		: Alta Significación estadística al 1 % de probabilidad								

El análisis de variancia de las propiedades biológicas del suelo (Cuadro 35), a nivel de bloques, tratamientos, factor C y la interacción de AxBxC existe diferencias estadística significativas a los 3 días, sin embargo no existen diferencias estadísticas a los 7, 14 y 21 días para las propiedades biológicas del suelo. Para factorial, factor A, factor B, interacción AxB, interacción AxC y factorial vs testigo no existe significación estadística en las cuatro evaluaciones; por otro lado para la interacción de BxC no existe significación estadística a los 3 y 21 días, pero existe significación a los 7 y 14 días en las propiedades biológicas del suelo para la técnica III. Se tiene muy buen coeficiente de variabilidad a los 3 días con 11.94 %, buen coeficiente de

variabilidad a los 7 y 21 días con 19.93 y 18.94 % respectivamente y de regular coeficiente de variabilidad a los 14 días con 23.45 %.

Cuadro 36. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para las propiedades biológicas del suelo a los 3, 7, 14 y 21 días de la técnica III.

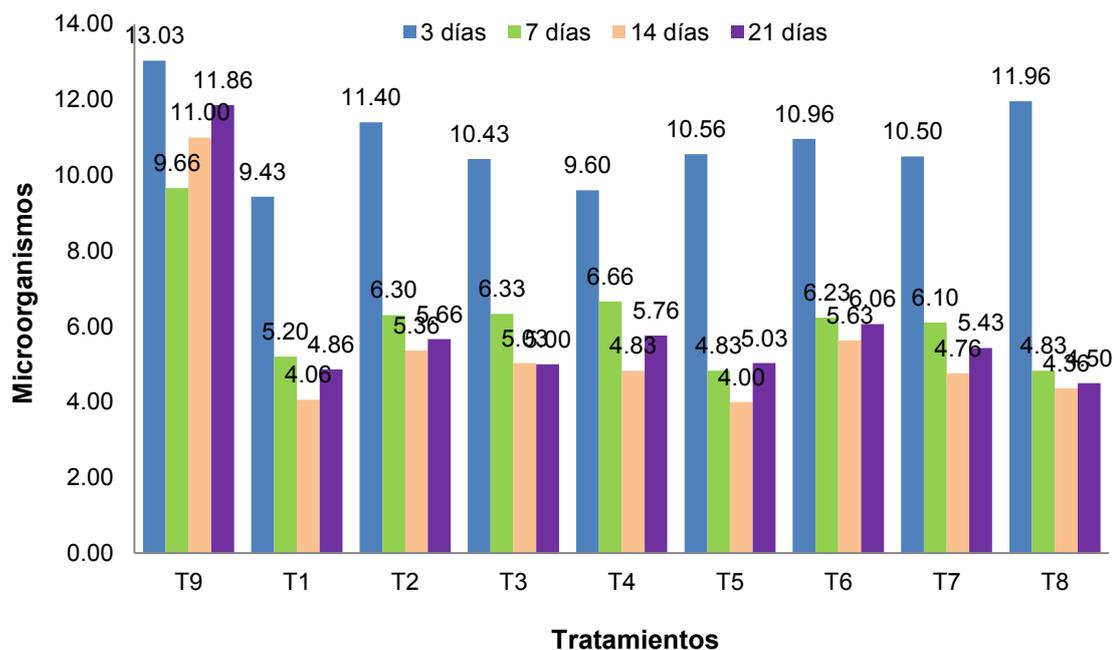
Propiedades biológicas de la técnica III											
3 Días			7 Días			14 Días			21 Días		
Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.
T ₉	13.03	a	T ₉	9.66	a	T ₉	11.00	a	T ₉	11.86	a
T ₈	11.96	a b	T ₄	6.66	B	T ₆	5.63	b	T ₆	6.06	b
T ₂	11.40	a b C	T ₃	6.33	B	T ₂	5.36	b	T ₄	5.76	b
T ₆	10.96	b C	T ₂	6.30	B	T ₃	5.03	b	T ₂	5.66	b
T ₅	10.56	b C	T ₆	6.23	B	T ₄	4.83	b	T ₇	5.43	b
T ₇	10.50	b C	T ₇	6.10	B	T ₇	4.76	b	T ₅	5.03	b
T ₃	10.43	b C	T ₁	5.20	B	T ₈	4.36	b	T ₃	5.00	b
T ₄	9.60	b C	T ₈	4.83	B	T ₁	4.06	b	T ₁	4.86	b
T ₁	9.43	C	T ₅	4.83	B	T ₅	4.00	b	T ₈	4.50	b

Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística

T ₁	0 Tn Dol. + 6 % M.O. + 150 g R.F.	T ₆	2 Tn Dol. + 6 % M.O. + 300 g R.F.
T ₂	0 Tn Dol. + 6 % M.O. + 300 g R.F.	T ₇	2 Tn Dol. + 9 % M.O. + 150 g R.F.
T ₃	0 Tn Dol. + 9 % M.O. + 150 g R.F.	T ₈	2 Tn Dol. + 9 % M.O. + 300 g R.F.
T ₄	0 Tn Dol. + 9 % M.O. + 300 g R.F.	T ₉	Testigo
T ₅	2 Tn Dol. + 6 % M.O. + 150 g R.F.		

El efecto de las fuentes orgánicas sobre los microorganismos del suelo Cuadro 36 y Figura 32, registra que a los 3 días tuvo mayor actividad microbiana el tratamiento T₉ (Testigo), seguido del tratamiento T₈ (2 Tn Dolomita. + 9 % Materia orgánica + 300 kg de Roca fosfórica), por otro lado a los 21 días el T₉ (Testigo) tuvo mayor actividad luego el T₆ (2 Tn Dolomita. + 6 % Materia orgánica + 300 kg de Roca fosfórica).

Estos resultados se deben a que la dolomita no contribuye en el desarrollo y actividad de los microorganismos del suelo, posiblemente las grandes cantidades de materia encalante como la Roca fosfórica contribuye en la actividad biológica.



T1 0 Tn Dol. + 6 % M.O. + 150 kg R.F. T6 2 Tn Dol. + 6 % M.O. + 300 kg R.F.
 T2 0 Tn Dol. + 6 % M.O. + 300 kg R.F. T7 2 Tn Dol. + 9 % M.O. + 150 kg R.F.
 T3 0 Tn Dol. + 9 % M.O. + 150 kg R.F. T8 2 Tn Dol. + 9 % M.O. + 300 kg R.F.
 T4 0 Tn Dol. + 9 % M.O. + 300 kg R.F. T9 Testigo
 T5 2 Tn Dol. + 6 % M.O. + 150 kg R.F.

Figura 32. Propiedades biológicas del suelo a los 3, 7, 14 y 21 días de la técnica III.

4.4. Técnica IV

4.4.1. Propiedades físicas de la técnica IV

El análisis de variancia de las propiedades físicas del suelo (Cuadro 37), a nivel de bloques no existen diferencias estadísticas en todas las variables dependientes a excepción del índice de penetrabilidad (0 cm y 5 cm);

asimismo a nivel de tratamientos la velocidad de infiltración es la única que presenta significación estadística.

Por otro lado, la interacción AxB, BxC y factorial vs testigo no presenta significación estadística en todas las variables dependientes a excepción de la velocidad de infiltración. Para el factorial, factor A, B, C, AxC y AxBxC, no existe significación estadística; sin embargo, se tiene excelente coeficiente de variabilidad solo para la porosidad (dentro y fuera) con 6.83, 8.70, % respectivamente, de muy buen coeficiente de variabilidad para la densidad con 10.07 %, de buen coeficiente de variabilidad para el índice de penetrabilidad por dentro a 5 cm con 17.05 %, de regular coeficiente de variabilidad para el índice de penetrabilidad por dentro a 0 cm y humedad con 22.46 y 24.08 % respectivamente y de variable coeficiente de variabilidad para la velocidad de infiltración con 29.73 %, el análisis de variancia de los efectos simples se presente en el Cuadro 38.

Cuadro 37. Resumen del análisis de variancia de las propiedades físicas del suelo de la técnica IV.

Fuente de variación	G.L.	Densidad (D)		Porosidad				I. Penetrabilidad (D)				Velocidad de infiltración		Humedad (D)	
				Dentro		Fuera		0 cm		5 cm					
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Bloques	2	0.023	NS	32.807	NS	89.783	NS	0.553	S	1.236	S	3154,77	NS	15.907	NS
Tratamientos	8	0.009	NS	12.599	NS	6.158	NS	0.037	NS	0.030	NS	36198,33	S	29.039	NS
Factorial	7	0.007	NS	10.663	NS	5.283	NS	0.035	NS	0.026	NS	22312,52	NS	7.802	NS
A	1	0.014	NS	20.555	NS	0.093	NS	0.029	NS	0.015	NS	10154,74	NS	27.713	NS
B	1	0.001	NS	0.892	NS	10.712	NS	0.000	NS	0.047	NS	4234,27	NS	1.220	NS
C	1	0.022	NS	31.996	NS	0.645	NS	0.029	NS	0.009	NS	2202,32	NS	0.442	NS
AxB	1	0.012	NS	17.141	NS	3.865	NS	0.094	NS	0.067	NS	77705,17	S	0.883	NS
AxC	1	0.000	NS	0.558	NS	0.551	NS	0.057	NS	0.027	NS	3780,81	NS	4.474	NS
BxC	1	0.000	NS	0.000	NS	13.815	NS	0.006	NS	0.000	NS	57970,28	S	15.402	NS
AxBxC	1	0.002	NS	3.496	NS	7.298	NS	0.034	NS	0.019	NS	140,08	NS	4.478	NS
Fact. vs test.	1	0.018	NS	26.153	NS	12.288	NS	0.048	NS	0.056	NS	133398,96	S	177.698	NS
Error exp.	16	0.012		16.560		40.554		0.078		0.049		10811,20		49.941	
Total	26														
CV. (%):		10.07		6.83		8.70		22.46		17.05		29.73		24.08	

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.
NS : No Significación estadística al 5 % de probabilidad.

Cuadro 38. Análisis de variancia de los efectos simples del factor A (niveles de la dolomita) con el factor B (niveles de la materia orgánica) y el factor B (niveles de la materia orgánica) con el factor C (niveles de la roca fosfórica) en la velocidad de infiltración de la técnica IV.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F. cal	Sig.
Efecto simple del factor A: (Niveles de dolomita) con la materia orgánica					
A en b ₁ (6 % M.O.)	1	72020,44	72020,44	6,66	S
A en b ₂ (9 % M.O.)	1	15839,46	15839,46	1,47	NS
Efecto simple del factor B: (Niveles de la materia orgánica) con roca fosfórica					
C en a ₁ (0 Tn Do)	1	59108,77	59108,77	5,47	S
C en a ₂ (2 Tn Do)	1	22830,68	22830,68	2,11	NS

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.

NS : No Significación estadística al 5 % de probabilidad.

Cuadro 39. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor A (niveles de la dolomita) con el nivel b₁ (6 % materia orgánica) y factor B (niveles de la materia orgánica) con el nivel c₁ (150 g P₂O₅) en la velocidad de infiltración de la técnica IV.

Factores	Velocidad de infiltración (mm/h)	
	Promedio	Sig.
De A (Niveles de la dolomita) en: b₁ (6% M.O)		
a ₂ (2 Tn Do) con 6 % MO.	438,82	a
a ₁ (0 Tn Do) con 6 % MO.	283,88	b
De B (Niveles de la materia orgánica) en: c₁ (150 g RF.)		
b ₂ (9 % M.O) con 150 g RF.	424,25	a
b ₁ (6 % M.O) con 150 g RF.	283,88	b

Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística.

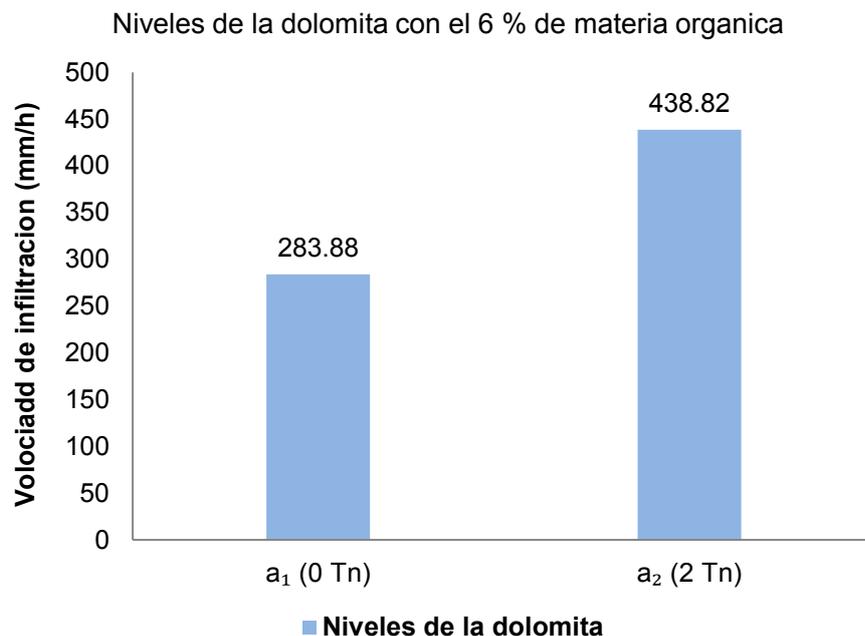


Figura 33. Niveles de la dolomita con el 6 % de materia orgánica en la velocidad de infiltración de la técnica IV.

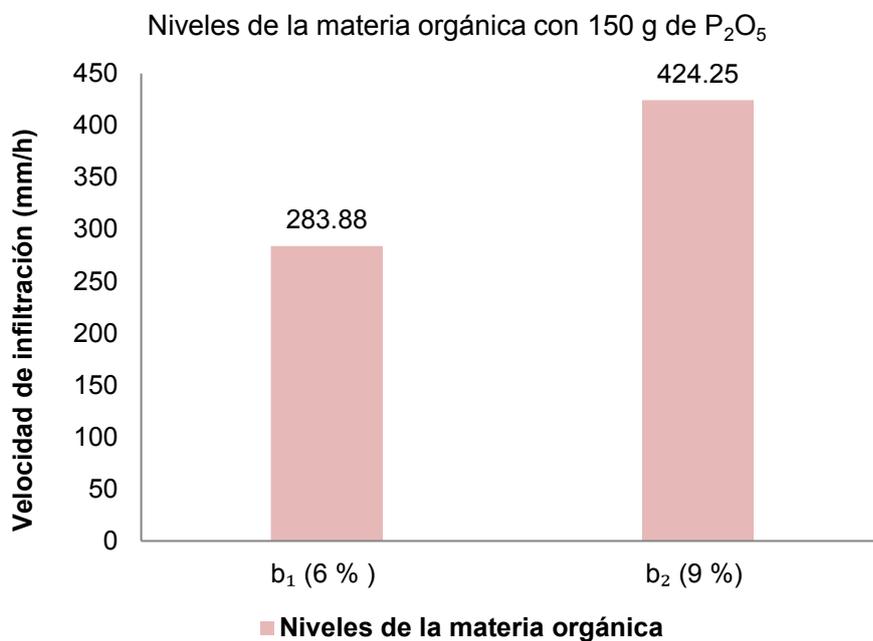


Figura 34. Niveles de la materia orgánica con 150 g P₂O₅ en la velocidad de infiltración de la técnica IV.

A. Factorial

La comparación entre el factorial vs el testigo para la velocidad de infiltración se presenta en la Figura 35.

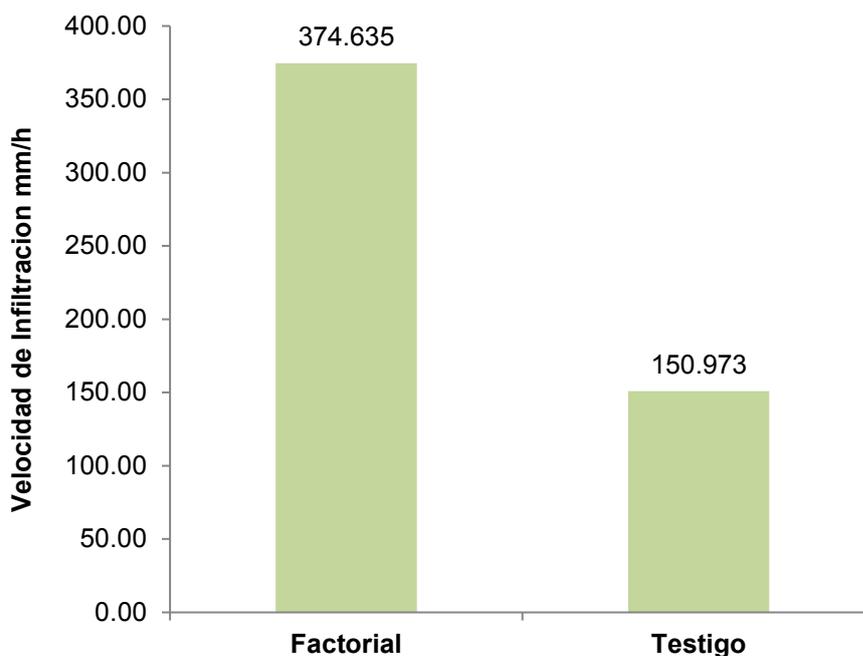


Figura 35. Comparación entre el factorial vs el testigo en la capacidad de infiltración de la técnica IV.

Los niveles de dolomita con el 6 % de materia orgánica (Figura 33), al aplicar biofertilizante tiene el efecto de consumir la materia orgánica, más no produce humus; por lo tanto la velocidad de infiltración tiende a bajar; por otro lado el efecto de la dolomita con el biofertilizante incrementan la velocidad de infiltración. Sin embargo al no aplicar biofertilizante la materia orgánica se transforma en humus, incrementando la velocidad de infiltración (cuadro 31), mientras que la dolomita actúa como cementante.

Los niveles de materia orgánica con 150 g P₂O₅ (Figura 34), al aplicar biofertilizante estaría incrementando la actividad de los microorganismos en el

suelo, es decir a medida que se aumenta la aplicación de la materia orgánica, casi duplica el incremento del proceso de transformación coincidiendo con lo mencionado por CEPEDA (1999); sucediendo lo contrario al no aplicar biofertilizante como se aprecia en la técnica III (Figura 24) no disminuye el proceso de transformación por parte de los microorganismos al 6% de materia orgánica; esto quiere decir que el incremento de la materia orgánica al suelo disminuye la producción de humus, por lo tanto baja la velocidad de infiltración.

La comparación entre el factorial con el testigo (Figura, 35) se debe a la actividad de los microorganismos del biofertilizante (SUQUILLANDA, 2017), además la aplicación de las enmiendas más biofertilizante modificaron las propiedades físicas, por lo tanto aumenta la velocidad de infiltración.

4.4.2. Propiedades químicas de la técnica IV

El análisis de variancia de las propiedades químicas del suelo (Cuadro 40), a nivel de bloques no existen diferencias estadísticas para el pH, materia orgánica, nitrógeno, potasio magnesio y potasio cambiante a excepción de la CIC, fósforo, calcio y sodio; asimismo a nivel de tratamientos, no existe significación estadística para el potasio, y potasio cambiante a excepción del pH, CIC, materia orgánica, nitrógenos, fósforo, calcio magnesio y sodio.

El factor A, no presenta significación estadística para pH, fósforo, potasio, potasio cambiante y sodio a excepción de la CIC, materia orgánica, nitrógeno, calcio y magnesio; además para el factor B, C, interacción de (AxB), (AxC) y (AxBxC) no existe significación estadística en ninguna de las propiedades físicas del suelo.

El factorial vs testigo, presento significación estadística en todas las variables a excepción del potasio; sin embargo se tiene excelente coeficiente de variabilidad para el pH, nitrógeno con 6.77 y 0.04 % respectivamente, muy buen coeficiente de variabilidad CIC y calcio con 10.5 y 11.47 % respectivamente, buen coeficiente de variabilidad para magnesio, regular coeficiente de variabilidad para materia orgánica, fósforo y potasio con 21.08, 22.27 y 23.55 % respectivamente. Finalmente el coeficiente muy variable para potasio y sodio cambiante con 47.5 y 30.16 % respectivamente, la prueba de Duncan se presenta en el Cuadro 41, para los efectos simples.

Cuadro 40. Resumen del análisis de variancia de las propiedades químicas del suelo de la técnica IV.

Fuente de variación	G.L.	Ph		CIC		M.O.		Elementos primarios						Saturación de bases							
								N		P		K		Ca		Mg		K		Na	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Bloques	2	0.065	NS	8.841	S	1.687	NS	0.0034	NS	1336.90	S	2061.12	NS	5.774	S	0.058	NS	0.013	NS	0.00130	S
Trat.	8	1.100	S	7.340	S	1.271	S	0.0026	S	671.12	S	3856.23	NS	8.453	S	0.254	S	0.083	NS	0.00150	S
Factorial	7	0.106	NS	1.429	NS	0.664	NS	0.0013	NS	191.70	NS	4242.58	NS	0.857	NS	0.053	NS	0.019	NS	0.00050	NS
A (Dol.)	1	0.207	NS	7.607	S	2.923	S	0.0059	S	145.34	NS	458.97	NS	4.21	S	0.252	S	0.061	NS	0.00030	NS
B (M.O.)	1	0.063	NS	0.323	NS	0.274	NS	0.0006	NS	6.10	NS	3452.97	NS	0.493	NS	0.004	NS	0.001	NS	0.00020	NS
C (R.F.)	1	0.001	NS	0.708	NS	0.052	NS	0.0001	NS	42.23	NS	6043.07	NS	0.27	NS	0.064	NS	0.001	NS	0.00060	NS
AxB	1	0.069	NS	0.090	NS	1.247	NS	0.0025	NS	238.90	NS	5335.49	NS	0.111	NS	0.012	NS	0.016	NS	0.00010	NS
AxC	1	0.009	NS	0.004	NS	0.052	NS	0.0001	NS	462.61	S	9313.87	NS	0.016	NS	0.001	NS	0.015	NS	0.00090	NS
BxC	1	0.093	NS	0.523	NS	0.052	NS	0.0001	NS	111.89	NS	936.68	NS	0.157	NS	0.036	NS	0.037	NS	0.00006	NS
AxBxC	1	0.302	NS	0.750	NS	0.052	NS	0.0001	NS	334.79	NS	4157.02	NS	0.744	NS	0.002	NS	0.005	NS	0.00130	NS
Fact. vs test.	1	8.054	S	48.714	S	5.516	S	0.0112	S	4027.10	S	1151.77	NS	61.62	S	1.664	S	0.529	S	0.00880	S
Error exp.	16	0.192		0.873		0.472		0.0010		76.27		3090.80		0.677		0.045		0.035		0.00020	
Total	26																				
CV. (%):		6.77		10.5		21.08		0.04		22.27		23.55		11.47		19.9		47.5		30.16	

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.

NS : No Significación estadística al 5 % de probabilidad.

A. Efectos principales

Cuadro 41. Prueba de Duncan ($\alpha = 0,05$) para el efecto principal del factor A (dolomita) en el porcentaje de materia orgánica, nitrógeno, Capacidad de Intercambio Catiónico, calcio y magnesio en el suelo de la técnica IV.

Factor A: (Niveles de Dolomita)	Porcentaje				(Cmol(+)/kg)					
	MO.		Nitrógeno		CIC		Ca		Mg	
	Prom.	Sig.	Prom.	Sig.	Prom.	Sig.	Prom.	Sig.	Prom.	Sig.
a ₂ (2 Tn Dol.)	2.94	a	0.13	a	9.94	a	8.12	a	1.26	a
a ₁ (0 Tn Dol.)	2.30	b	0.10	b	8.81	b	7.28	b	1.05	b

Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística.

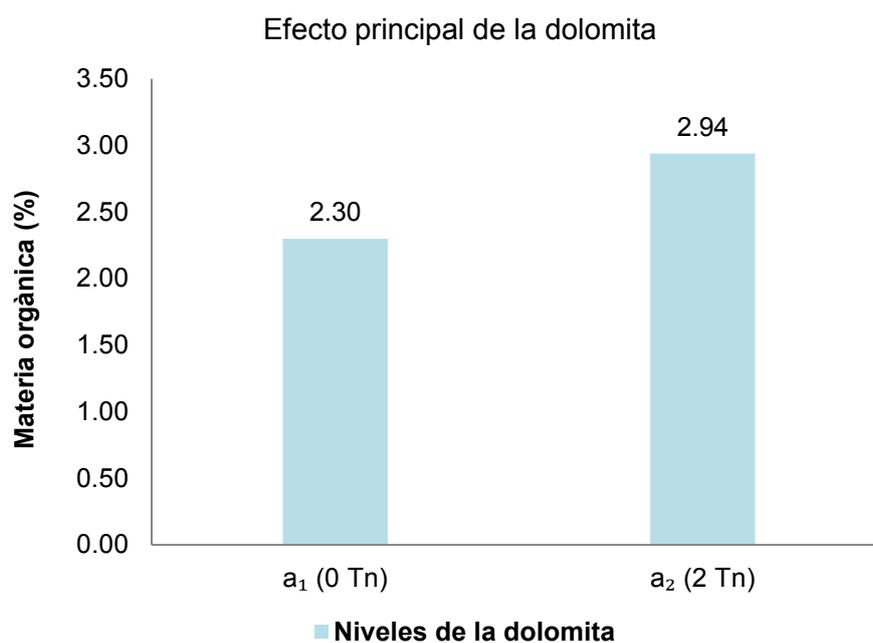


Figura 36. Niveles de la dolomita en el incremento de la materia orgánica del suelo de la técnica IV.

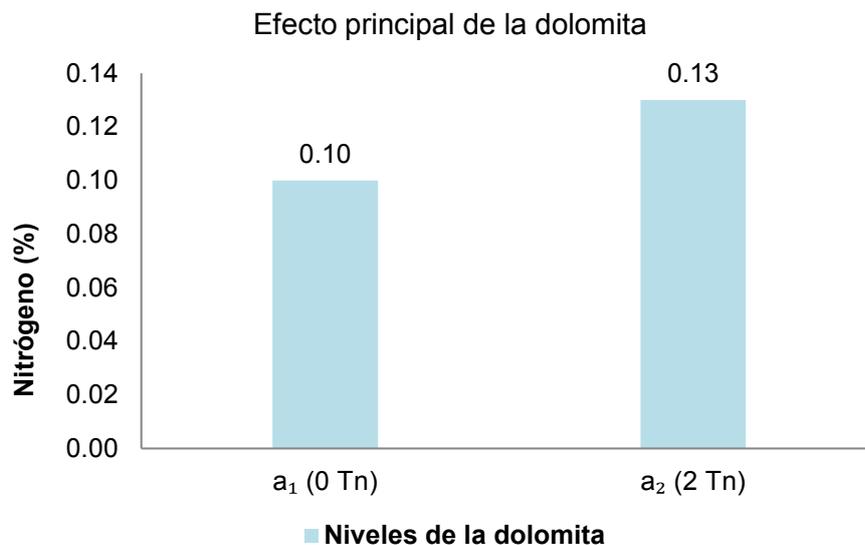


Figura 37. Niveles de la dolomita en el incremento del nitrógeno en el suelo de la técnica IV.

El efecto de la dolomita más el biofertilizante en el incremento de la materia orgánica y nitrógeno del suelo (Figura 36 y 37), es porque en sus composición presentan calcio y magnesio como nutriente, además tienen como efecto incrementar el pH, por lo tanto acrecienta la actividad microbiana (PLASTER, 2000). En ese mismo sentido SUQUILLANDA (2017) menciona que el pH del suelo no solo determina si una especie microbiana puede o no desarrollarse sino también modifica la velocidad a la cual estas se replican.

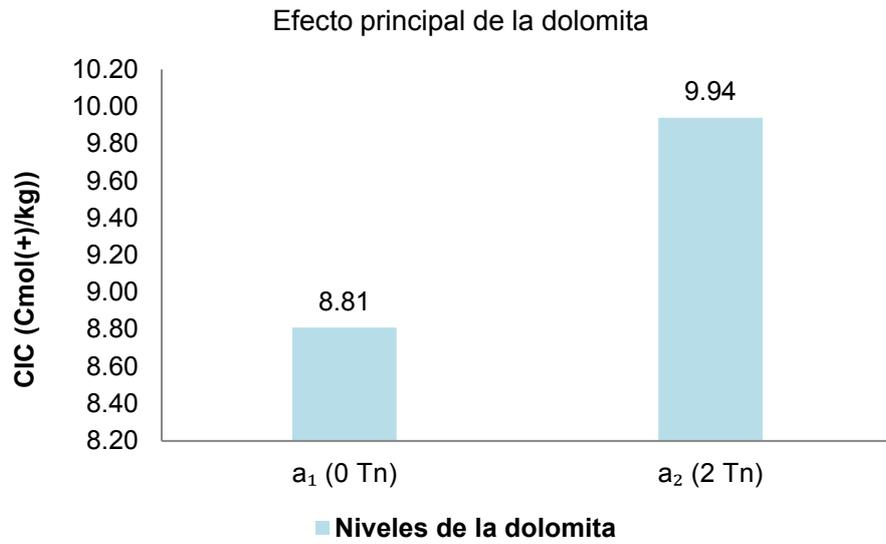


Figura 38. Efecto de la dolomita en el incremento de la Capacidad de Intercambio Catiónico en el suelo de la técnica IV.

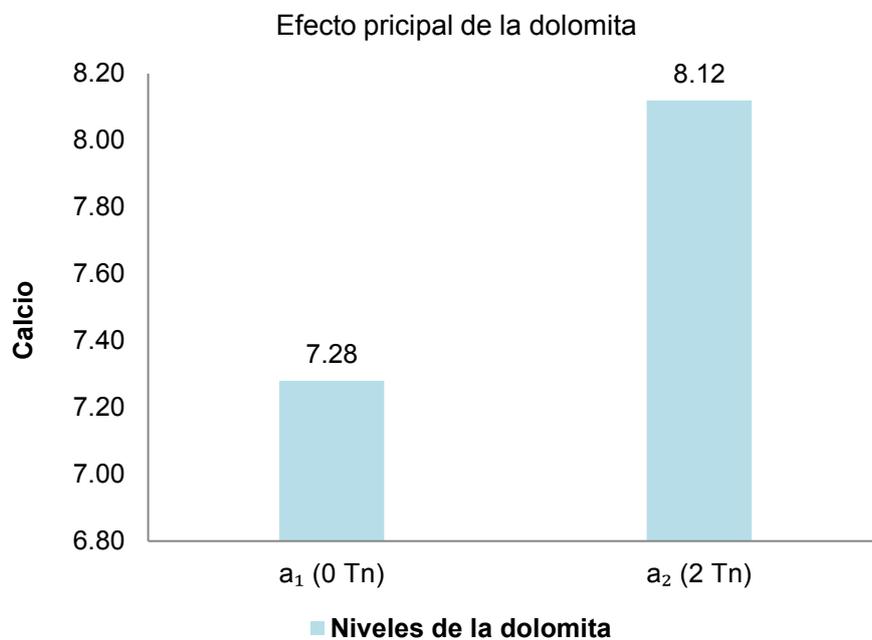


Figura 39. Efecto de la dolomita en el incremento del calcio en el suelo de la técnica IV.

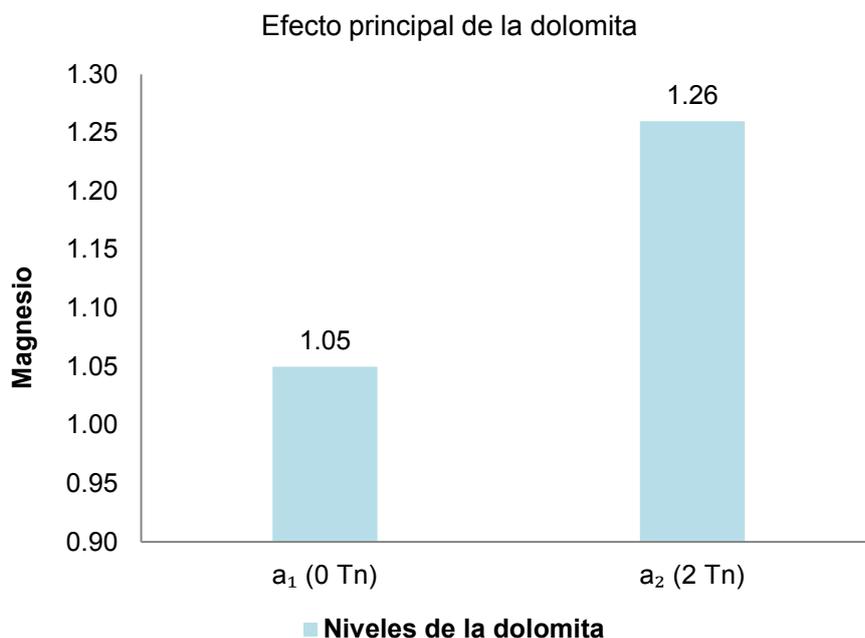


Figura 40. Efecto de la dolomita en el incremento del magnesio en el suelo de la técnica IV.

El efecto de la dolomita más la aplicación de biofertilizante en el incremento de la Capacidad de Intercambio Catiónico, calcio y magnesio (Figuras 38, 39 y 40), es precisamente por la particularidad que a mayor aplicación de dolomita se incrementa el pH del suelo (PLASTER, 2000); es decir las cargas positivas se transforman en cargas negativas; por lo tanto la actividad microbiana que aporte el biofertilizante aumenta.

Adicional a ello SUQUILLANDA (2017) menciona que el biofertilizante en su composición contiene alto porcentaje de micronutrientes (calcio y magnesio).

Cuadro 42. Análisis de variancia de los efectos simples entre el factor A (niveles de dolomita) con el factor C (niveles de roca fosfórica) en el fosforo del suelo de la técnica IV.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F-cal.	Sig.
Efecto simple del factor A: (Niveles de la dolomita) con la roca fosfórica					
A en c ₁ (150 g P ₂ O ₅)	1	96,70	96,70	1,12	NS
A en c ₂ (300 g P ₂ O ₅)	1	548,50	548,50	6,33	S

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.
 NS : No Significación estadística al 5 % de probabilidad.

Cuadro 43. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del factor A (niveles de la dolomita) con el nivel c₂ (300 g P₂O₅) del fosforo de suelo de la técnica IV.

Factores	Fosforo (ppm)	
De A (Niveles de dolomita) en c₂ (300 kg P₂O₅)	Promedio	Sig.
a ₂ (2 Tn Dol.) con 300 g P ₂ O ₅	52,91	A
a ₁ (0 Tn Dol.) con 300 g P ₂ O ₅	39,38	B

Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística.

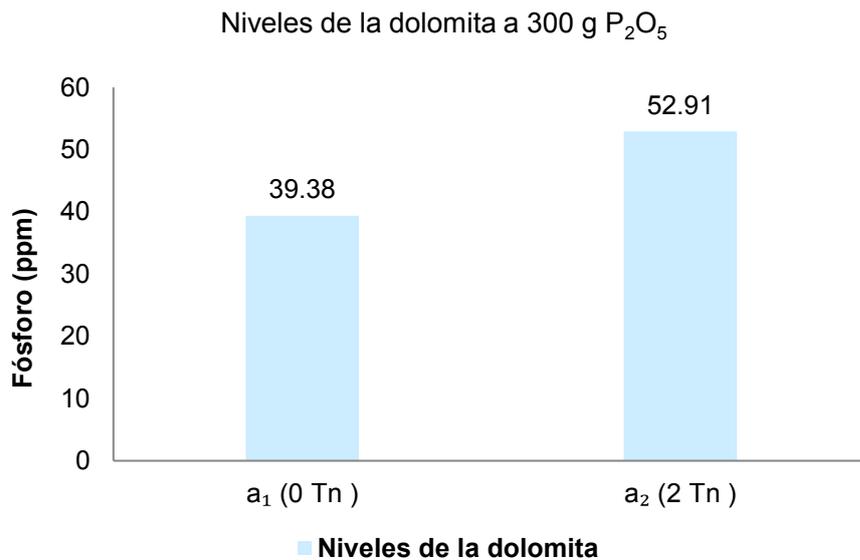


Figura 41. Efecto de los niveles de la dolomita con 300 g de P₂O₅ en el fosforo del suelo de la técnica IV.

El efecto de la dolomita en el incremento del fósforo en el suelo (Figura 41), se observa que a mayor aplicación de dolomita más biofertilizante incrementa el fósforo en el suelo, por ende aumenta el pH.

B. Factorial

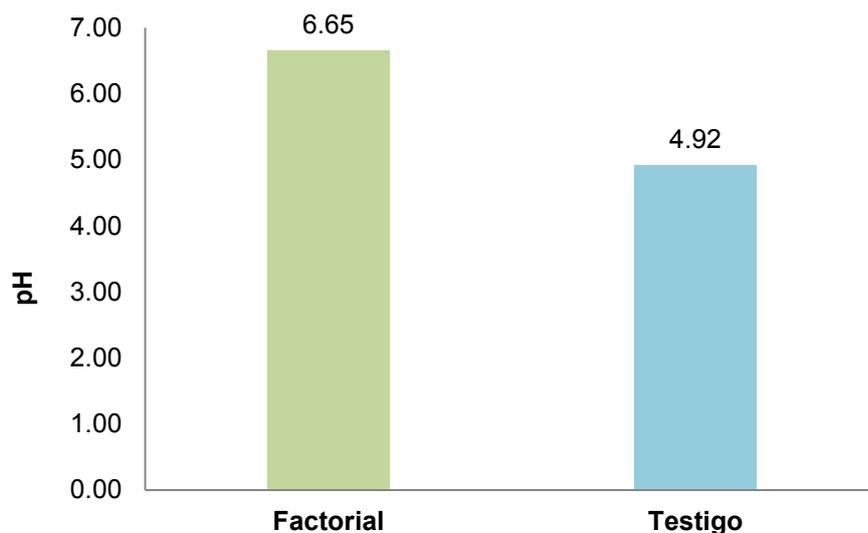


Figura 42. Comparación entre el factorial vs el testigo del pH del suelo de la técnica IV.

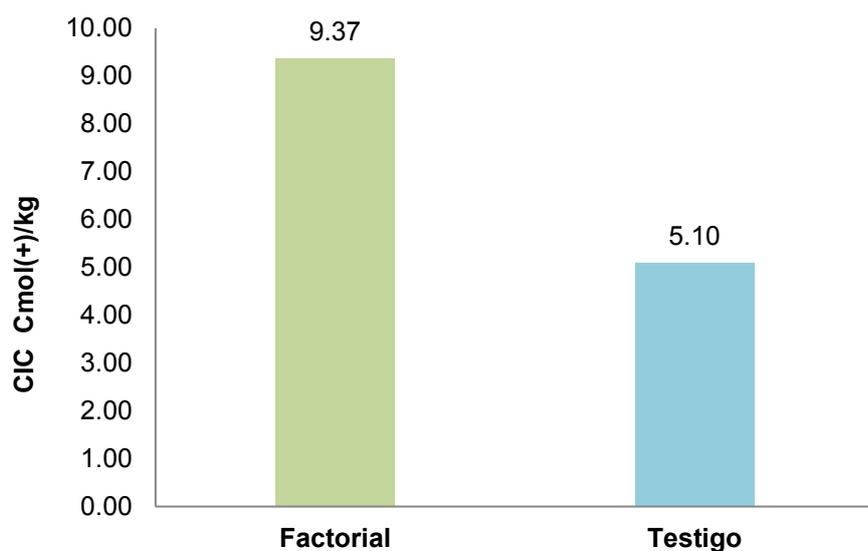


Figura 43. Comparación entre el factorial vs el testigo en la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo de la técnica IV.

En las (Figuras 42 y 43), se observa que al agregar estas fuentes orgánicas al suelo usadas en la técnica IV, tienden a incrementar el pH y la Capacidad de Intercambio Catiónico, es decir las cargas positivas se transforman en cargas negativas; por lo tanto la actividad microbiana aumenta (PLASTER, 2000).

4.4.3. Propiedades biológicas de la técnica IV

El análisis de variancia de las propiedades biológicas del suelo (Cuadro 44), a nivel de bloques no presenta diferencias estadísticas a los 3 y 21, mientras que a los 7 y 14 días registro significación estadística; asimismo a nivel de tratamientos, no existe significación estadística a los 7, 14 y 21 días a excepción de los 3 días.

Por otro lado, no existe significación estadística para factorial A, B, C a excepción de la factorial C a los 14 días. La interacción de AxB presenta significación estadística a los 14 y 21 días respectivamente; mientras que factorial AxC no registra significación, por otro lado, factorial BxC presenta significación a los 3 y 14 días.

Para la interacción AxBxC no se registró significación estadística a los 14 y 21 días a excepción de los 3 y 7 días respectivamente. Para el factorial no existe significación estadística versus el testigo en ninguno de los días evaluados; sin embargo se tiene muy buen coeficiente de variabilidad a los 3 y 7 días con 2.72 y 3.42 %, buen coeficiente de variabilidad a los 14 y 21 días con 17.08 y 16.04 % respectivamente.

Cuadro 44. Resumen del análisis de variancia de las propiedades biológicas del suelo de la técnica IV.

Fuente de variación	G.L.	CO ₂ liberado a los:							
		3 días		7 días		14 días		21 días	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Bloques	2	1.135	NS	9.543	S	3.234	S	0.47	NS
Tratamientos	8	2.500	S	0.928	NS	1.188	NS	1.279	NS
Factorial	7	2.190	NS	5.253	S	6.262	S	7.058	NS
A	1	0.770	NS	0.327	NS	0.060	NS	1.654	NS
B	1	1.354	NS	0.540	NS	0.735	NS	0.15	NS
C	1	0.004	NS	0.015	NS	2.407	S	0.57	NS
AxB	1	0.150	NS	0.202	NS	2.940	S	3.6	S
AxC	1	0.920	NS	1.707	NS	0.015	NS	0.77	NS
BxC	1	6.934	S	0.027	NS	2.160	S	0.22	NS
AxBxC	1	7.370	S	3.382	S	0.002	NS	1.984	NS
Fact. vs. Test.	1	2.150	NS	1.245	NS	2.062	NS	1.058	NS
Error exp.	16	0.781		0.520		0.509		0.546	
Total	26								
C.V. (%):		2.72		3.42		17.08		16.04	

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.
 NS : No Significación estadística al 5 % de probabilidad.
 AS : Alta Significación estadística al 1 % de probabilidad

Cuadro 45. Prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$) para las propiedades biológicas del suelo a los 3, 7, 14 y 21 días de la técnica IV.

Propiedades biológicas de la técnica IV											
3 Días			7 Días			14 Días			21 Días		
Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.
T ₉	11.96	a	T ₉	8.40	a	T ₉	10.50	a	T ₉	9.37	a
T ₈	11.47	a b	T ₈	5.47	b	T ₇	5.33	b	T ₇	6.67	b
T ₅	11.37	a b	T ₃	5.07	b	T ₃	4.60	b c	T ₁	4.83	b C
T ₁	11.17	a b	T ₂	4.47	b	T ₁	4.33	b c	T ₈	4.63	b C
T ₂	10.83	a b	T ₅	4.40	b	T ₂	4.27	b c	T ₂	4.50	b C
T ₃	10.57	a b	T ₆	4.27	b	T ₈	4.17	b c	T ₆	4.47	b C
T ₄	10.17	a b	T ₇	4.17	b	T ₆	3.70	b c	T ₅	4.37	b C
T ₆	9.60	a b	T ₁	4.10	b	T ₅	3.70	b c	T ₄	4.27	C
T ₇	8.87	b	T ₄	3.73	b	T ₄	3.30	c	T ₃	3.83	C

Tratamientos unidos por la misma letra en la columna no existe significancia estadística

- | | |
|--|---|
| T ₁ 0Tn Dol + 6% M.O + 150g R.F + 0.05L Bio | T ₆ 2Tn Dol + 6% M.O + 300g R.F + 0.05L Bio |
| T ₂ 0Tn Dol + 6% M.O + 300g R.F + 0.05L Bio | T ₇ 2Tn Dol + 9% M.O + 150g R.F + 0.05L Bio |
| T ₃ 0Tn Dol + 9% M.O + 150g R.F + 0.05L Bio | T ₈ 2Tn Dol + 9% M.O + 300g R.F + 0.05L Bio. |
| T ₄ 0Tn Dol + 9% M.O + 300g R.F + 0.05L Bio | T ₉ Testigo |
| T ₅ 2Tn Dol + 6% M.O + 150g R.F + 0.05L Bio | |

El efecto de las fuentes orgánicas sobre los microorganismos del suelo Cuadro 45 y Figuras 44 y 45, se observa que tuvo mayor actividad microbiana el tratamiento T₉ (Testigo), seguido del tratamiento T₇ (2 Toneladas de Dolomita. + 9 % Materia orgánica + 150 g de Roca fosfórica), debido a que la dolomita no contribuye en el desarrollo y actividad de los microorganismos del suelo, posiblemente las grandes cantidades de materia encalante como la Roca fosfórica contribuye en la actividad biológica.

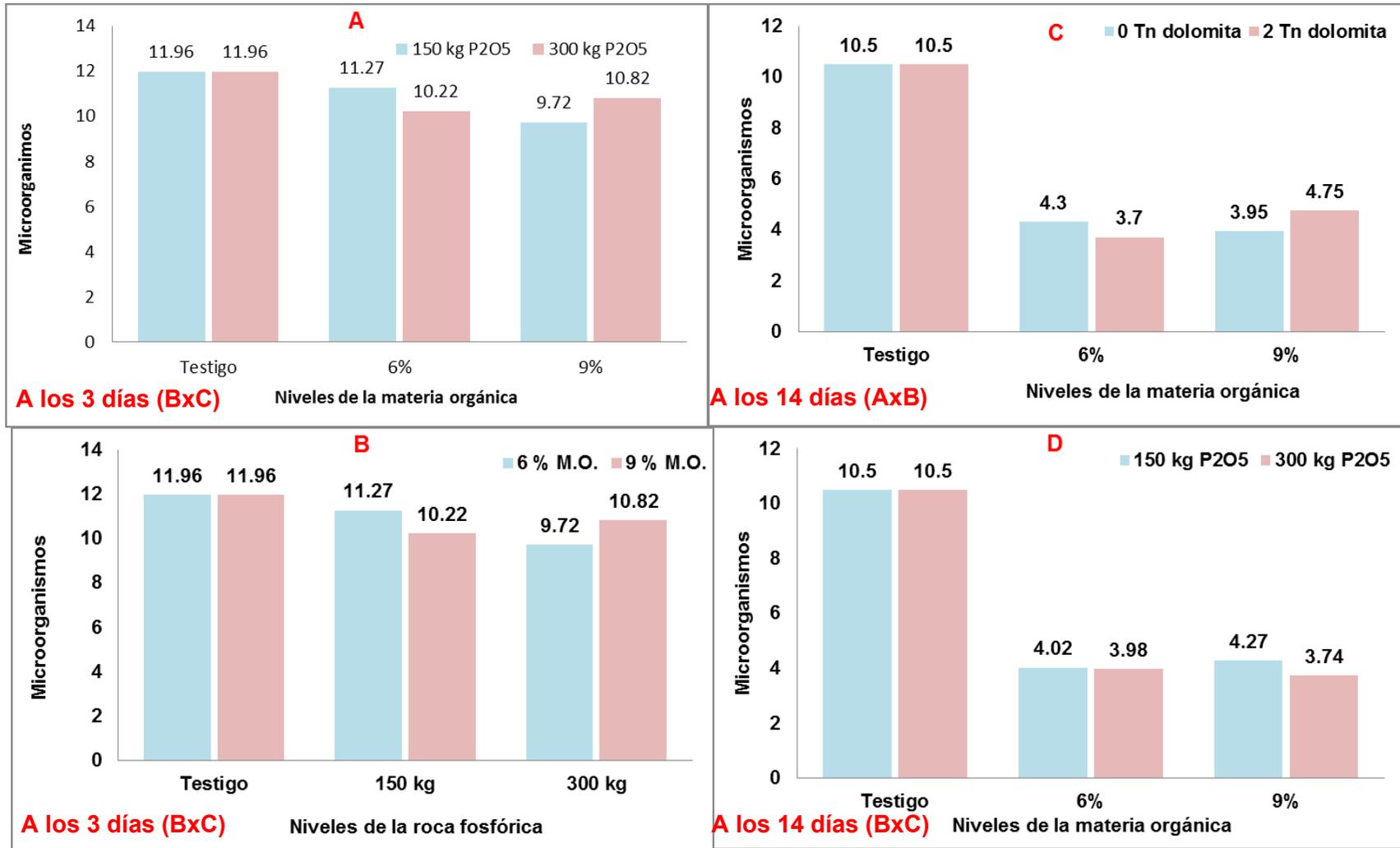


Figura 44. Propiedades biológicas del suelo a los 3 del factor BxC y a los 14 días de los factores AxB y BxC de la técnica IV.

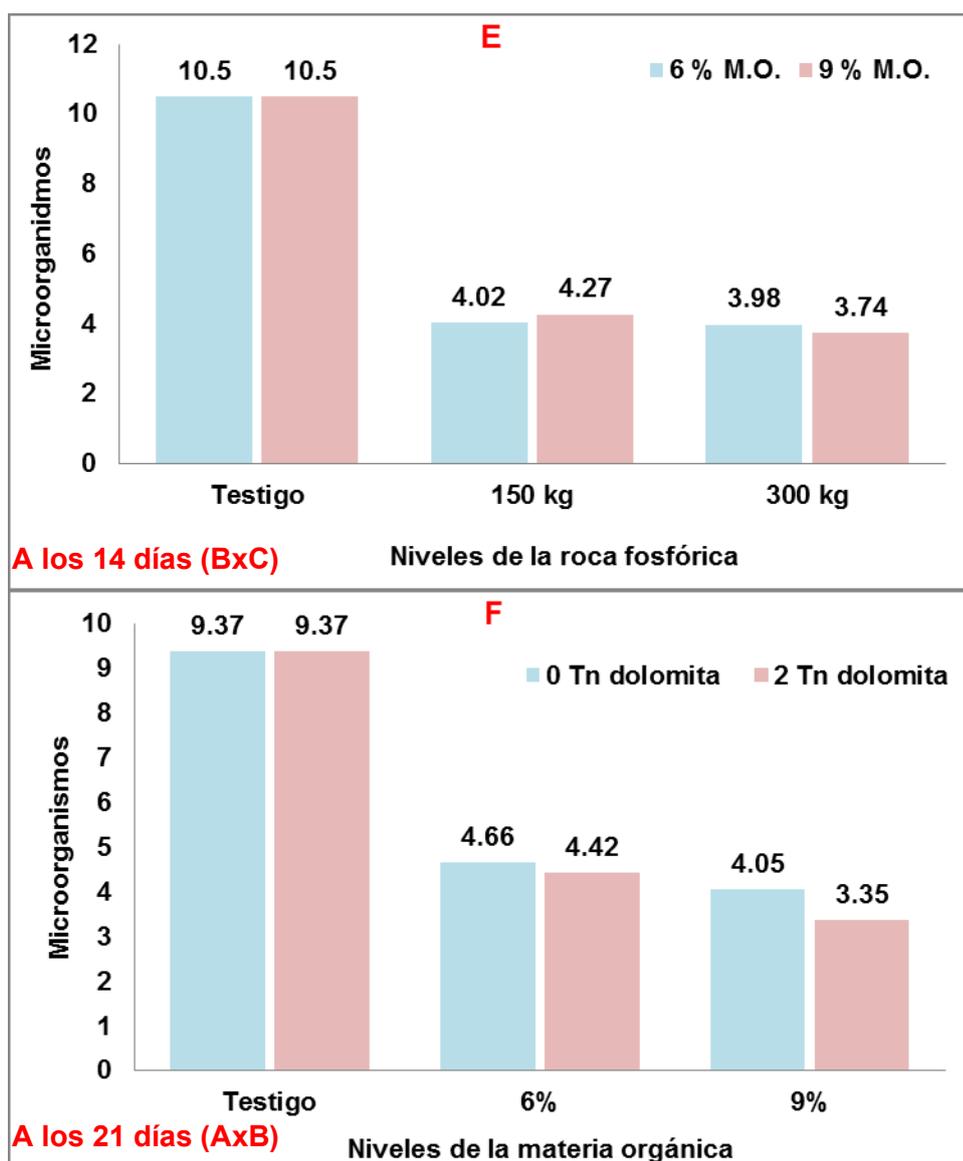


Figura 45. Propiedades biológicas del suelo a los 14 del factor BxC y a los 21 días del factor AxB de la técnica IV.

4.5. Altura de planta

Del Cuadro 46, se observa la prueba de significación de Duncan ($\alpha=0.05$), de los tratamientos en la capacidad productiva, donde el tratamiento T₄ (6.0 % materia orgánica) con 30.5 cm, representa mayor altura de planta, siendo estadísticamente significativa y superior numéricamente al resto de tratamientos de la técnica I (Figurara 46); el tratamiento T₄ (3 (Tn/ha) dolomita

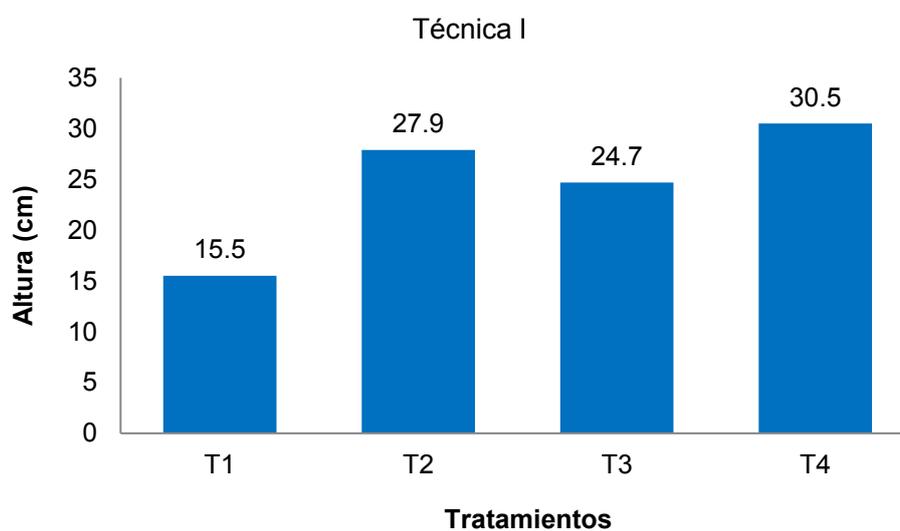
+ 9 % Materia orgánica) con 23.4 cm, representa mayor altura de planta, siendo estadísticamente significativa y superior numéricamente al resto de tratamientos de la técnica II (Figurara 47); el tratamiento T₈ (2 Tn Dol. + 9 % M.O. + 150 g R.F) con 42.7 cm, representa mayor altura de planta, siendo estadísticamente significativa y superior numéricamente al resto de tratamientos de la técnica III (Figurara 48) y el tratamiento T₇ (2 Tn Dol. + 9 % M.O. + 150 g R.F. + 0.05 L. Bio.) con 46.6 cm, representa mayor altura de planta, siendo estadísticamente significativa y superior numéricamente al resto de tratamientos de la técnica IV (Figurara 49).

Por otro lado, Hernández, (1991) menciona que el cacao constituye una opción productiva que manejada adecuadamente puede convertirse en una fuente de trabajo y de bienestar social en zonas que actualmente confrontan problemas socio-económicos por el cultivo de la hoja de coca, que deben solucionarse en forma pragmática y realista con paquetes tecnológicos adecuados. Además, este cultivo debe ir asociado con otros cultivos bajos sistemas agroforestales - SAF que contribuyen a alcanzar la sostenibilidad (RENDA *et al.*, 1997); adicional a la protección que brindan los SAF en suelos degradados por el cultivo de la hoja de coca, devolviendo la fertilidad natural al suelo (GUERRA *et al.*, 1996).

Cuadro 46. Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$), de los tratamientos en la capacidad productiva en las técnicas en estudio.

Capacidad productiva											
Técnica I			Técnica II			Técnica III			Técnica IV		
Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.	Trat.	Prom.	Sig.
T ₄	30.5	a	T ₄	23,4	a	T ₈	42,7	a	T ₇	46,6	a
T ₂	27.9	b	T ₂	21,2	b	T ₂	39,8	b	T ₃	43,8	b
T ₃	24.7	c	T ₃	21,2	b	T ₃	39,1	b	T ₆	36,6	c
T ₁	15.5	d	T ₁	15,5	c	T ₆	38,6	b	T ₉	35,9	c
						T ₅	38,4	b	T ₂	35,4	c
						T ₉	36,9	c	T ₅	34,7	c
						T ₇	36,6	c	T ₄	31,8	d
						T ₄	34,9	c	T ₈	28,7	e
						T ₁	20,2	d	T ₁	19,8	f

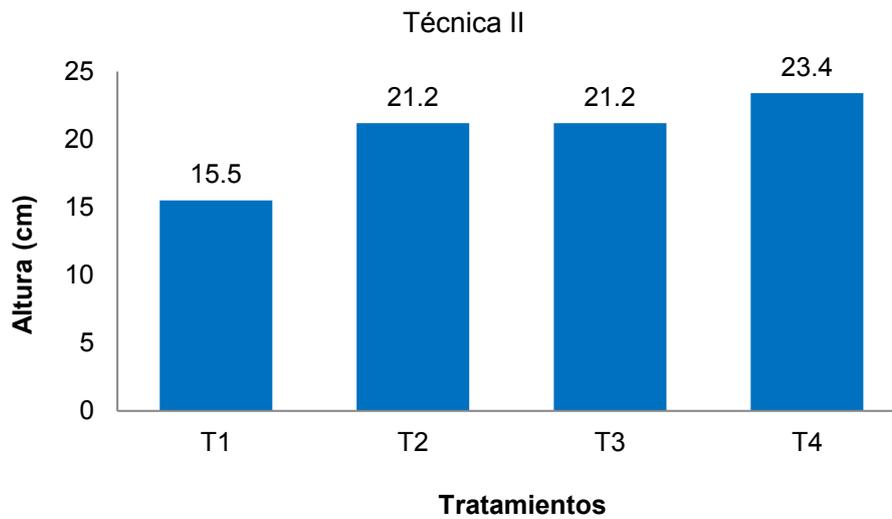
Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe significancia estadística.



T₁ 1.5 % Materia orgánica
T₂ 3.0 % Materia orgánica

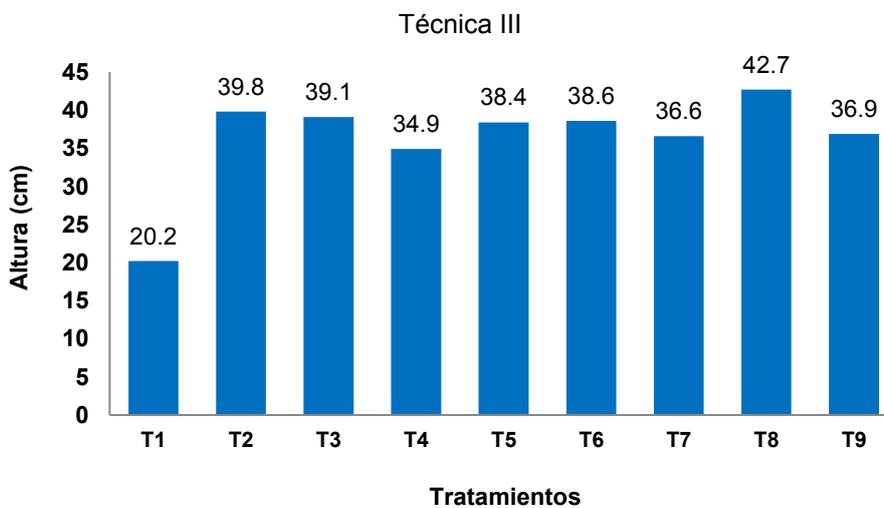
T₃ 4.5 % Materia orgánica
T₄ 6.0 % Materia orgánica

Figura 46. Altura del plantón de cacao de la técnica I.



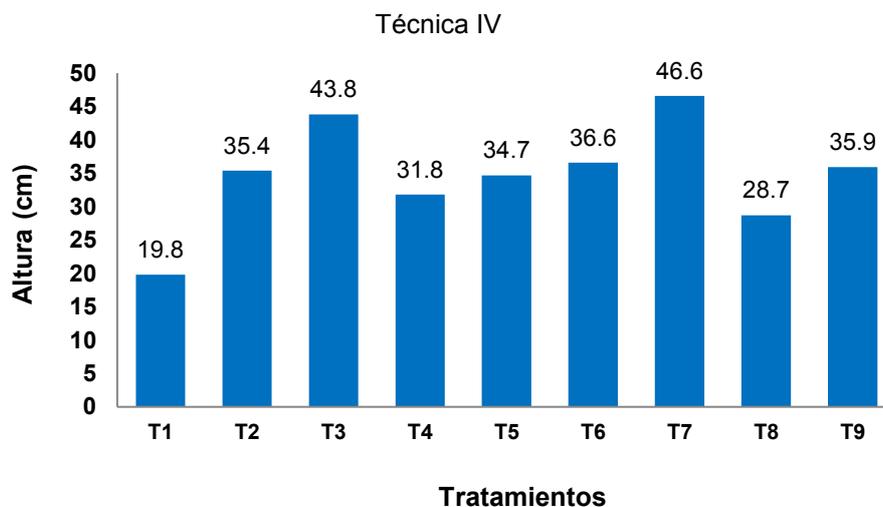
T₁ 1.5 % Materia orgánica **T₃** 2 Ton. Dol. + 6 % Materia orgánica
T₂ 0 Tn. Dol. + 3 % Materia orgánica **T₄** 3 Ton. Dol. + 9 % Materia orgánica

Figura 47. Altura del plantón de cacao de la técnica II



T₁ 0 Tn Dol. + 6 % M.O. + 150 g R.F. **T₆** 2 Tn Dol. + 6 % M.O. + 300 g R.F.
T₂ 0 Tn Dol. + 6 % M.O. + 300 g R.F. **T₇** 2 Tn Dol. + 9 % M.O. + 150 g R.F.
T₃ 0 Tn Dol. + 9 % M.O. + 150 g R.F. **T₈** 2 Tn Dol. + 9 % M.O. + 300 g R.F.
T₄ 0 Tn Dol. + 9 % M.O. + 300 g R.F. **T₉** Testigo
T₅ 2 Tn Dol. + 6 % M.O. + 150 g R.F.

Figura 48. Altura del plantón de cacao de la técnica III.



T₁ 0Tn Dol + 6% M.O + 150g R.F + 0.05L Bio	T₆ 2Tn Dol + 6% M.O + 300g R.F + 0.05L Bio
T₂ 0Tn Dol + 6% M.O + 300g R.F + 0.05L Bio	T₇ 2Tn Dol + 9% M.O + 150g R.F + 0.05L Bio
T₃ 0Tn Dol + 9% M.O + 150g R.F + 0.05L Bio	T₈ 2Tn Dol + 9% M.O + 300g R.F + 0.05L Bio.
T₄ 0Tn Dol + 9% M.O + 300g R.F + 0.05L Bio	T₉ Testigo
T₅ 2Tn Dol + 6% M.O + 150g R.F + 0.05L Bio	

Figura 49. Altura del plantón de cacao de la técnica IV.

4.6. Relación entre las características físicas, químicas y biológicas con la capacidad productiva del suelo

De acuerdo a la prueba F del análisis de variancia (Cuadro 47), al final del experimento, se encontró diferencias estadísticas significativas en las diferentes fuentes de variación; es decir, al menos una fuente de regresión tuvo un comportamiento diferente a los demás en relación a las propiedades del suelo.

Cuadro 47. Análisis de variancia de la relación entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Análisis de variancia	G. L.	Suma de cuadrados	Media cuadrática	Sig.
Regresión	3	1017.810	339.270	S
Residuo	13	329.265	25.328	
Total	16	1347.075		

S : Significación estadística al 5 % de probabilidad.

Para la capacidad productiva se tiene la siguiente ecuación: $22.851 - 1.064 \text{ Arc} + 7.086 \text{ MO} + 3.185 \text{ Mo}^3$, observándose que está en función negativa a las arcillas y positiva a la materia orgánica; es decir que a menor cantidad de arcilla existe mayor capacidad productiva del suelo y a mayor concentración de materia orgánica existe mayor capacidad productiva; por lo tanto quien tiene mayor influencia en la capacidad productiva es la materia orgánica, seguido de la actividad microbiana.

Tal como manifiesta BOHN (1993), la materia orgánica del suelo amortigua el pH del suelo en los limitantes entre ligeramente ácido, neutro y alcalino, causado por la adición de enmiendas, además sirve como depósito de elementos químicos para el desarrollo de las plantas; y es fuente de elementos nutritivos para el crecimiento de las plantas, incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, del 20 a 70 %, ayudado de la actividad microbiana.

V. CONCLUSIONES

En la recuperación de suelos degradados se determinó a través del trabajo de investigación que la técnica IV es la mejor. En la que se incrementó Materia Orgánica y la Capacidad de Intercambio Catiónico en todos sus tratamientos versus el testigo. Asimismo, se logró incrementar nitrógeno (desde 0.06 % hasta 0.13%), fósforo, potasio, calcio y magnesio en el suelo versus el testigo.

Los tratamientos influyen en las propiedades físicas, químicas y biológicas, la que mayor influencia presentó fue la propiedad biológica.

En cuanto al incremento de la altura del cacao la técnica IV tuvo mejores resultados en los tratamientos T₇ y T₃ con valores de 46.6 cm y 43.8 cm respectivamente. Logrando mejores resultados de hasta 131 % y 122 % respectivamente versus el testigo.

La relación entre las características físicas, químicas y biológicas con la capacidad productiva dio como respuesta la ecuación $22.851 - 1.064 \text{ Arc} + 7.086 \text{ MO} + 3.185 \text{ Mo}^3$. Resultando que para recuperar suelos degradados con capacidad productiva la materia orgánica y la actividad microbiana tienen mayor influencia.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar el encalamiento de toda el área a sembrar con enmiendas tales como dolomita o cal agrícola, un mes antes de la siembra.
2. Replicar la Técnica 4 del presente trabajo de investigación en diferentes regiones donde encontramos áreas degradadas, considerando que los sistemas agroforestales y los aportes de la materia orgánica (MO), roca fosfórica y la aplicación de biofertilizantes en el suelo resultan muy beneficiosos para la recuperación de la fertilidad de la misma.
3. Considerar la cuantificación de la biodiversidad (macro y micro organismos) en la recuperación de suelos degradados.
4. Considerar como indicador la diversidad cuantificada en sistema de bosque secundario. Es decir debemos llegar a restaurar la diversidad semejante al bosque.
5. Incentivar la producción de biofertilizantes ya que es un producto con alta carga microbiana; rentable, fácil y funcional. Ampliar su uso en los agricultores. Actualmente vienen usando este producto orgánico 1,385 productores de 2,130 participantes del plan post erradicación que ejecuta DEVIDA en el Valle del Monzón.
6. Incorporar la investigación – acción – participación en toda intervención, que adscriben a los programas de Desarrollo Alternativo Integral y Sostenible de DEVIDA.

VII. RESUMEN

El presente trabajo de investigación se ejecutó en el Fundo, El Pajarillo, perteneciente al Sr. Hugo Herrera Zamora, ubicado políticamente en el departamento de Huánuco, provincia de Huamalíes, distrito de Monzón, en el Centro Poblado de Río Espino cuyas coordenadas de UTM, son: E 0405816.000, N 8982538.000, Altitud 1249.000 msnm; los objetivos fueron: (1) Diagnosticar la influencia en la recuperación de suelos degradados en las propiedades físicas, químicas y biológicas, (2) Evaluar el incremento de la capacidad productiva de los suelos y (3) Relacionar las características físicas, químicas y biológicas con la capacidad productiva de los suelos degradados, Se instaló en un suelo franco arcilloso, con reacción ácida; materia orgánica, nitrógeno total, fósforo y potasio en un nivel bajo; saturación de bases en un 100 %. Los componentes en estudio para la técnica I (Factor: Materia orgánica), técnica II (Factores: Dolomita y Materia orgánica), técnica III (Factores: Dolomita, materia orgánica y roca fosfórica) y la técnica IV (Factores: Dolomita, materia orgánica, roca fosfórica y biofertilizante). Con el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) para la técnica I y II; asimismo el Diseño de Bloque Completamente al Azar (DBCA) con arreglo factorial 2A x 2B x 2C con 3 repeticiones para la técnica III y el Diseño de Bloque Completamente al Azar (DBCA) con arreglo factorial 2A x 2B x 2C más biofertilizante con 3 repeticiones para la técnica IV, utilizándose la prueba de significación de Duncan ($\alpha = 0.05$) para el análisis estadístico. Las observaciones registradas fueron: Parámetros físicos (porosidad, densidad, velocidad de infiltración, índice de penetrabilidad), químicos (pH, materia

orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, CIC) y biológicas (indicadores biológicos y cuantificación de la micro fauna).

Los resultados indican que: En la recuperación de suelos degradados se determinó a través del trabajo de investigación que la técnica IV es la mejor. Lográndose incrementar Materia Orgánica y la Capacidad de Intercambio Catiónico en todos sus tratamientos versus el testigo. Asimismo, se logró incrementar nitrógeno (desde 0.05 % hasta 0.13 %), fósforo, potasio, calcio y magnesio en el suelo versus el testigo. Los tratamientos influyen en las propiedades físicas, químicas y biológicas, la que mayor influencia presento fue la propiedad biológica. En cuanto al incremento de la altura de cacao la que tuvo mayor altura fue la técnica IV, en los tratamientos T₇ y T₃ con valores de 46.6 cm y 43.8 cm respectivamente. Alcanzando mejores resultados de hasta 131 % y 122 % respectivamente versus el testigo. La relación entre las características físicas, químicas y biológicas con la capacidad productiva dio como respuesta la ecuación $22.851 - 1.064Arc + 7.086MO + 3.185Mo^3$; observándose que está en función negativa a las arcillas y positiva a la materia orgánica; es decir que a menor cantidad de arcilla existe mayor capacidad productiva del suelo y a mayor concentración de materia orgánica existe mayor capacidad productiva; por lo tanto quien tiene mayor influencia en la capacidad productiva es la materia orgánica, seguido de la actividad microbiana.

ABSTRACT

The present research work was done on the “El Pajarillo” farm, belonging to Mr. Hugo Herrera Zamora, politically located in the Huánuco department, Huamalies province, Monzon district, in the town of Rio Espino, Peru, of which the UTM coordinates are: E 0405816.000, N 8982538.000, Altitude 1249.000 masl; the objectives were: (1) determine the influence of the soil recuperation methodology on the physical, chemical and biological properties, (2) evaluate the increase in the productive capacity of the soil and (3) relate the physical, chemical and biological characteristics with the productive capacity of the degraded soil. The installation was done in loamy clay soil with an acidic reaction; organic matter, total nitrogen, phosphorous and potassium at a low level; base saturation at 100%. The components in study for Technique I (Factor: organic matter), Technique II (Factors: dolomite and organic matter), Technique III (Factors: dolomite, organic matter and phosphoric rock) and Technique IV (Factors: dolomite, organic matter, phosphoric rock and bio fertilizer). With a completely randomized block design (CRBD; DBCA in Spanish) for Techniques I and III; likewise, the completely randomized block design (CRBD; DBCA in Spanish) with factorial arrangement 2A x 2B x 2C with 3 repetitions for Technique III and the completely 2A x 2B x 2C adding bio fertilizer with 3 repetitions for Technique IV, using the Duncan ($\alpha = 0.05$) significance test for the statistical analysis. The observations registered were: physical parameters (porosity, density, infiltration velocity, penetrability index), chemical (pH, organic matter, nitrogen, phosphorous, potassium, CIC) and biological (biological indicators and quantification of the microfauna).

The results indicate that: in the recuperation of degraded soils, it was determined through the research work, that Technique IV is the best. Achieving an increase in organic matter and the cation exchange capacity in all of the treatments versus the control. Likewise, an increase was achieved in the nitrogen (from 0.05 % to 0.13 %), phosphorous, potassium, calcium and magnesium in the soil, versus the control. The treatments influence the physical, chemical and biological properties, the greatest influence was presented in the biological property. With regards to the increase in the height of the cacao, Technique IV had the greatest height in the treatments T₇ and T₃, with values of 46.6 cm and 43.8 cm, respectively. Reaching better results, up to 131 % and 122 %, respectively, versus the control. The relationship between the physical, chemical and biological characteristics with the productive capacity resulted in the equation $22.851 - 1.064Arc + 7.086MO + 3.185Mo^3$; observing that it functions negatively in the clay and positively in the organic matter; which is to say, that the lesser quantity of clay that exists, the greater productive capacity of the soil and the greater the concentration of organic matter that exists, the greater the productive capacity; thus, the organic matter has the greatest influence on the productive capacity, followed by the microbial activity.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. ACEVEDO, E., CARRASCO, A., LEON, O., SILVA, P., CASTILLO, G., BORIE, G., MARTINEZ, E., GONZÁLEZ, S., AHUMADA, I. 2005. Criterios de calidad del suelo agrícola. [En línea]: USDA, (informe, dptos, 09 Oct. 2009).
2. ARCA, B. 2000. El cultivo del cacao en la Amazonia Peruna. Ministerio de Agricultura – Unidad Operativa de Proyectos Especiales. FIMART S.A.C. impresiones. Lima, Perú. 105 p.
3. ASTIER, C., MASS-MORENO, M. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelo en el contexto de la agricultura sustentable. Agro ciencia 36: 605 - 620.
4. BAUTISTA, C., ETCHEVERS, B., DEL CASTILLO, R., GUTIÉRREZ, C. 2004. La calidad de los suelos y sus indicadores. [En línea]: HEET, (<http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>, 30 Nov. 2005).
5. BOHN, H. 1993. Química de suelos. Editorial Limusa. México.
6. BRACK, E. 1992. Experiencias agroforestales exitosas en la cuenca Amazónica. Edición TCA. Lima, Perú. 194 p.
7. BUCKMAN, H. 1985. Naturaleza y Propiedades de los Suelos. Editorial Hispano americano UTEHA. México. DF México. 509.
8. CARTER, M. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. Agronomy Journal. 94: 38 - 47.
9. CEPEDA, J. 1999. Química de suelos. 2ed. México Editorial Trillas S.A. 167 p.

10. DOMÍNGUEZ, A. 1990. El abonado de los cultivos. Edit. Mundi Prensa. Madrid – España. 182 p.
11. DORRONSORO, C. 2003. Degradación de los suelos. En introducción acerca del suelo, curso on line y monografías. [En Línea]: (<http://edafologia.urg.es>)
12. FAASBENDER, H., BORNENISZA, E. 1987. Química del suelo con énfasis en suelos de américa latina. Edit. IICA. San José, Costa Rica. 420 p.
13. FAO, 2016. Propiedades químicas del suelo. [En Línea]: (www.fao.org, 12 de set. 2017).
14. FAO. 2019. Degradación de suelos degradados [En línea]: (<http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>. Diciembre 12 2019).
15. FRANCO, M. 2009. Utilización de los actinomicetos en procesos de biofertilización. Bogotá, Colombia. Rev. peru. biol. 16(2): 239 - 242
16. HUAMÁN, G. 2011. Establecimiento de un sistema silvopastoril con aguaje *mauritia flexuosa* L. F. utilizando abonos orgánicos en suelos de pasto natural degradado torourco en el módulo lechero de Aucayacu. Tesis para optar el título de ingeniero zootecnista. Tingo María. 83 p.
17. HERNÁNDEZ, T. 1991. Cacao. Naciones Unidas. Tingo María, Perú. 70 p.
18. HÜNNEMEYER, J., DE CAMINO, R., MÜLLER, S. 1997. Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: Indicadores para la

agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica.

19. INFOREGION, 2007. Narcotráfico destruyó 2 millones de hectáreas de bosques y contaminó ríos del VRAE y Alto Huallaga. [En línea]: (http://www.inforegion.pe/region/noticia_detalle.php?v_idnoticia=19847&v_idlocacion=1&v_idcategoria=28, 12 de diciembre 2019).
20. LAZO, C. 1996. Transferencia y adopción tecnológica en el cacao en una zona del Huallaga. Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas – Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 39 p.
21. LÓPEZ, B. 1999. El control de los costos y los sobrecostos de producción, como condicionantes en el surgimiento de la Cooperativa Agraria Industrial Naranjillo Ltda. - Tingo María. Tesis. Lic. Administración. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú. 98 p.
22. MÁRQUEZ, C; GARCIA, V; CAMBARDELLA, C; SCHULTZ, R; ISENNHART, T. 2004. Aggregate size stability distribution and soil stability. *Soil Science Society America Journal*. 68: 725 – 735.
23. MARSCHNER, H. 1993. Mineral nutrition of higher plants. Londres, Academic Press Ltd., Harcourt Brace y Co. Publishers.
24. NAVARRO, S., NAVARRO, G. 2003. Química Agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Edit. Mundi Prensa. 487 p
25. PLASTER, 2000. La ciencia del suelo y su manejo. Edit. Paraninfo. Madrid. 419 p.

26. RENDA, A.; CALDIZADILLA, E.; JIMENEZ, M.; SANCHEZ, J. 1997. Objetivo general de los sistemas agroforestales. Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Sistemas Agroforestales. Santiago: 1- 4.
27. SALDAÑA, A. 2002. Manual agroforestal en café y cacao. [En Línea]:(http://www.pepp.gob.pe/manuales/manuales_agroforestal_e_n_cafe_cacao.pdf)
28. SCHWARTZ, E. 2004. El papel de la silvicultura en la mitigación de la pobreza. FAO. Foro Italia. 4-6 de setiembre de 2001. [En línea]: (<http://www.fao.org/noticias>, 27 de noviembre del 2008).
29. SUQUILLANDA, M. 2017. Manejo agroecológico de suelos. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. 1ed. Quito, Ecuador. 292 p.
30. TISDALE, S.; NELSON, W.; BEATON, J.; HAVLIN, J. 1993. Soil fertility and Fertilizers.5ed. Columbus USA, Mac Millan Publishing.
31. ZAVALA, W. 1999. Estudio Morfopedológico como Base para la recuperación de suelos Degradados en Tingo María. Tesis Ms C. UNA la Molina Perú.
32. ZAVALETA, A. 1992. Edafología: El suelos en relación con la producción. Edit. AyB. S.A. 223p.
33. ZAGOYA, M. 2013 [http:// www. biblio. colpos. mx: 8080/ xmlui /handle /10521/2206](http://www.biblio.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/2206).

IX. ANEXO

Cuadro 48. Altura del plantón de cacao en las técnicas en estudio.

Altura del plantón de cacao									
Fuente de variación	Técnica I			Técnica II		Técnica III		Técnica IV	
	GL	CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.	CM	Sig.
Bloques	2	65.678	NS	56.605	NS	152.282	NS	125.359	NS
Tratamientos	8	128.799	NS	34.620	NS	125.207	NS	186.389	*
Factorial	7					16.618	NS	104.177	NS
A	1					2.667	NS	1.500	NS
B	1					0.465	NS	368.167	*
C	1					8.955	NS	305.782	*
AxB	1					37.500	NS	12.042	NS
AxC	1					42.667	NS	13.500	NS
BxC	1					0.075	NS	25.352	NS
AxBxC	1					24.000	NS	2.894	NS
Fact. vs test.	1					885.330	NS	761.877	*
Error exp.	16	25.567		13.079		54.189	S	49.670	
Total	26								
CV. (%):		20.51		17.77		20.24			

Cuadro 49. Resumen de las propiedades físicas, químicas y biológicas en las técnicas I, II, III y IV.

Trat.	Técnica I																						
	Propiedades físicas								Propiedades químicas											Propiedades biológicas			
	Are.	lim.	Arc.	Por.	Dens.	I. Pen. (0 cm)	I. Pen. (5 cm)	Hum.	PH	CICt	CICe	MO.	N	P	K	Ca	Mg	Ki	Na	M.org. 3 D.	M.org. 7 D.	M.org. 14 D.	M.org. 21 D.
T1	45.68	14.61	39.71	58.35	1.10	0.96	0.96	36.77	5.72	3.93	5.22	0.97	0.04	9.47	259.39	3.86	0.69	0.31	0.03	11.87	9.87	10.83	11.87
T2	28.35	18.61	53.04	65.13	0.92	0.68	0.93	36.17	6.15	5.98	8.24	2.63	0.10	8.19	310.20	6.69	0.92	0.38	0.03	12.53	3.67	3.10	4.73
T3	28.35	18.61	53.04	65.22	0.92	0.89	0.92	43.89	6.86	9.22	9.22	3.04	0.11	12.16	320.03	7.31	1.21	0.67	0.04	12.33	5.17	4.67	5.23
T4	30.35	18.61	51.04	63.33	0.97	0.78	0.95	37.76	6.45	6.60	9.20	3.05	0.11	19.68	247.06	7.30	1.13	0.48	0.03	11.83	4.10	4.77	5.53
	Técnica II																						
T1	26.35	17.95	55.71	63.08	0.98	0.77	1.31	34.28	5.82	5.75	8.16	2.06	0.09	9.53	242.23	6.23	1.21	0.36	0.04	11.87	9.87	10.83	11.87
T2	29.01	15.28	55.71	64.80	0.93	0.86	1.04	32.97	6.36	9.19	9.19	2.78	0.13	19.38	290.21	7.30	1.19	0.63	0.06	12.30	5.50	2.73	5.17
T3	39.01	13.28	47.71	65.25	0.92	0.71	0.99	35.21	6.80	9.33	9.33	3.03	0.14	53.05	249.39	7.31	1.40	0.57	0.05	10.37	3.90	3.60	5.27
T4	45.68	14.61	39.71	58.35	1.10	0.82	0.96	36.77	5.72	3.93	5.22	0.97	0.04	9.47	259.39	3.86	0.69	0.31	0.03	11.70	4.23	4.10	4.60
	Técnica III																						
T1	41.01	16.61	42.37	57.89	1.12	0.93	0.81	31.17	6.78	9.47	9.47	1.82	0.08	33.72	240.56	7.49	1.20	0.72	0.06	9.43	5.20	4.07	4.87
T2	43.01	16.61	40.37	61.10	1.03	1.11	0.97	35.50	6.94	8.63	8.63	3.15	0.14	56.47	308.70	6.90	1.16	0.52	0.05	11.40	6.33	5.37	5.67
T3	43.68	16.61	39.71	60.08	1.06	1.20	1.08	37.26	6.89	8.88	8.88	2.54	0.11	34.57	253.39	7.38	1.03	0.43	0.05	10.43	6.30	5.03	5.00
T4	49.01	15.95	35.04	60.38	1.05	1.08	1.08	31.47	6.91	8.46	8.46	2.54	0.11	35.08	247.56	6.65	1.13	0.63	0.05	9.60	6.67	4.83	5.77
T5	45.01	18.61	36.37	59.00	1.09	0.58	0.78	31.68	6.90	8.90	8.90	2.18	0.10	35.60	298.54	7.15	1.15	0.55	0.05	10.57	4.83	4.00	5.03
T6	46.35	17.28	36.37	61.72	1.01	0.89	0.86	36.13	6.91	8.65	8.65	2.78	0.13	56.91	242.89	6.99	1.11	0.47	0.10	10.97	6.23	5.63	6.07
T7	49.68	17.28	33.04	57.96	1.11	0.88	0.67	33.22	6.85	8.22	8.22	2.29	0.10	32.66	251.39	6.69	1.05	0.43	0.05	10.50	6.10	4.77	5.43
T8	51.68	17.28	31.04	59.33	1.08	0.68	0.84	30.10	7.05	8.70	8.70	2.90	0.13	62.39	324.36	7.06	1.05	0.53	0.07	11.97	4.83	4.37	4.50
T9	45.68	14.61	39.71	58.35	1.10	1.16	0.96	36.77	5.72	3.93	5.22	0.97	0.04	9.47	259.39	3.86	0.69	0.42	0.03	13.03	9.67	11.00	11.87
	Técnica IV																						
T1	43.68	17.28	39.04	57.03	1.14	1.16	1.42	27.43	6.52	8.71		2	0.11	48.35	214.91	7.20	1.06	0.45	0.07	11.17	4.10	4.33	4.83
T2	49.01	15.95	35.04	57.56	1.12	1.24	1.19	25.03	6.63	8.46		2.18	0.10	39.90	181.92	7.10	0.93	0.38	0.06	10.83	4.47	4.27	4.50
T3	41.01	15.95	43.04	58.26	1.11	1.21	1.29	25.56	6.39	8.49		2.42	0.11	39.07	247.22	6.95	1.12	0.30	0.03	10.57	5.07	4.60	3.83
T4	43.68	17.28	39.04	60.34	1.05	1.15	1.27	28.09	6.70	9.50		2.18	0.10	36.92	291.87	7.88	1.11	0.45	0.06	10.17	3.73	3.30	4.27

T5	43.68	17.95	38.37	59.50	1.07	1.15	1.06	29.19	6.55	9.69	2.66	0.12	30.71	266.55	7.87	1.25	0.52	0.05	11.37	4.40	3.70	4.37
T6	51.01	15.95	33.04	58.18	1.11	1.22	1.22	29.29	6.89	9.86	3.15	0.14	49.82	226.57	8.21	1.18	0.41	0.07	9.60	4.27	3.70	4.47
T7	47.68	15.95	36.37	62.87	0.98	1.16	1.27	27.32	6.95	10.07	2.66	0.12	53.93	272.71	8.22	1.25	0.53	0.07	8.87	4.17	5.33	6.07
T8	40.35	18.61	41.04	60.04	1.06	1.21	1.34	28.89	6.60	10.12	3.52	0.16	49.46	205.08	8.18	1.36	0.52	0.06	11.47	5.47	4.17	4.63
T9	33.68	17.28	49.04	62.36	1.00	1.13	1.12	35.76	4.92	5.10	1.21	0.05	4.66	217.57	2.89	0.37	0.00	0.00	11.97	8.40	10.50	9.37



Figura 50. Ubicación del campo experimental.



Figura 53. Vista del campo antes de la ejecución del experimento.



Figura 54. Vista del campo después del experimento.



Figura 55. Demarcación del experimental.



Figura 56. Estaquillado del campo experimental.



Figura 57. Hoyado del campo experimental.



Figura 58. Preparación y pesado de las enmiendas.



Figura 59. Acarreo de las enmiendas al campo experimental.



Figura 60. Siembra de plántones de cacao.



Figura 61. Técnica IV. Prueba de infiltración inicial Vs. Prueba de infiltración final en campo, usando cilindros.



Figura 62. Desmalezamiento del campo experimental.

Cuadro 52. Cantidad de dolomita, roca fosfórica y materia orgánica que se aplicarán en la técnica III.

Tratamientos	Dolomita(Tn/ha)	Roca Fosfórica (Kg/ha)	M.O. (%)	Dolomita (Kg/parcela)	Roca Fosfórica (kg/planta)	M.O
T ₁	0	150	4x		93.328	612.86
T ₂	0	150	6x		93.328	919.3
T ₃	0	300	4x		186.504	612.86
T ₄	0	300	6x		186.504	919.3
T ₅	2	150	4x	74.88	93.328	612.86
T ₆	2	150	6x	74.88	93.328	919.3
T ₇	2	300	4x	74.88	186.504	612.86
T ₈	2	300	6x	74.88	186.504	919.3
T ₉	0	0	0			
Total				299.52	1119.33	6128.6

Cuadro 53. Cantidad de dolomita, de roca fosfórica y de materia orgánica que se aplicarán en la técnica 4 más los *biofertilizantes aplicados cada 21 días.

Tratamientos	Dolomita(Tn/ha)	Roca Fosfórica (Kg/ha)	M.O. (%)	Dolomita (Kg/parcela)	Roca Fosfórica (kg/planta)	M.O/ tratamiento
T ₁	0	150	4x		93.328	612.86
T ₂	0	150	6x		93.328	919.3
T ₃	0	300	4x		186.504	612.86
T ₄	0	300	6x		186.504	919.3
T ₅	2	150	4x	74.88	93.328	612.86
T ₆	2	150	6x	74.88	93.328	919.3
T ₇	2	300	4x	74.88	186.504	612.86
T ₈	2	300	6x	74.88	186.504	919.3
T ₉	0	0	0			
Total				299.52	1119.33	6128.6

Cuadro 54. Resumen de la cantidad de insumos.

INSUMOS	CANTIDAD EN KG.
Materia Orgánica (Seca 0 % de humedad)	15,628.032
Dolomita	786.24
Roca Fosfórica	1,119.328

Cuadro 55. Dosificación de biofertilizantes.

CUADRO DOSIS DE BIOFERTILIZANTES				
TIMBO	CONCENTRACION	VIVERO	TRASPLANTE /CRECIMIENTO	PRODUCCION
1	NITROGENO - POTASIO	3 LITROS	7 LITROS	8 LITROS
2	FOSFORO – BORO	5 LITROS	3 LITROS	4 LITROS
3	COBRE – ZINC	1/2 LITRO	1/2 LITRO	1 LITRO
4	MAGNESIO – MANGANESIO	1/2 LITRO	1/2 LITRO	1 LITRO
TOTAL		9 LITROS	11 LITROS *	14 LITROS

* Dosis utilizada en el trabajo de investigación (Ver figura 59)

- Vivero.- Se utiliza ½ litro del total por mochila.
- Trasplante/Crecimiento.- Se utiliza 1 litro del total por mochila.*
- Producción.- Se utiliza 2 litros del total por mochila

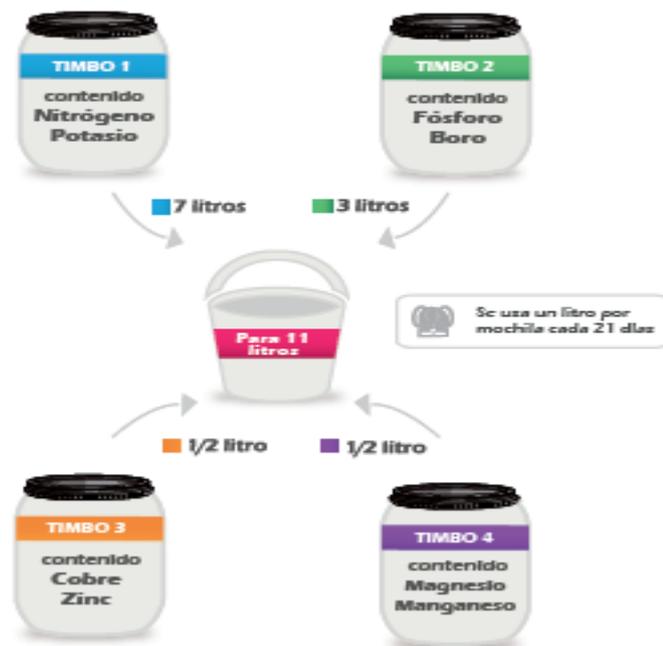


Figura 63. Dosificación de biofertilizantes etapa trasplante /crecimiento.



Figura 64. Módulo productor de biofertilizantes.



Figura 65. Timbos 1 y 2 – Macronutrientes.



Figura 66. Timbos 3 y 4 – Micronutrientes.