

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO A LA APLICACIÓN DE
MADERA RAMEAL FRAGMENTADA DE ÁRBOLES LEGUMINOSOS Y NO
LEGUMINOSOS, COMUNIDAD COMBUYO DEL MUNICIPIO DE VINTO –
COCHABAMBA**

PRESENTADO POR:

ARNOLD ISMAEL QUENALLATA PEREZ

La Paz – Bolivia

2017

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SUELO A LA APLICACIÓN DE MADERA RAMEAL
FRAGMENTADA DE ÁRBOLES LEGUMINOSOS Y NO LEGUMINOSOS, COMUNIDAD
COMBUYO DEL MUNICIPIO DE VINTO – COCHABAMBA

Tesis de Grado presentada
como requisito parcial para
optar al Título de Ingeniero
Agrónomo.

ARNOLD ISMAEL QUENALLATA PEREZ

ASESOR:

Ing. Freddy Carlos Mena Herrera

TRIBUNAL EXAMINADOR

Dr. Roberto Miranda Casas

Ing. M. Sc. Isidro Callisaya Mamani

Ing. Carlos López Blanco

APROBADA

Presidente tribunal examinador

2017

DEDICATORIA

A mis padres Filemón Quenallata Camacho y Blanca J. Perez Gomez

A mi amada hijita Vania Anabel

A mi esposa Monica Vanessa

A mis hermanos Paula Andrea y Cristhian

A toda de mi familia por su apoyo incondicional

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía en su Carrera de Ingeniería Agronómica y a sus docentes, por la formación académica que me dieron.

A la señora Ing. Noemi Stadler-Kaulich por permitirme realizar este importante trabajo en su predio y apoyarme para la realización de esta tesis.

A mi asesor Ing. Carlos Mena Herrera y a los revisores Dr. Roberto Miranda, Ing. Isidro Callisaya e Ing. Carlos Lopez, por su paciencia y apoyo en el trabajo realizado.

Al director de la carrera Ing. René Chipana por permitirme llevar a cabo el trabajo de investigación.

A todos mis amigos y compañeros de carrera por brindarme todo su apoyo moral, sincero y desinteresado.

RESUMEN

El ensayo se llevó a cabo en el predio experimental Mollesnejta, el cual está ubicado en la comunidad de Combuyo, en Cochabamba, a una altitud de 2756 msnm. Las condiciones climatológicas en la zona fueron: temperaturas de 18 a 25 °C, pluviometría de 400 a 700 mm. La investigación se realizó con el objetivo de evaluar la calidad del suelo a la aplicación de madera rameal fragmentada MRF. Se empleó un diseño de bloques al azar y se evaluaron 3 tratamientos con 4 repeticiones dando un total de 12 unidades experimentales. Cada unidad experimental contaba con una longitud de 2,1 m y un ancho de 1,5; siendo su área de 3,15 m². La separación entre parcelas es de 50 cm. El área total en el que se llevó el experimento fue de 51,3 m². Para cada variable se hizo análisis de varianza utilizando el paquete estadístico SAS. Se aplicó la prueba de Tukey al 5%. Las especies arbóreas para la obtención de madera rameal fragmentada (MRF) fueron las especies: tecoma *Tecoma stans* (no leguminosa) y tagasaste *Chamaecytisus palmensis* (leguminosa). Ambos tratamientos incrementaron los niveles de macronutrientes del suelo, y a comparación del tratamiento sin MRF, también mejoraron las propiedades físicas del suelo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CONTENIDOS	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Evaluación.....	3
2.2. Calidad del suelo.....	3
2.3. Suelo	4
2.4. Propiedades físicas del suelo.....	4
2.4.1. Textura.....	4
2.4.2. Densidad.....	5
2.4.2.1. Densidad real	6
2.4.2.2. Densidad aparente	6
2.5. Propiedades químicas del suelo.....	6
2.5.1. pH	6
2.5.2. Materia orgánica	7

2.5.3. Nitrógeno	8
2.5.3.1. Origen, contenido y formas	8
2.5.3.2. Funciones del nitrógeno en la planta.....	10
2.5.3.3. El nitrógeno en el suelo.....	10
2.5.3.4. Dinámica del nitrógeno en el suelo	11
2.5.4. Fósforo	11
2.5.4.1. Contenido, formas y compuestos importantes en la planta.....	11
2.5.4.2. Origen, contenido y formas en el suelo	12
2.5.4.3. Pérdidas del fósforo del suelo por erosión	14
2.5.4.4. Ciclo del fósforo en la naturaleza y su problema bajo el punto de vista agrícola	14
2.5.5. El potasio en la planta.....	15
2.5.5.1. Contenido y formas del potasio en la planta	15
2.6. Especies arbóreas.....	15
2.7. Especies arbóreas leguminosas	16
2.7.1. Distribución y habitat.....	16
2.7.2. Fijación biológica del nitrógeno.....	16
2.8. Características pedogenéticas de la madera rameal fragmentada	17
2.8.1. Fuentes y propiedades de la madera rameal fragmentada.....	17
2.9. Origen y composición de la materia orgánica del suelo	18
2.10. Descomposición de la materia orgánica en el suelo	19
2.11. Carbono orgánico.....	19
2.11.1. Carbono orgánico y propiedades químicas del suelo	19
2.11.1.1. Efecto sobre la reacción del suelo.....	19
2.11.1.2. Capacidad de intercambio catiónico	20

2.11.2.	Carbono orgánico y propiedades físicas del suelo	20
2.11.2.1.	Agregación del suelo	20
2.11.2.2.	Porosidad y retención de agua en el suelo	20
3.	LOCALIZACIÓN	21
3.1.	Ubicación geográfica.....	21
3.2.	Comportamiento pluvial.....	22
3.3.	Comportamiento térmico	22
3.4.	Suelo	22
3.5.	Flora	22
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
4.1.	Materiales.....	24
4.1.1.	Material experimental.....	24
4.1.2.	Materiales de campo.....	25
4.1.3.	Material de gabinete	25
4.2.	Procedimiento de investigación.....	25
4.2.1.	Primera etapa: Labores de campo y seguimiento de la investigación	25
	Preparación del terreno.....	25
	Delimitación del terreno.....	25
	Incorporación de madera rameal fragmentada	26
4.2.2.	Segunda etapa: Obtención de resultados	26
	Propiedades químicas y físicas	26
4.3.	Metodología	27
4.3.1.	Diseño experimental	27
4.3.2.	Modelo lineal aditivo	27

4.3.3. Descripción de los tratamientos	27
4.3.4. Croquis del experimento	27
4.3.5. Variables de respuesta	28
4.3.5.1. Variables evaluadas del suelo.....	28
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	29
5.1. Evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo	29
5.1.1. Propiedades físicas.....	29
5.1.1.1. Textura	30
5.1.1.2. Densidad aparente	34
5.1.2. Propiedades químicas	35
5.1.2.1. Potencial de hidrogeniones	37
5.1.2.2. Materia orgánica del suelo	38
5.1.2.3. Nitrógeno total.....	41
5.1.2.4. Fósforo disponible	43
5.1.2.5. Potasio disponible	45
6. CONCLUSIONES.....	47
7. RECOMENDACIONES	49
8. BIBLIOGRAFÍA.....	50

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Clasificación de la textura según tamaño de partículas	5
Cuadro 2.	Características físicas del suelo en el estrato 0 a 20 cm antes de la aplicación de madera rameal fragmentada	29
Cuadro 3.	Características físicas del suelo en el estrato 0 a 20 cm después de la aplicación de madera rameal fragmentada	30
Cuadro 4.	Porcentajes de arena, limo y arcilla de cada tratamiento	31
Cuadro 5.	Análisis de varianza para el porcentaje de arena.....	31
Cuadro 6.	Análisis de varianza para el porcentaje de limo	32
Cuadro 7.	Prueba de Tukey para el porcentaje de limo.....	32
Cuadro 8.	Análisis de varianza para el porcentaje de arcilla	32
Cuadro 9.	Prueba de Tukey para la proporción de arcilla	33
Cuadro 10.	Densidad aparente en g/cm ³ de cada unidad experimental	34
Cuadro 11.	Análisis de varianza para densidad aparente.....	34
Cuadro 12.	Prueba Tukey para Densidad aparente.....	35
Cuadro 13.	Características químicas del suelo en el estrato 0 a 20 cm antes de la aplicación de madera rameal fragmentada	36
Cuadro 14.	Características químicas del suelo en el estrato 0 a 20 cm después de la aplicación de madera rameal fragmentada	36
Cuadro 15.	Potencial de hidrogeniones de cada tratamiento	37
Cuadro 16.	Análisis de Varianza para el pH de los diferentes tratamientos	37
Cuadro 17.	Prueba de Tukey con los valores promedio de pH.....	38
Cuadro 18.	Materia orgánica por tratamiento.....	39
Cuadro 19.	Análisis de varianza para el porcentaje de materia orgánica	39
Cuadro 20.	Prueba de Tukey para las medias del porcentaje de materia orgánica en el suelo.....	40
Cuadro 21.	Nitrógeno total en cada tratamiento	41
Cuadro 22.	Análisis de varianza para porcentaje de nitrógeno total	42
Cuadro 23.	Prueba de Tukey para el porcentaje de Nitrógeno total	42
Cuadro 24.	Fósforo disponible en cada tratamiento	43
Cuadro 25.	Análisis de varianza para fósforo disponible	44

Cuadro 26.	Prueba de Tukey para el fósforo disponible	44
Cuadro 27.	Potasio disponible para cada tratamiento	45
Cuadro 28.	Análisis de varianza para el macronutriente potasio	45
Cuadro 29.	Prueba de Tukey para la variable potasio	45

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1.	Ubicación de la parcela experimental.....	21
Gráfica 1.	Proporción promedio de arena, limo y arcilla de los tratamientos	33
Gráfica 2.	Densidad aparente promedio de los tratamientos	35
Gráfico 3.	Promedio de pH obtenidos por los diferentes tratamientos	38
Gráfico 4.	Promedio de porcentaje de materia orgánica alcanzado por cada uno de los tratamientos	40
Gráfico 5.	Contenido promedio de nitrógeno en cada tratamiento	42
Gráfico 6.	Promedios de fósforo disponible obtenidos para cada tratamiento	44
Gráfica 7.	Contenido promedio de potasio en cada tratamiento	46

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1. Elaboración de madera rameal fragmentada
- Anexo 2. Preparación del terreno
- Anexo 3. Incorporación de madera rameal fragmentada a las unidades experimentales
- Anexo 4. Parcela con la incorporación de madera rameal fragmentada
- Anexo 5. Madera rameal y su descomposición en el sustrato.
- Anexo 6. Cilindro casero para el muestreo de suelos
- Anexo 7. Costo de incorporación de madera rameal fragmentada para 100 m²
- Anexo 8. Precipitación ocurrida durante el tiempo del experimento
- Anexo 9. Temperaturas máximas, mínimas y promedio del lugar de experimento
- Anexo 10. Análisis de laboratorio
- Anexo 11. Parámetro de interpretación para propiedades físicas y químicas de suelos

1. INTRODUCCIÓN

El uso y aplicación de materia orgánica en agricultura es milenaria, sin embargo, paulatinamente fue experimentando un decrecimiento considerable, probablemente a causa de la introducción de los fertilizantes químicos que producían mayores cosechas a menor costo. Sin embargo, durante los últimos años se ha observado un creciente interés sobre la materia orgánica, habiendo experimentado su mercado un gran auge ligado al tema de los residuos orgánicos que encuentran así, una aplicación y el desarrollo de nuevas tecnologías.

En nuestro país uno de los problemas agronómicos más importantes en los cultivos agrícolas es el desconocimiento en el uso correcto de los abonos orgánicos, particularmente los de procedencia vegetal.

Por otro lado, el uso de fertilizantes minerales presenta un alto costo para los pequeños y medianos productores; siendo necesarios el uso de técnicas y conocimientos que permitan reducir los costos de producción, mejorar los productos agrícolas y mantener los niveles productivos del suelo.

Por tal razón es necesario plantear nuevas alternativas para mejorar la productividad del suelo que logren incrementar los rendimientos de los cultivos así también los niveles de fertilidad del suelo, por medio del uso de productos como la madera rameal fragmentada o MRF se pretende mejorar la calidad del suelo, pues este método incrementaría la cantidad de materia orgánica en el suelo y también la capacidad de retención de nutrientes.

Muy poco se ha escrito sobre el uso de madera rameal fragmentada como abono orgánico, en contraposición a las múltiples investigaciones que durante años se ha realizado sobre la fertilización mineral.

Para demostrar que las aplicaciones de madera rameal fragmentada tienen importancia en la calidad del suelo se considera importante llevar a cabo esta investigación, al mismo tiempo también podremos conocer que fuente de MRF es más

recomendable puesto que en el estudio se empleó dos especies arbóreas: leguminosa y no leguminosa, para valorar su incidencia en cuanto a su comportamiento en el suelo.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar la calidad de un suelo a la aplicación de madera rameal fragmentada de árboles leguminosos y no leguminosos en la comunidad Combuyo del municipio de Vinto – Cochabamba.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la madera rameal fragmentada de árboles leguminosos en las propiedades físicas y químicas del suelo.
- Determinar el efecto de la madera rameal fragmentada de árboles no leguminosos en las propiedades físicas y químicas del suelo.
- Determinar que fuente de madera rameal fragmentada es la más adecuada de acuerdo al contenido de humedad en el suelo al cabo de un ciclo agrícola.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Evaluación

La evaluación permite determinar, estimar, apreciar o calcular si el uso o el valor de las cosas es una alternativa factible o necesaria que contribuya solucionar problemas (Pastrana, 1999).

2.2. Calidad de Suelo

La calidad del suelo puede interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo (Carter *et al.*, 1997). Simultáneamente calidad de suelo es un instrumento que sirve para comprender la utilidad y salud de este recurso.

De acuerdo a Doran y Parkin (1994), la calidad de un suelo está definida como: “la capacidad del suelo para funcionar dentro de un ecosistema, para una productividad biológicamente sostenible, manteniendo la calidad y promoviendo la salud de la planta y el animal”.

Hoy todas estas definiciones fueron sintetizadas por el Comité para la Salud del Suelo de la Soil Science Society of America como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sostener la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat (USDA, 1999).

La calidad del suelo no es estable, puede cambiar en un corto plazo de tiempo y depende fundamentalmente del uso y de las prácticas culturales. Su mantenimiento o incluso mejora, genera beneficios, no solo económicos, sino de productividad, uso más racional de fertilizantes y plaguicidas, mejor calidad de aire y agua, y menor producción de gases de efecto invernadero (Navarro y Navarro, 2013).

Esta se encuentra asociada con conceptos de sostenibilidad, calidad ambiental, fertilidad, productividad y agroecología.

Actualmente los esfuerzos para tratar de comprender los procesos que ocurren en el suelo, han sido enfocados principalmente en las propiedades físicas y químicas y de sus relaciones con algunas características especiales como la topografía y las condiciones climáticas predominantes, no obstante, las propiedades biológicas y el desarrollo radical de la planta juegan un papel determinante en la expresión del potencial productivo del cultivo y son elementos claves para explicar las complejas interacciones del suelo y su rizósfera (Pattison *et al.*, 2004).

2.3. Suelo

El suelo es un material no consolidado que yace sobre la superficie de la tierra y cuya formación resulta de la interacción a lo largo del tiempo, del material parental con el clima, los organismos vivos y el relieve. El suelo es una mezcla compleja de materiales inorgánicos (fracción mineral, formada principalmente de arcillas, limo y arena), materia orgánica, agua/aire y organismos vivos (Etchevers, *et al.*, 2005).

2.4. Propiedades físicas del suelo

El suelo es la resultante de numerosas interacciones dinámicas tanto de componentes orgánicos como inorgánicos, de cuya integración se deriva este cuerpo natural, cuya función más sobresaliente ha sido la de construir el medio para el desarrollo vegetal.

El comportamiento mecánico de la fase sólida determina, a su vez, las propiedades físicas del suelo, las cuales, en asociación con las características químicas, generan la habilidad para producir cosechas, dependiendo de los nutrientes presentes en el.

Las propiedades físicas deben ser entendida en conjunto, interdependientemente y formando un todo armónico ya que entre ellas se establece una íntima relación (Montenegro, 1990).

2.4.1. Textura

Está relacionada con el tamaño de las partículas minerales del suelo y se refiere al tamaño y proporción en que se encuentran la arena, limo y arcilla (USDA, 1999).

Cuadro 1. Clasificación de la textura según tamaño de partículas

Tamaño (micras)	0,002	0,05	0,1	0,25	0,5	1	2	>2
Textura	Arcilla	Limo	Muy fina	Fina	Media	Gruesa	Muy gruesa	Cascajo
			Arena					

Fuente: USDA (1999)

De acuerdo con el tamaño que predomine en suelo, la textura recibe un nombre particular con propiedades características relacionadas a la facilidad de laboreo, preparación del terreno, susceptibilidad a la erosión, facilidad de germinación de las semillas, penetración de las raíces, contenido y retención de nutrimentos, retención y penetración del agua, contenido de materia orgánica y la aireación.

Un suelo donde predomina la arena es muy poroso y excesivamente permeable, retiene poco la humedad, tiene poca cohesión y plasticidad y pocas reservas de minerales nutritivos; un suelo donde predomina la arcilla es poco filtrante, gran retenedor de la humedad muy cohesionado y con altas reservas de los elementos nutritivos; es por esto que la textura ideal es la denominada Franca que se encuentra en un punto intermedio con un máximo de 20% de arcilla, máximo 50% de arena y máximo 50% de limo.

La textura puede determinarse en el campo mediante el análisis al tacto o el laboratorio mediante el método de Boyoucos que se basa en la velocidad de sedimentación de las partículas en medio acuoso por acción de un agente dispersante (USDA, 1999).

2.4.2. Densidad

En términos generales, la densidad se define como la relación masa-volumen. En los suelos se establece como densidad real o específica y densidad aparente. (USDA, 1999).

2.4.2.1. Densidad real

Corresponde a la masa en gramos de suelo seco a 105 °C por unidad de volumen en mililitros, sin incluir el volumen de los poros. Los valores pueden oscilar entre 2,5 y 2,7 g/ml y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Densidad\ real = \frac{masa\ (g)\ de\ la\ muestra\ seca}{volumen\ desalojado\ (ml)}$$

2.4.2.2. Densidad aparente

La densidad aparente es una propiedad incluida para evaluar la calidad de un suelo como indicador de la estructura, la resistencia mecánica y la cohesión del mismo. Los cambios en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo, debido a la relación existente entre la densidad aparente y la porosidad total.

La densidad aparente depende del ordenamiento estructural natural del suelo que incluye el volumen de los poros; por esta razón, la muestra se toma presionando un cilindro metálico de volumen conocido que posteriormente se somete a secado a 105 °C durante 24 horas. Se determina con la siguiente ecuación (USDA, 1999):

$$Densidad\ aparente = \frac{masa\ (g)\ de\ la\ muestra\ seca}{volumen\ (ml)\ del\ cilindro}$$

2.5. Propiedades químicas

2.5.1. pH

El pH tiene mucha importancia en los suelos ya que influyen en el aprovechamiento de los nutrimentos mayores y menores. En los suelos ácidos hay generalmente buenas cantidades de elementos menores disponibles, con la posible excepción del molibdeno y la poca disponibilidad del fósforo y bases de cambio.

La acidez del suelo está determinada por los iones hidrogeno (H⁺) que se encuentran en la solución del suelo y se denomina acidez activa. Mientras mayor cantidad de iones hidrógeno se encuentran en la solución del suelo, mayor será la acidez. El

hidrógeno y el aluminio retenidos sobre la arcilla y sobre el humus del suelo, son los iones que permanecen en su estado intercambiable, suele designarse con el nombre de acidez en reserva o potencial. Tanto la acidez activa como la potencial deben tenerse en cuenta al considerar la acidez total del suelo.

Cuando se determina el valor del pH, la concentración del ion H^+ en solución es la que determina la acidez del suelo, si existe H^+ en solución, debe estar en equilibrio con el H^+ intercambiable y con el hidrógeno no intercambiable (Navarro *et al*, 2013).

2.5.2. Materia orgánica

Se considera a la materia orgánica del suelo como un continuo de compuestos heterogéneos con base de carbono, que están formados por la acumulación de materiales de origen animal y vegetal parcial o completamente descompuestos en continuo estado de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente y/o químicamente, del conjunto de microorganismos vivos y muertos y de animales pequeños que aún faltan descomponer. (Melendez y Soto, 2003).

Los residuos orgánicos sin descomponer están formados por: hidratos de carbono simples y complejos, compuestos nitrogenados, lípidos, ácidos orgánicos (cítrico, fumárico, málico, malónico, succínico); polímeros y compuestos fenólicos (ligninas, taninos, etc.) y elementos minerales. Todos estos componentes de la materia viva sufren una serie de transformaciones que originan lo que conocemos como materia orgánica propiamente dicha. En el suelo coinciden los materiales orgánicos frescos, las sustancias en proceso de descomposición (hidratos de carbono, etc.) y los productos resultantes del proceso de humificación. Todos ellos forman la materia orgánica del suelo. (Melendez y Soto, 2003).

La materia orgánica es la principal fuente de nitrógeno, fósforo, azufre y algunos elementos menores. Tiene un efecto positivo sobre las propiedades físicas del suelo aumentando la capacidad amortiguadora y mejorando la capacidad de intercambio catiónico. La materia orgánica del suelo se calcula indirectamente determinando el carbono orgánico (León y Aguilar, 1987).

2.5.3. Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento esencial para todos los seres vivos. Además de ser un componente específico de las proteínas está presente en la mayor parte de las combinaciones orgánicas de las plantas y es totalmente volátil por calcinación.

En el momento actual está suficientemente demostrado que el nitrógeno es el factor limitante más común del crecimiento de las plantas, y que un deficiente suministro puede provocar notables descenso en la producción vegetal, fuente ésta, directa o indirecta, de las sustancias proteicas que aseguran la nutrición del hombre y de los animales en general (Perdomo y Doderá, 1992).

2.5.3.1. Origen, contenido y formas

Si se exceptúa el caso de las leguminosas y de algunos otros organismos vegetales muy concretos, capaces de fijar el nitrógeno molecular atmosférico por la vía simbiótica microbiana, y las pequeñas cantidades de amoníaco gaseoso que las partes aéreas de las plantas pueden fijar de la atmósfera en determinados momentos, es en el suelo donde la mayor parte de las plantas cultivadas encuentran el nitrógeno que le es necesario.

Las proteínas y compuestos con ellas relacionados, que constituyen en gran parte la materia nitrogenada depositada en el suelo a la muerte del vegetal, junto con la añadida al mismo de otras procedencias, directamente de poco valor para las plantas superiores. Pero este material, por la acción de los microorganismos del suelo, es degradado y transformado sucesivamente, mediante un conjunto de procesos químicos y bioquímicos, dando lugar a productos simples, que aparecen casi siempre en forma de compuestos amónicos, nitrosos y nítricos. Bajo estas formas, y mediante su sistema radicular, la planta absorbe el nitrógeno que le es necesario para la síntesis de sus tejidos. Aproximadamente, se considera que este elemento constituye el 2% en peso seco de las plantas.

Los mayores contenidos de nitrógeno en las plantas se encuentran en los tejidos jóvenes. En estos, el porcentaje suele oscilar entre el 5,5 y 6,5% en peso seco. A medida

que la planta avanza en edad, la proporción de celulosa aumenta, el porcentaje de nitrógeno disminuye y se eleva la relación C/N. Las hojas suelen ser más ricas en nitrógeno, pero su valor disminuye durante la floración. De todas las especies, las leguminosas son las que están mejor provistas de nitrógeno (Navarro y Navarro, 2013).

En la planta el nitrógeno se encuentra fundamentalmente bajo forma orgánica. Las materias nitrogenadas de reserva están esencialmente constituidas por proteínas, que difieren según las especies vegetales. Pero el nitrógeno no se encuentra solo bajo la forma proteica, sino también en forma de compuestos más simples, que constituyen los intermediarios entre los compuestos nitrogenados minerales absorbidos y las sustancias proteicas de síntesis. Así, el nitrógeno se encuentra en moléculas tan importantes como las purinas, pirimidinas, porfirinas, vitaminas, alcaloides y enzimas.

En los órganos vegetales, tales como las hojas, se encuentra al lado de proteínas cloroplastidiales o citoplasmáticas, del 20 a 40 % de nitrógeno bajo la forma soluble, en gran parte como aminoácidos libres, y también como aminoácidos amidados (asparragina y glutamina). Bajo estas formas, las sustancias nitrogenadas sintetizadas en la hoja constituyen a la síntesis de las proteínas.

El nitrógeno puede hallarse en la planta bajo las formas inorgánicas, compuestos amónicos, nitritos y nitratos, pero solamente constituyendo una pequeña proporción del total. Los nitratos se encuentran siempre en anomalías metabólicas que impiden la síntesis proteica. El tallo de la planta parece ser el lugar preferente de almacenamiento. Los valores máximos suelen observarse en el periodo que precede inmediatamente a la floración (Stevenson, 1982).

2.5.3.2. Funciones del nitrógeno en la planta

Las grandes funciones del nitrógeno en la planta hay que considerarlas sobre la base de su participación como constituyente de un gran número de compuestos orgánicos que son esencialmente en su metabolismo. Además de formar parte, como ya lo hemos visto, de la estructura de todas las proteínas y de moléculas tan importantes como las purinas y las pirimidinas, es componente de los ácidos nucleicos (ADN y ARN),

básicos para la síntesis proteica. El nitrógeno se encuentra también como constituyente de las clorofilas y enzimas del grupo de los citocromos, indispensables para la fotosíntesis y respiración.

2.5.3.3. El nitrógeno en el suelo

Bajo condiciones naturales, el nitrógeno del suelo no proviene de la degradación de la roca madre. Todo el que normalmente se encuentra en él deriva, en última instancia, del que existe en la atmósfera terrestre a través de los distintos procesos de fijación, fundamentalmente de tipo biológico (Navarro y Navarro, 2013).

La transformación del nitrógeno molecular atmosférico en nitrógeno del suelo utilizable actual o potencialmente por las plantas, se realiza principalmente según dos procesos: 1º) El nitrógeno puede oxidarse y pasar a la forma de óxidos, por acción de las descargas eléctricas, y estos compuestos, a su vez, trasladados al suelo por la lluvia y depositados en el como ácido nitroso o nítrico. 2º) Fijación biológica, es decir, por medio del conjunto de reacciones gracias a las cuales los organismos vivos integran el nitrógeno molecular en sus estructuras como componente de diversos compuestos. Ciertos microorganismos que viven libremente en el suelo, y otros que viven simbióticamente con determinadas plantas (principalmente leguminosas), son capaces de realizar esta incorporación; ambos grupos son los principales responsables de que se mantenga a un cierto nivel de nitrógeno contenido en el suelo.

La mayor parte del nitrógeno presente en los suelos minerales se encuentra, por tanto, formando parte de la materia orgánica que el suelo se deposita a la muerte de los citados microorganismos y de las plantas que de ellos se benefician. En esta forma el nitrógeno no es aprovechable por la planta. Sin embargo, tal como se indicó al considerar la planta este nitrógeno puede ser transformado y liberado bajo la forma de compuestos más sencillos, mediante un conjunto de procesos fundamentalmente de tipo bioquímico. Todos los suelos contienen en su seno una pequeña cantidad de nitrógeno en forma de compuestos relativamente simples como aminoácidos, sales amónicas y nitratos. De estos compuestos, especialmente las sales amónicas y nitratos es de donde las plantas obtienen su nitrógeno.

Todo lo expuesto debe aceptarse tan solo en condiciones naturales. Pero en los suelos cultivados, el nitrógeno puede aparecer también por la adición que el hombre realiza de fertilizantes nitrogenados obtenidos sintéticamente a partir del nitrógeno atmosférico o mediante la adición, también de residuos orgánicos de diversa procedencia. Estos hechos explican el por qué el nitrógeno total presente en los suelos cultivados puede variar entre límites bastante amplios, entre 0,01% y 0,5% y a veces más, aunque lo más frecuente es que oscile alrededor de 0,1%. En general, puede decirse que la mayoría de los suelos cultivados no son suficientemente ricos en nitrógeno. Los suelos ricos son una excepción, salvo donde hay una acumulación de materia orgánica por falta de mineralización (Navarro y Navarro, 2013).

2.5.3.4. Dinámica del nitrógeno en el suelo

En todos los suelos, y de forma continua, existen considerables entradas y salidas de nitrógeno, acompañadas de muchas transformaciones complejas. Algunos de estos cambios pueden controlarse más o menos por el hombre, mientras otros procesos constituyen una parte importante del ciclo general del nitrógeno en la naturaleza.

El nitrógeno presente en suelos cultivables procede de materiales diversos: restos de cultivos, abonos verdes, estiércol, fertilizantes comerciales y nitratos aportados por lluvias, así como por la fijación del nitrógeno atmosférico realizada por ciertos microorganismos. (Navarro y Navarro, 2013).

2.5.4. Fósforo

2.5.4.1. Contenido, formas y compuestos importantes en la planta

El fósforo se encuentra en todos los tejidos de la planta en una concentración variable, según la parte del aparato vegetativo que se considere. Su valor medio, expresado en P_2O_5 , puede situarse entre 0,5 y 1 % de materia seca.

La mayor parte lo absorben las plantas en forma de PO_4H_2 , y en menor proporción como PO_4H-2 . De hecho, la absorción del primero es diez veces más rápida que la del

segundo, aunque hay que tener en cuenta que en ello influye notablemente el pH del suelo.

Bajo la forma de fosfatos, principalmente de potasio y magnesio, se le encuentra en pequeña proporción. Mayoritariamente se halla formando parte de una gran variedad de combinaciones orgánicas integradas en los grupos: fosfolípidos, fosfoprotidos y fosfoglicidos (Khasawneh, 1980).

2.5.4.2. Origen, contenido y formas del fósforo en el suelo

Diferentemente al nitrógeno, que como ya se ha visto puede incorporarse a los suelos por medio de la fijación bioquímica por microorganismos, el fósforo no tiene tal ayuda microbiana. Este elemento procede solo de la descomposición de la roca madre durante el proceso de la meteorización, y representa alrededor del 0,1% de la corteza terrestre. Su contenido, pequeño en las rocas primitivas o sedimentarias (0,03-0,08%), es notablemente más elevado en las rocas volcánicas (0,1-0,3%), las cuales constituyen la fuente original del fósforo, y en donde se le encuentra sobre todo como inclusiones apatíticas. Estas formas fosfatadas, a la demolición de las rocas, se han ido concentrando en yacimientos más o menos importantes sobre la superficie del globo.

Los geólogos admiten, en general, que los mayores depósitos de fosfatos, los sedimentarios, son de origen orgánico. Tales depósitos pueden haberse formado en el fondo del mar. En efecto, el agua oceánica contiene indicios de fosfatos (0,1 ppm como término medio), que los organismos marinos se apropian y almacenan en sus cuerpos. Al morir, sus restos se acumulan en el fondo del mar, y al descomponerse la materia orgánica y perderse parte de los carbonatos solubles, el fósforo se concentra bajo la forma de fosfatos.

En algunos casos las capas de fosfatos calizos han sido elevadas, posteriormente, por movimientos tectónicos sobre el nivel del mar, concentrándose aún más sus fosfatos calizos han sido elevadas, posteriormente, por movimientos tectónicos sobre el nivel del mar, concentrándose aún más sus fosfatos por la lixiviación de los carbonatos más

solubles. Se cree que este es el origen de los fosfatos del sudeste del EE.UU. En algunos de estos depósitos se encuentran todavía huesos y dientes de peces prehistóricos.

La cantidad del fósforo total del suelo, expresada como P_2O_5 , en raras ocasiones sobrepasa el valor del 0,5% (1500 ppm o 3360 kg/ha), y puede clasificarse, en general, como inorgánico y orgánico.

El fósforo inorgánico es casi siempre predominante, excepto en los suelos donde la materia orgánica se halla en una gran proporción. El orgánico suele ser mayor en las capas superficiales que en el subsuelo, debido a la acumulación de materia orgánica en las mismas. Debe indicarse también, en cuanto al contenido total, que generalmente suele ser más alto en los suelos jóvenes vírgenes y en las áreas donde las lluvias no son excesivas. En los suelos cultivados, debido a que poco de este elemento se pierde por lixiviación, y de que las eliminaciones por cosechas son generalmente pequeñas, tiende a acumularse en las capas superficiales.

Son muy numerosos los compuestos inorgánicos que se encuentran en los suelos. Pero la mayor parte pueden clasificarse en dos grupos: 1°) Los que contienen calcio; 2°) Los que contienen hierro y aluminio. Los primeros son los que verdaderamente predominan y los que, bajo un punto de vista agronómico, tienen mayor importancia.

El fósforo orgánico que ha sido identificado específicamente en el suelo se encuentra, sobre todo, bajo tres formas más o menos degradadas: fosfolípidos, ácidos nucleicos y fitina y derivados. Constituyen, junto a otros compuestos no identificados, entre el 20 y 80% del fósforo total del suelo, pero su proporción en la disolución del suelo es probablemente pequeña.

La exportación de fósforo por los cultivos, según datos obtenidos a este respecto, suele oscilar, por término medio, entre 4 y 6 kg/ha la cantidad de 6 kg/ha es aproximadamente el 0,4% del contenido medio de fósforo en la capa arable de un suelo cultivado. Estos valores son notablemente más bajos que los correspondientes al nitrógeno (28 kg/ha, aproximadamente el 0,9% del contenido de la capa arable). En aquellos suelos donde se practica un cultivo intensivo, la eliminación de fósforo puede

ser más elevada, y debe ser compensada con la adición de fertilizantes (Navarro y Navarro, 2013).

2.5.4.3. Pérdidas del fósforo del suelo por erosión

Aunque el fósforo sustraído por la erosión incluye una notable cantidad de compuestos relativamente no utilizables por las plantas, la cantidad de fósforo utilizable en el material erosionado suele ser notable. esto se debe a que las partículas finas del suelo donde se encuentra el fosforo son levantadas más fácilmente que las partículas gruesas. además, ordinariamente es más adecuado para las plantas el fósforo situado en las capas superficiales del suelo que el de las capas inferiores. por esta razón, no es sorprendente que los suelos erosionados resulten deficientes en fosforo y requieren cantidades mayores de fertilizantes fosfatados que los suelos que han sufrido poca erosión (Conti, 1998)

2.5.4.4. Ciclo del fósforo en la naturaleza y su problema bajo el punto de vista agrícola

La problemática del fosforo en el suelo, contemplada dentro del ciclo total del elemento en la naturaleza permite señalar, en un análisis final, hechos importantes bajo el punto de vista agronómico:

- Una cantidad total pequeña se encuentra normalmente presente en los suelos.
- Falta de aprovechamiento del fosforo natural, ya que casi en su totalidad no es utilizado por la planta.
- Insolubilización amplia cuando se añaden al suelo fertilizantes solubles.
- Necesidad de añadir altas dosis de fertilizantes para una baja utilización por la planta.
- Pérdidas económicas por el motivo anterior.

2.5.5. El potasio en la planta

2.5.5.1. Contenido y formas del potasio en la planta

El potasio es absorbido por las raíces bajo la forma de K^+ , y es un elemento siempre importante cuantitativamente en las cenizas vegetales, bajo la forma de óxido potásico (Vázquez y Bautista, 1993).

Su contenido en la planta puede fluctuar ampliamente, dependiendo de la especie, del órgano que se considere y del contenido asimilable del suelo.

Es el principal catión presente en los jugos vegetales, pudiendo encontrarse bajo la forma de sales orgánicas (oxalatos, tartratos), sales minerales (fosfatos, nitratos) y de combinaciones complejas inestables con los coloides celulares. No hay evidencia de que forme parte de la estructura molecular de las células. se admite que se encuentra en estado ionizado en todos los órganos de la planta, y ello justifica la facilidad de su paso de una parte a otra. en las hojas de las plantas superiores, un 30% se encuentra en los coloides del citoplasma y un 70% en sus vacuolas.

Los tejidos jóvenes y sanos lo retienen bastante enérgicamente, y en estas condiciones se difunde lentamente en agua fría; pero en los tejidos viejos o alterados, puede haber pérdidas por lavado de los órganos aéreos bajo la acción de las lluvias. el agua hirviendo puede extraerlo casi en su totalidad cuando se trata de plantas verdes. esta característica ratifica que la mayor parte del potasio se encuentra en la planta bajo la forma de combinaciones solubles en agua o fácilmente dissociables, asegurando así su movilidad (Navarro y Navarro, 2013).

2.6. Especies arbóreas

Un árbol es una planta, de tallo leñoso, que se ramifica a cierta altura del suelo. El término hace referencia habitualmente a aquellas plantas cuya altura supera un determinado límite en la madurez, diferente según las fuentes: dos metros, tres metros, cinco metros o los seis metros. Además, producen ramas secundarias nuevas cada año, que parten de un único fuste o tronco, con clara dominancia apical, dando lugar a una

nueva copa separada del suelo. Algunos autores establecen un mínimo de 10 cm de diámetro en el tronco (la longitud de la circunferencia sería de unos 30 cm). Las plantas leñosas que no reúnen estas características por tener varios troncos o por ser de pequeño tamaño son consideradas arbustos (Carabaza *etal.*, 2004).

2.7. Especies arbóreas leguminosas

Las fabáceas leguminosas son una familia del orden de las fabales. Reúne árboles, arbustos y hierbas perennes o anuales, fácilmente reconocibles por su fruto tipo legumbre y sus hojas compuestas y estipuladas. Es una familia de distribución cosmopolita con aproximadamente 730 géneros y unas 19.400 especies, lo que la convierte en la tercera familia con mayor riqueza de especies después de las compuestas (Asteraceae) y las orquídeas (Orchidaceae) (FAO, 2016).

2.7.1. Distribución y hábitat

Es una familia de distribución cosmopolita. Los árboles son más frecuentes en las regiones tropicales, mientras que las hierbas y los arbustos dominan en las extratropicales.

2.7.2. Fijación biológica del nitrógeno

La fijación biológica se da por un grupo de bacterias mutualistas que forman asociaciones con las plantas. A esta asociación en la que existe un mutuo beneficio se llama simbiosis. Uno de los grupos bacterianos más conocidos que comprende los fijadores de nitrógeno son los *Rhizobium*. Cuando las barbas absorbentes de una raíz entran en contacto con una de estas bacterias, la barba se ensortija y las paredes de la célula se disuelven bajo la influencia de las enzimas formando un nódulo. Una vez dentro del nódulo obtiene los nutrientes necesarios (compuestos del carbono) y el oxígeno de la planta hospedera; a su vez la planta hospedera recibe compuestos nitrogenados producidos por la bacteria a partir del nitrógeno gaseoso de la atmósfera del suelo. Este proceso es llamado fijación simbiótica del nitrógeno. Cuando las raíces de la planta hospedera se descomponen los compuestos nitrogenados quedan disponibles para otros microorganismos y plantas (FAO, 2016).

La nodulación prosperó ampliamente dentro de las leguminosas; se encuentra presente en la mayoría de sus miembros que se especializaron en la asociación exclusiva con rizobios. La nodulación está presente en todas las subfamilias de leguminosas, pero es menos frecuente en la subfamilia Caesalpinioideae. La subfamilia Papilionoideae es la que presenta todos los tipos de nódulos: indeterminado (conserva el meristemo), determinado (no conserva el meristemo) y el tipo de *Aeschynomene*. Los dos últimos, sólo están presentes en algunas líneas de la subfamilia Papilionoideae, por lo que son consideradas como los tipos de nódulos más modernos y especializados. Aunque la nodulación es abundante en las dos subfamilias monofiléticas Papilionoideae y Mimosoideae, también existen ejemplos de especies no nodulantes. La presencia y ausencia de especies nodulantes dentro de las tres subfamilias indica que la nodulación surgió varias veces en el transcurso de la evolución de las leguminosas y que se ha perdido en algunos linajes. Por ejemplo, dentro del género *Acacia*, miembro de Mimosoideae, *A. pentagona* no tiene la capacidad de nodular, mientras que otras especies del mismo género lo hacen de modo promiscuo, como es el caso de la ya citada *Acacia senegal* que es nodulada por rizobios de rápido y lento crecimiento (Greulach, 1990).

2.8. Características pedogenéticas de la madera rameal fragmentada

Según Lemieux y Furlan (1997), la Madera Rameal Fragmentada o MRF se produce a partir de ramas que tengan un diámetro inferior a 7 cm. Estas son fragmentadas en pequeños pedazos de 1 a 10 cm de longitud los cuales se prestan bien a una invasión de hongos basidiomicetos. Estos hongos transforman la MRF transfiriendo los nutrientes hacia la biomasa microbiana y contribuyen a la despolimerización de la lignina joven. Esta vía conduce a la formación de humus, de los ácidos húmico y fúlvico, la base misma de la pedogénesis y de la constitución de las cadenas tróficas.

2.8.1. Fuentes y propiedades de la madera rameal fragmentada

Lemieux y Furlan (1997), mencionan que la madera rameal fragmentada se produce esencialmente a partir de las ramas de las plantas leñosas utilizando partes que no tienen, o tienen poca, utilidad como leña o madera. Sin embargo, se ha comprobado

que, desde el punto de vista biológico, es justamente esas partes las que contienen numerosos compuestos (ejemplos: celulosas, hemicelulosas, lignina, proteínas, glúcidos, fitohormonas) que serán transformadas en formas simples o complejas por los microorganismos del suelo.

Al mismo tiempo, se vuelven disponibles los elementos minerales (ejemplos: NO^{-3} , NH^{+4} , $\text{H}_2\text{PO}_2^{-4}$ o HPO_2^{-4} , K^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , y orgánicos tales como las enzimas, etc.). Todas estas sustancias, puestas en circulación en el suelo, son indispensables para el crecimiento de los vegetales, la constitución de las cadenas tróficas lo mismo que para la estructuración del suelo por un conjunto de mecanismos propios de la pedogénesis. Idealmente, la MRF debe ser incorporada al suelo tan pronto sea producida. Es necesario evitar la fermentación por vía de la formación de "compost" (Lemieux y Furlan, 1997).

Lemieux (2013), menciona que los trabajos realizados en los últimos 20 años utilizando la madera de rama fragmentada, tanto en agricultura como en forestal han demostrado un aumento de rendimientos y modificaciones sustanciales en las tierras tratadas tanto en climas templados como en climas tropicales. Aunque sea imposible aportar todas las pruebas necesarias para sugerir su aplicación inmediata, podemos testear una serie de hipótesis a mayor escala.

2.9. Origen y composición de la materia orgánica del suelo

El suelo recibe una gran cantidad de restos orgánicos de distinto origen, entre estos, restos de las plantas superiores que llegan al suelo de dos maneras: se depositan en la superficie (hojas, ramas, flores, frutos) o quedan directamente en la masa del suelo (raíces al morir). Otras dos fuentes importantes son el plasma microbiano y los restos de la fauna habitante del suelo.

2.10. Descomposición de la materia orgánica en el suelo

Cualquier residuo orgánico (animal o vegetal) incorporado al suelo es transformado por los microorganismos en forma gradual y con liberación de energía (calor) hasta la liberación de los nutrientes minerales en él contenidos. En el proceso de descomposición del total de la materia orgánica incorporada al suelo, el 65 % se pierde

como CO₂, H₂O, energía, etc. Sólo el 35 % pasa a formar sustancias orgánicas humificadas, el cual es utilizado en la síntesis microbial, culminando en el proceso de mineralización (Chilon, 1997).

2.11. Carbono orgánico

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69,8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001). El suelo puede actuar como fuente o reservorio de C dependiendo de su uso y manejo. Se estima que desde que se incorporan nuevos suelos a la agricultura hasta establecer sistemas intensivos de cultivo se producen pérdidas de COS que fluctúan entre 30 y 50% del nivel inicial (Reicosky, 2002).

El carbono orgánico del suelo, COS, afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas con su: 1) calidad, 2) sustentabilidad, 3) capacidad productiva por lo que, en un manejo sustentable, el carbono orgánico del suelo debe mantenerse o aumentarse (Carter *et al.*, 1997).

2.11.1. Carbono orgánico y propiedades químicas del suelo

2.11.1.1. Efecto sobre la reacción del suelo

La materia orgánica del suelo afecta la reacción del suelo (pH) debido a los diversos grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo. Wong *et al.* (2000) incubaron dos suelos, Oxisol (4,5 % COS) y Ultisol (2,6% COS), con poda de ramillas de árboles observándose durante los primeros 14 días un aumento en pH de 4,8 a 5,8 en el Oxisol y de 4,1 a 6,8 en el Ultisol junto a una disminución del Al intercambiable. Para el Ultisol el mejor predictor de los cambios de pH fue el contenido total de bases de las ramillas. Los autores propusieron que el mecanismo de neutralización de la acidez se debe a una complejación de protones y Al mediante aniones orgánicos (Porta y Poch, 2008).

2.11.1.2. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La CIC, es una propiedad química del suelo estrechamente vinculada a su fertilidad, depende de los coloides inorgánicos (arcillas cristalinas, geles amorfos, óxidos y sesquióxidos de hierro y aluminio) y del contenido de MOS. La mayoría de los suelos tienen una carga permanente y otra carga que varía con el pH, observándose un aumento de la CIC con el pH, por lo que la CIC total se mide a pH 8,2. Se considera que la CIC permanente proviene de la fracción arcilla, mientras que la CIC variable depende de las sustancias húmicas (Krull *et al.*, 2004).

2.11.2. Carbono orgánico y propiedades físicas del suelo

2.11.2.1. Agregación del suelo

El carbono orgánico del suelo tiene un efecto importante en la agregación de las partículas del suelo (Follett y Stewart, 1985), existiendo una relación entre tamaño de los agregados y contenido de COS. Mientras mayor es el contenido de COS lábil, mayor es el tamaño de los agregados (Buyanovsky *et al.*, 1994).

2.11.2.2. Porosidad y retención de agua en el suelo

La estructura del suelo involucra la forma, grado y tamaño de los agregados. En consecuencia, la estructura del suelo afecta la porosidad y por lo tanto, la retención y disponibilidad de agua, además de su capacidad para contener aire (Acevedo y Martínez, 2003). La porosidad afecta, además, el crecimiento de las raíces de los cultivos (Acevedo y Martínez, 2003). Porosidad y retención de agua son dos parámetros que se encuentran estrechamente vinculados ya que la capacidad de retención de agua en el suelo es dependiente del número de poros, de la distribución de tamaño de poros y de la superficie específica de cada suelo (Krull *et al.*, 2004).

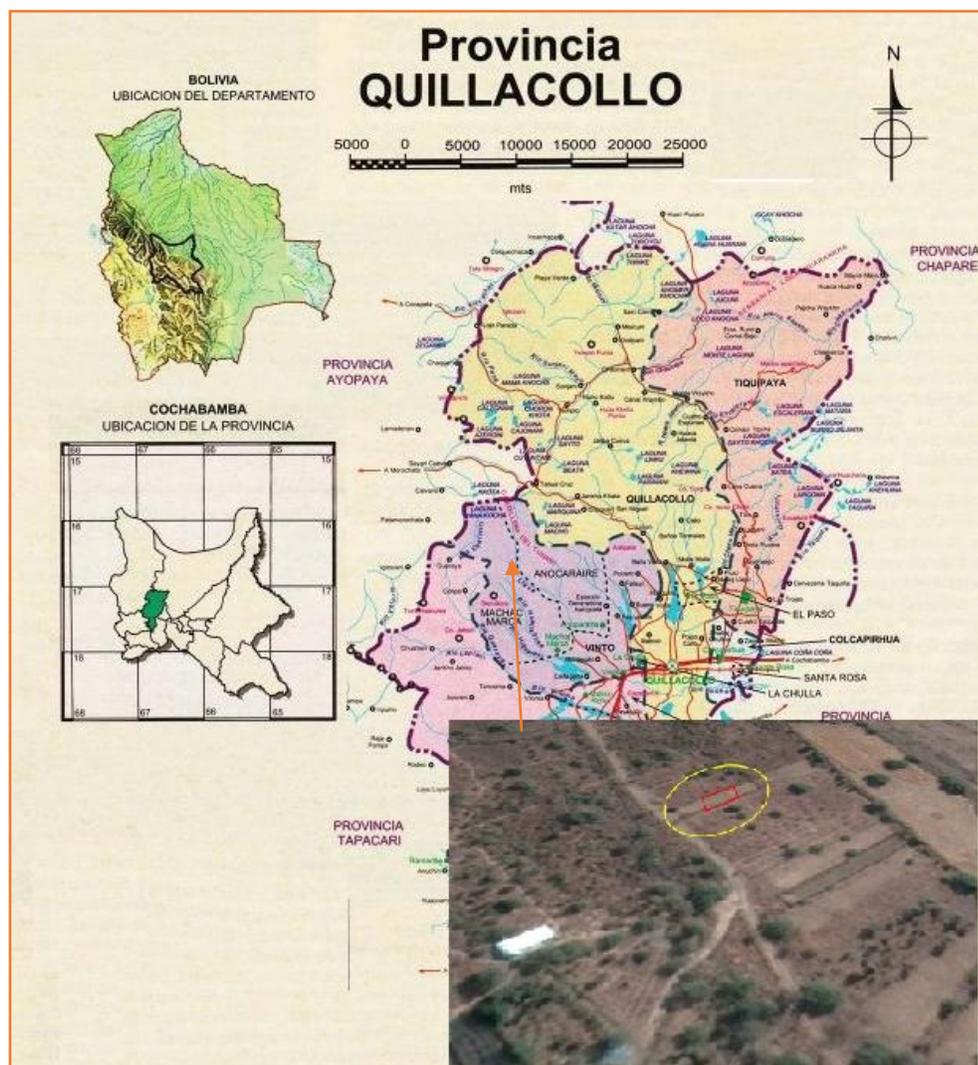
3. LOCALIZACIÓN

3.1. Ubicación geográfica

La investigación se realizó en el predio experimental Mollesneja y se sitúa en la comunidad Combuyo del municipio de Vinto cuarta sección municipal de la provincia de Quillacollo en el departamento de Cochabamba.

El predio está ubicado en la ladera de la Cordillera del Tunari a una altitud promedio de 2.500 m.s.n.m, geográficamente entre las coordenadas $66^{\circ}21,0839'$ al oeste del meridiano de Greenwich y $17^{\circ}21,2274'$ de latitud sur.

Figura 1. Ubicación de la parcela experimental



3.2. Comportamiento pluvial

El comportamiento pluvial de la zona de estudio corresponde a un clima semiárido con precipitaciones pluvial de 400 a 700 mm/año. (Stadler, 2010).

La precipitación total alcanzada durante el transcurso del experimento llegó a los 115,6 mm, siendo el mes con más precipitación marzo con 91,6 mm, al contrario, los meses sin precipitación fueron mayo y junio. El detalle de precipitación total/mes se muestra en el anexo 8.

3.3. Comportamiento térmico

Las temperaturas de la zona son características de una zona semiárida y templada, con temperaturas promedio de 18 °C, con mínimas de 0 °C en la época mas fría (junio y julio) y máximas de 28 °C (septiembre a diciembre).

Durante el experimento comportamiento térmico de la zona, presentó temperaturas promedio de 20,3 °C, que variaron entre 18,4 °C y 21,7 °C; tal como se muestra en la gráfica del anexo 9. La temperatura mínima más baja llegó a 0 °C y fue en el mes de junio y la temperatura máxima más elevada llegó a 29,7 °C y fue en el mes de septiembre.

3.4. Suelo

El terreno es muy pedregoso, presenta una textura franco arcillosa y anteriormente por la carga de ganado de pastoreo, el suelo había sido sumamente erosionado, mostrando cárcavas y deslizamientos (Stadler, 2010).

3.5. Flora

Entre las especies más representativas tenemos las siguientes especies silvestres:

Arbóreas: *Schinus molle* (molle), *Zanthoxylum coco* (chirimolle), *Dodonaea viscosa* (chacatea), *Inga sp.* (pacay), *Tecoma stans* (tecoma), *Jacaranda mimosifolia* (jacaranda), *Caesalpinia spinosa* (tara), *Tipuana tipu* (tipa).

Herbáceas: *Opuntia ficus-indica* (tuna), *Salvia tiliifolia* (salvia), *Festuca orthophylla* (paja brava), *Bidens pilosa* (muni muni), *Brassica rapa* (mostaza), *Zinnia peruviana* (Zinia).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Material experimental

Madera rameal fragmentada

- Especie leguminosa

La especie leguminosa empleada es el tagasaste *Chamaecytisus palmensis* (H.Christ) Hutch, Es una planta que puede presentar un porte más o menos arbóreo, o arbustivo, según el hábitat, características genéticas (ecotipos), o la poda que se aplique sobre él; con una altura media de 2,5 metros y una altura máxima de 6 metros.

Genera mucha masa vegetal, de tal forma que presenta una copa densa, con un tamaño que puede llegar también a los 6 metros de diámetro. Las hojas son trifoliadas, de color verde azulado. Las flores son de un color blanco cremoso, agrupadas en las axilas de las hojas. La legumbre es apretada, vellosa, de color negro al madurar con un número variable de semillas en cada vaina (de 8 a 16) y de color negro. No presenta espinas. Las semillas son muy pequeñas (45.000 semillas/kg), y germinan con dificultad, siendo necesario tostarlas o someterlas a un baño en agua hirviendo de menos de un minuto para obtener un porcentaje adecuado en la germinación.

- Especie no leguminosa

Tecoma *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth, es un arbusto perenne grande cuya principal característica es que durante el verano aparecen desnudos de hojas pero se llenan de numerosas flores amarillas, naranjas o rojizas, aportando una gran riqueza cromática al bosque tropical. Hojas pinnadas o simples de borde serrado. Su polinización se realiza principalmente por colibríes. Se distribuyen principalmente por los valles secos andinos y por los bosques costeros intertropicales. Se cultivan en numerosas partes del mundo, por su bella floración, para adornar calles y jardines, aunque también es muy apreciada su madera de un color pálido amarillo, fina, densa, de fibras planas y de dureza media.

Las hojas y raíces de tecoma contienen compuestos bioactivos, especialmente monoterpenos, con usos medicinales. Tiene potencial invasor y ocasionalmente se

convierte en maleza. Rápidamente coloniza campos disturbados, rocosos, arenosos, y aclareados.

4.1.2. Materiales de campo

- Los materiales de campo usados en el estudio fueron: maquina fragmenadora, tijeras de podar, carretilla, cuaderno de campo, picota, barreno, pala, rastrillo, marbetes, lápiz, recipientes de 20 litros, cinta métrica de 50m, bolsas de polietileno, envases de plástico, cuerda plástica, cámara fotográfica, marcadores.

4.1.3. Materiales de gabinete

- Análisis de suelos, Computadora, Material de escritorio, Software estadístico S.A.S.

4.2. Procedimiento de investigación

El presente trabajo se llevó a cabo en dos etapas, la primera etapa fue de observación en campo y duró 6 meses, y la segunda etapa fue de gabinete ambos desarrollados de forma secuencial.

4.2.1. Primera etapa: Labores de campo y seguimiento de la investigación

Preparación del terreno

La preparación del terreno fue manual, y realizado en el mes de enero, un mes antes de la incorporación de madera rameal fragmentada. Se removió el suelo a una profundidad aproximada de 25 a 30 cm, durante la remoción se encontró gran cantidad de piedras cuyos diámetros oscilan entre 5 y 10 cm, después de la limpieza del terreno con la ayuda de un rastrillo se niveló con una pendiente cercana a 0,5%.

Delimitación del terreno

Se trabajó con un área total de 51,3 m², para la medición de las unidades experimentales se utilizó un flexómetro y para su delimitación cuerdas, cada unidad

experimental tuvo un área total de 3,15 m² siendo las longitudes de sus lados 2,1 m y 1,5 m.

Incorporación de madera rameal fragmentada

Para esta actividad previamente se tuvo que podar las ramas de los árboles con diámetros menores a 1 pulgada de especie leguminosa y no leguminosa, las especies que se emplearon fueron tecoma *Tecoma stans* (especie no leguminosa) y tagasaste *Chamaecytisus palmensis* (especie leguminosa).

Después de realizarse la poda se procedió a la fragmentación en una máquina marca Eliet® modelo Major 4S V2, con potencia de 9 HP y de procedencia europea.

Una vez obtenida la madera rameal fragmentada se la incorporó al suelo a una profundidad de 25 centímetros de tal forma que el sustrato presente una mezcla homogénea. La cantidad incorporada de MRF fue de 20 litros por metro cuadrado, esto de acuerdo a las dimensiones de la unidad experimental (3,15 m²) equivalen a 63 litros por unidad experimental.

Muestreo de suelos

El método de muestreo de suelos fue el que comúnmente se emplea en suelos agrícolas con el fin de evaluar su fertilidad, es decir, a una profundidad de 20 cm.

El muestreo de suelos se realizó en cada unidad experimental y consistió en tomar cuatro sub-muestras con un cilindro casero (ver anexos) posteriormente, de la muestra resultante se extrajo 1 kg de suelo con su respectiva identificación y finalmente se la embolso para su análisis en laboratorio.

4.2.2. Segunda etapa: Obtención de resultados y análisis en gabinete

Propiedades químicas y físicas

En la obtención de resultados de las propiedades químicas y físicas, se tomaron muestras de suelo de las diferentes unidades experimentales y se llevaron al laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad Mayor de San Simón en el departamento de

Cochabamba, tras llevar las muestras de suelo de interés, nos proporcionaron datos en dos etapas del experimento, la primera antes de la aplicación de madera rameal fragmentada y la segunda etapa después de la aplicación de madera rameal fragmentada.

4.3. Metodología

4.3.1. Diseño experimental

En el presente trabajo se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones de dos tratamientos y un tratamiento testigo.

Se optó por este diseño porque podemos ejercer cierto control en el error experimental debido a variaciones transmitidas por factores externos, en este caso la sombra proyectada por algunos árboles.

4.3.2. Modelo lineal aditivo

El modelo lineal aditivo empleado en el presente estudio fue el siguiente (Ochoa, 2008):

$$Y_{ij} = u + \beta_i + T_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = cualquier observación.

u = media poblacional.

β_i = efecto del i -ésimo bloque.

T_j = efecto del j – ésimo tratamiento.

ε_{ij} = error experimental.

4.3.3. Descripción de los tratamientos a estudiar

Los tratamientos empleados en la aplicación de madera rameal fragmentada fueron los siguientes:

T_0 = Sin aplicación de madera rameal fragmentada

T1 = Aplicación de madera rameal fragmentada (20 l/m²) proveniente de árbol leguminoso tagasaste *Chamaecytisus palmensis*

T2 = Aplicación de madera rameal fragmentada (20 l/m²) proveniente de árbol no leguminoso tecomá *Tecoma stans*

4.3.4. Croquis del experimento



B I	B II	B III	B IV
T2	To	T1	To
T1	T2	To	T2
To	T1	T2	T1

Dónde: To = testigo; T1 = MRF leguminosa; T2 = MRF no leguminosa

4.3.5. Variables de respuesta

4.3.5.1. Variables evaluadas del suelo

Para la obtención de los datos de variables del suelo se tomaron muestras de cada una de las unidades experimentales con tratamiento, para posteriormente llevarlo al laboratorio de Suelos y Aguas perteneciente a la Universidad Mayor de San Simón en la ciudad de Cochabamba. Las variables de respuesta evaluadas fueron las siguientes:

Variable	Método
Análisis químico	
Nitrógeno total	KJELDAHL
Fósforo disponible	OLSEN modificado
Potasio disponible	Extrac- Acetato de Amonio pH: 7, Fotometria de Abs. de llama
Materia orgánica	WALKLEY-BLACK
pH	Potenciometría
Análisis físico	
Textura	Hidrómetro (Bouyoucos)
Densidad aparente	Anilla

5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la interpretación de los resultados se tomó en cuenta los parámetros físicos y químicos del suelo, que son de vital importancia para verificar los cambios que se dieron tras la aplicación de madera rameal fragmentada. Para esta parte se presentan los resultados de parámetros físicos y químicos al inicio del experimento, y también al final del experimento.

5.1. Evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo

A continuación, se desglosan los resultados para las propiedades físicas y químicas de los suelos evaluados. Todos los resultados pertenecen a suelos muestreados a una profundidad de 0,20 m.

5.1.1. Propiedades físicas

En los cuadros siguientes se presentan los valores de las propiedades físicas evaluadas antes y después de la aplicación de madera rameal fragmentada en el suelo.

Cuadro 2. Características físicas del suelo en el estrato 0 a 20 cm antes de la aplicación de madera rameal fragmentada.

Tratamiento	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura*	Dap (g/cm ³)
Testigo	40	38	22	Franco	1,69

*USDA (1999).

Cuadro 3. Características físicas del suelo en el estrato 0 a 20 cm después de la aplicación de madera rameal fragmentada.

Tratamiento	Bloque	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura*	Dap (g/cm ³)
MRF-L	1	40	32	28	Franco-arcillosa	1,43
MRF-L	2	41	34	25	Franco	1,54
MRF-L	3	42	34	24	Franco	1,41
MRF-L	4	41	33	26	Franco	1,54
MRF-NL	1	39	34	27	Franco-arcillosa	1,23
MRF-NL	2	40	32	28	Franco-arcillosa	1,44
MRF-NL	3	42	32	26	Franco	1,48
MRF-NL	4	43	31	26	Franco	1,50
NO-MRF	1	40	38	22	Franco	1,69
NO-MRF	2	40	38	22	Franco	1,69
NO-MRF	3	40	38	22	Franco	1,69
NO-MRF	4	40	38	22	Franco	1,69

*USDA (1999).

5.1.1.1. Textura

La textura del suelo es la proporción relativa por tamaños de partículas de arena, limo y arcilla; las cuales al combinarse permiten categorizar al suelo en unas 12 clases texturales.

A continuación, se presenta los diferentes porcentajes de textura obtenidos para cada tratamiento:

Cuadro 4. Porcentajes de arena, limo y arcilla de cada tratamiento

BLOQUE	TRAT	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	Textura
1	NO-MRF	40	38	22	Franco-arcillosa
1	MRF-L	40	32	28	Franco
1	MRF-NL	39	34	27	Franco
2	NO-MRF	40	38	22	Franco
2	MRF-L	41	34	25	Franco-arcillosa
2	MRF-NL	40	32	28	Franco-arcillosa
3	NO-MRF	40	38	22	Franco
3	MRF-L	42	34	24	Franco
3	MRF-NL	42	32	26	Franco
4	NO-MRF	40	38	22	Franco
4	MRF-L	41	33	26	Franco
4	MRF-NL	43	31	26	Franco

La textura de los suelos muestreados está entre franco y franco arcillosa, estos resultados muestran aparentemente que las texturas de los diferentes tratamientos no sufrieron cambios significativos en sus proporciones de arena, limo y arcilla.

En los siguientes cuadros se presentan los análisis de varianza para las proporciones de arena, limo y arcilla.

Cuadro 5. Análisis de varianza para el porcentaje de arena

	GL	SC	CM	Pr > F	Significancia
BLOQUES	3	60.000	20.000	0.2156	NS
MRF	2	26.667	13.333	0.3318	NS
Error	6	60.000	10.000		
Total	11	146.667			

Coefficiente de variación = 2,46%.

El análisis de varianza para la proporción de arena no tuvo significancia, por lo tanto, se asume que la aplicación de madera rameal fragmentada no incide en la porción de arena del suelo evaluado.

Cuadro 6. Análisis de varianza para el porcentaje de limo

	GL	SC	CM	Pr > F	Significancia
BLOQUES	3	1.000	0.333	0.8195	NS
MRF	2	75.500	37.750	0.0005	*
Error	6	6.500	1.083		
Total	11	83.000			

Coefficiente de variación = 3,02 %

En el análisis de varianza para la proporción de limo de los tratamientos con madera rameal fragmentada se encontró diferencia significativa, por lo tanto, se realizó la prueba de Tukey.

Cuadro 7. Prueba de Tukey para el porcentaje de limo

Grupo Tukey	Media	Tratamiento
A	38	No MRF
B	33,25	Leguminosa
B	32,25	No leguminosa

En los resultados de la prueba de Tukey se observan dos agrupamientos, el primero con el tratamiento testigo y el segundo con los tratamientos de madera rameal fragmentada, por lo tanto, se observa que las proporciones de limo de los tratamientos con madera rameal fragmentada disminuyeron respecto a los valores al inicio del experimento.

Cuadro 8. Análisis de varianza para el porcentaje de arcilla

	GL	SC	CM	Pr > F	Significancia
BLOQUES	3	4.333	1.444	0.3840	NS
MRF	2	50.167	25.083	0.0020	*
Error	6	7.167	1.194		
Total	11	61.667			

Coefficiente de variación = 4,40%

En el análisis de varianza se encontró diferencia significativa entre tratamientos, por lo tanto, se realizó la prueba de Tukey para determinar las diferencias entre tratamientos.

Cuadro 9. Prueba de Tukey para la proporción de arcilla

Grupo Tukey	Media	Tratamiento
A	26,75	No leguminosa
B	25,75	Leguminosa
B	22	No MRF

Las proporciones de arcilla de los tratamientos con madera rameal fragmentada de leguminosas y no leguminosas, cambiaron respecto al tratamiento sin madera rameal fragmentada, siendo los promedios de T1 (MRF leguminosas) de 25,8% y T2 (MRF no leguminosas) de 26,8%; respecto a 22% de tratamiento sin madera rameal fragmentada.

En la siguiente gráfica podemos observar los promedios de arena, limo y arcilla de cada tratamiento:

Gráfica 1. Proporción promedio de arena, limo y arcilla de los tratamientos



La aplicación de MRF no produjo cambios en la proporción de arena, al contrario, la cantidad de arcilla en los tratamientos con MRF fue incrementada afectando de esta manera la cantidad de limo que por ende fue disminuido.

5.1.1.2. Densidad aparente

Los resultados obtenidos en la investigación de densidad aparente según análisis de laboratorio se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 10. Densidad aparente en g/cm³ de cada unidad experimental

	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
To (no MRF)	1,41	1,41	1,41	1,41
T1 (MRF legum)	1,43	1,54	1,69	1,54
T2 (MRF no legum)	1,46	1,44	1,48	1,5

En el análisis de varianza para la densidad aparente se encontró significancia entre tratamientos, en cuanto a bloques no se presenta significancia.

Cuadro 11. Análisis de varianza para densidad aparente

	GL	SC	CM	Pr > F	Significancia
BLOQUES	3	0.0278	0.0093	0.2685	NS
MRF	2	0.1676	0.0838	0.0045	*
Error	6	0.0330	0.0055		
Total	11	0.2284			

Coefficiente de variación = 4,86%

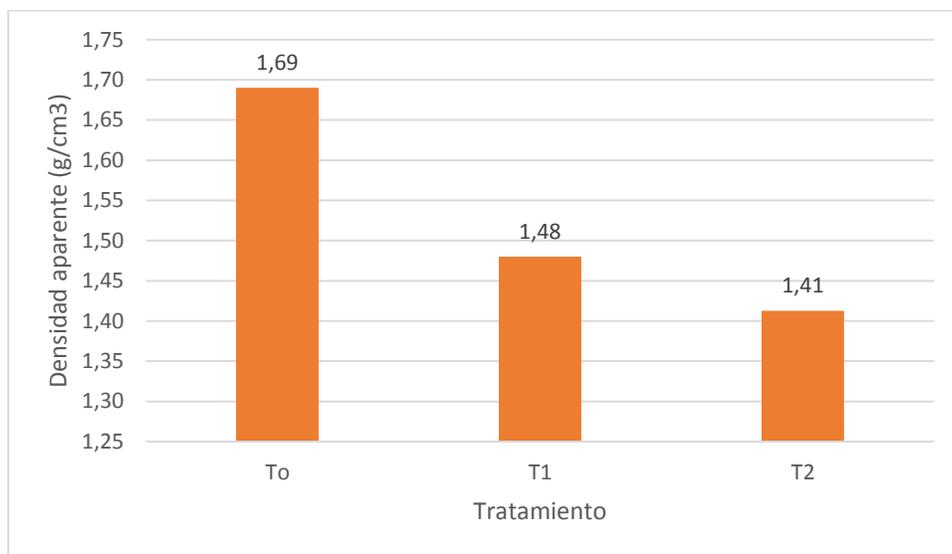
Debido a la existencia de significancia entre tratamientos se realizó la prueba Tukey, en la que se observa que los tratamientos con madera rameal fragmentada comparten un agrupamiento, ambos tratamientos disminuyeron la densidad aparente inicial de 1,69 g/cm³ a 1,48 g/cm³ y 1,41 g/cm³ con madera rameal fragmentada de leguminosa y no leguminosa respectivamente.

Cuadro 12. Prueba Tukey para Densidad aparente (g/cm³)

Grupo Tukey	Media	Tratamiento
A	1,69	No MRF
B	1,48	Leguminosa
B	1,41	No leguminosa

Para una mejor observación de los resultados obtenidos se presenta la gráfica 3 donde se muestra la densidad aparente de los diferentes tratamientos evaluados en la investigación.

Gráfica 2. Densidad aparente promedio de los tratamientos (g/cm³)



Como se muestra en la gráfica de arriba la diferencia entre tratamientos son notables, lo cual hace apreciar que la densidad aparente es modificada con la incorporación de madera rameal fragmentada, la función física de la materia orgánica es promover una buena estructura del suelo y la agregación de las fracciones del suelo que disminuyen la erosión, con lo que se deduce que la incorporación de madera rameal fragmentada favoreció la densidad aparente del suelo.

5.1.2. Propiedades químicas

En los cuadros siguientes se presentan los valores de las propiedades químicas evaluadas antes y después de la aplicación de madera rameal fragmentada en el suelo.

Cuadro 13. Características químicas del suelo en el estrato 0 a 20 cm antes de la aplicación de madera rameal fragmentada.

	pH	MO (%)	K disp (m-eq/100g Suelo)	N total (%)	P disponible (ppm)
Testigo	6,5	4,37	0,51	0,196	38,5

Cuadro 14. Características químicas del suelo en el estrato 0 a 20 cm después de la aplicación de madera rameal fragmentada.

Tratamiento	pH	MO* %	K disp (m-eq/100g Suelo)	N total (%)	P disponible (ppm)
MRF-L	6	5,83	0,95	0,271	52,70
MRF-L	6,1	5,9	1,03	0,272	45,56
MRF-L	6,3	4,89	0,68	0,258	44,84
MRF-L	6	5,04	0,77	0,242	45,81
MRF-NL	6,3	4,87	1,22	0,237	48,62
MRF-NL	6,1	5,01	1,13	0,239	47,64
MRF-NL	6,3	4,77	1,35	0,223	47,82
MRF-NL	6,1	4,89	1,21	0,238	48,60
NO-MRF	6,5	4,37	0,51	0,196	38,5
NO-MRF	6,5	4,37	0,51	0,196	38,5
NO-MRF	6,5	4,37	0,51	0,196	38,5
NO-MRF	6,5	4,37	0,51	0,196	38,5

5.1.2.1. Potencial de hidrogeniones (pH)

De acuerdo a Moreno (1978), el pH es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos (incluidos microorganismos y plantas). La concentración de iones hidrogeno es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. Sanchez (2007) menciona que el pH de suelos agrícolas varía entre 3,5 a 9,0.

El siguiente cuadro muestra los resultados obtenidos en laboratorio para los diferentes valores de pH de cada tratamiento.

Cuadro 15. Potencial de hidrogeniones de cada tratamiento

	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
To (no MRF)	6,51	6,51	6,51	6,51
T1 (MRF legum)	5,98	6,21	6,28	6,32
T2 (MRF no legum)	6,25	6,31	6,,23	6,13

En el análisis de varianza para el parámetro pH se obtuvo que existe diferencia significativa al nivel de 0,05 entre la aplicación de madera rameal fragmentada y la no aplicación de madera rameal fragmentada.

Cuadro 16. Análisis de Varianza para el pH de los diferentes tratamientos

	GL	SC	CM	Pr > F	Significancia
BLOQUES	3	0.0183	0.0061	0.6724	NS
MRF	2	0.2362	0.1181	0.0111	*
Error	6	0.0678	0.0113		
Total	11	0.3222			

Coefficiente de variación = 2,22%

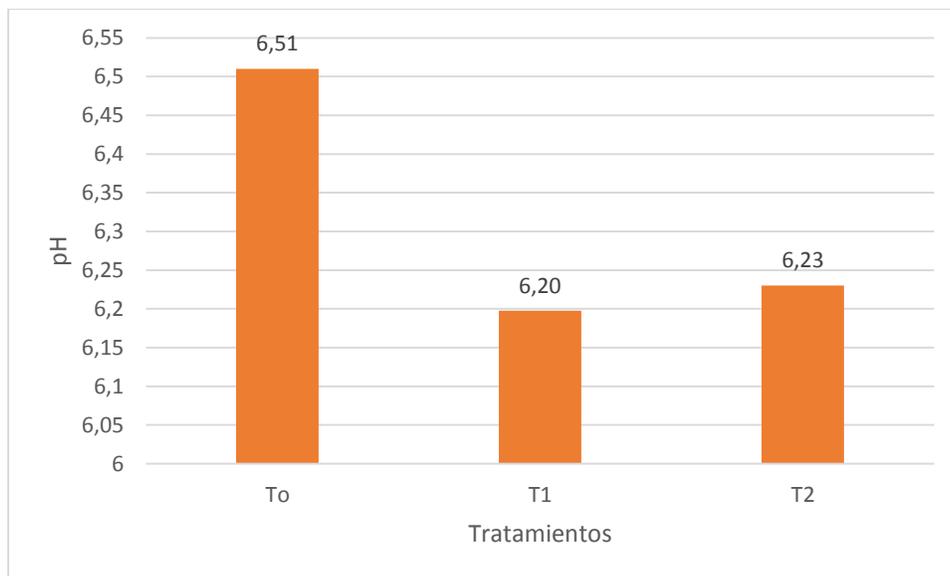
La prueba de medias Tukey muestra que las aplicaciones de madera rameal fragmentada (MRF) son notablemente diferentes al tratamiento sin aplicación. El tratamiento cuyo pH se acerca más a la neutralidad es el T2 es decir la madera rameal fragmentada de no leguminosa con un valor de pH de 6,23; el tratamiento con madera rameal fragmentada de leguminosa también cambio el pH de 6,51 a 6,20.

Cuadro 17. Prueba de Tukey con los valores promedio de pH de cada tratamiento

Grupo Tukey	Media	Tratamiento
A	6,51	No MRF
B	6,23	No Leguminosa
B	6,2	Leguminosa

Entre tratamientos, el tratamiento de MRF no leguminosa fue el que disminuyó el pH del suelo de 6,51 (tratamiento testigo) a 6,23 acercándolo a la neutralidad, pues Navarro y Navarro (2003), mencionan que los valores de pH de 6,5 a 7,5 son valores cercanos a la neutralidad y por lo tanto son suelos recomendables para la producción de la mayoría de los cultivos agrícolas. Cabe mencionar que la aplicación de madera rameal fragmentada de leguminosa también disminuyó el pH de 6,51 a 6,20 en promedio.

Gráfica 3. Promedio de pH obtenidos por los diferentes tratamientos.



La gráfica de arriba muestra que estos valores no fueron notablemente afectados por los diferentes tratamientos de madera rameal fragmentada.

5.1.2.2. Materia orgánica del suelo

La materia orgánica del suelo es la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición; tejidos y células de

organismos que viven en el suelo; y sustancias producidas y vertidas por esos organismos (Etchevers, 1988).

Esta definición es muy amplia pues incluye tanto a los materiales poco alterados como a aquellos que sí han experimentado cambios de descomposición, transformación y resíntesis dentro del suelo.

Los resultados obtenidos en la investigación de materia orgánica del suelo según análisis de laboratorio se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 18. Materia orgánica por tratamiento (%)

	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
To (no MRF)	4,54	4,54	4,54	4,54
T1 (MRF legum)	5,83	5,9	4,89	5,04
T2 (MRF no legum)	4,87	5,01	4,77	4,89

El análisis de varianza para el porcentaje de materia orgánica demuestra que existe diferencia significativa entre la aplicación y no aplicación de MRF.

Cuadro 19. Análisis de varianza para el porcentaje de materia orgánica

	GL	SC	CM	Pr > F	Significancia
BLOQUES	3	0.359	0.1198	0.3170	NS
MRF	2	1.554	0.7770	0.0140	*
Error	6	0.493	0.0822		
Total	11	2.407			

Coefficiente de variación = 5,80%

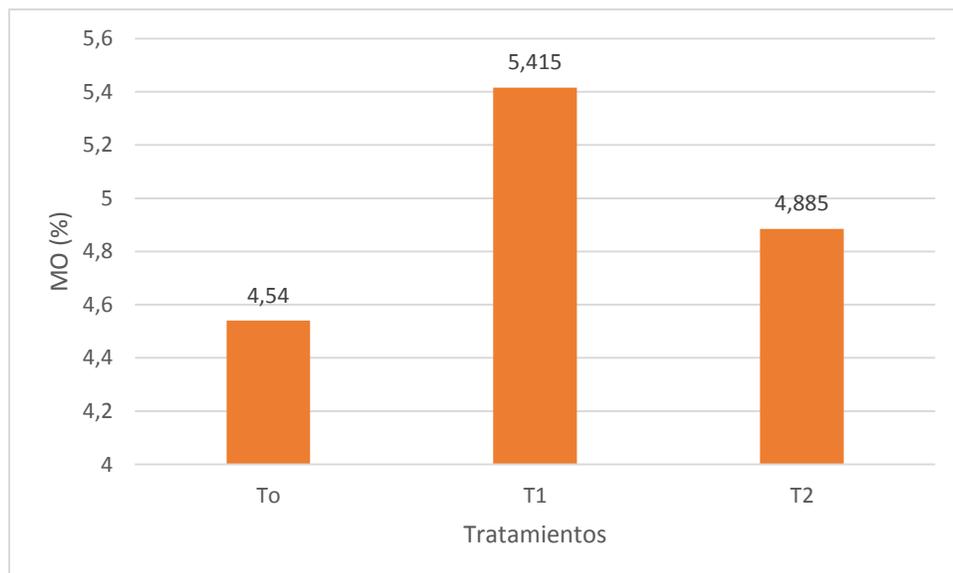
De acuerdo a la prueba de Tukey se observa que el tratamiento de madera rameal fragmentada de leguminosas es el mejor con un promedio de 5,4 %, seguido del tratamiento de madera rameal fragmentada de no leguminosa con un promedio de 4,8%.

Cuadro 20. Prueba de Tukey para las medias del porcentaje de materia orgánica en el suelo

Grupo Tukey	Media	Tratamiento
A	5.410	Leguminosa
AB	4.885	No leguminosa
B	4.540	No MRF

Los valores de porcentaje de materia orgánica se elevaron en los casos en donde se aplicó la madera rameal fragmentada. El tratamiento con MRF de leguminosa paso de un contenido medio de materia orgánica a un contenido alto de materia orgánica, en el caso de la aplicación de MRF de no leguminosa se tiene que el contenido de materia orgánica se mantiene en medio pese a elevarse significativamente. En la gráfica de abajo se observan los promedios de materia orgánica de los tratamientos donde se observa claramente que la madera rameal fragmentada elevó los porcentajes de materia orgánica en el suelo.

Gráfica 4. Promedio de porcentaje de materia orgánica alcanzado por cada uno de los tratamientos



5.1.2.3. Nitrógeno total

El nitrógeno es un elemento indispensable para la vida, forma parte de las principales biomoléculas de todos los seres vivos. Es también uno de los elementos más abundantes de la Tierra, pues en su forma gaseosa (N₂) constituye 78% de la atmósfera. Sin embargo, la cantidad de nitrógeno presente en muchos suelos es escasa, debido a su propia dinámica y a su ciclo biogeoquímico. El nitrógeno puede llegar al suelo gracias a los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire.

Dentro del suelo es aprovechado por las plantas, animales y microorganismos que lo incorporan a sus tejidos. Cuando dichos organismos se mueren, el nitrógeno reingresa al suelo completando el ciclo. Este ciclo es complejo e involucra una serie de reacciones y organismos con diferentes metabolismos.

En los microorganismos la carencia de nitrógeno puede afectar el crecimiento, por lo que la población microbiana no tendrá un desarrollo óptimo. En contraste, demasiado nitrógeno permite el crecimiento microbiano rápido y acelera la descomposición; pero puede crear problemas de olor en condiciones anaerobias.

Los valores de porcentaje de nitrógeno total para cada tratamiento se detallan a continuación en el cuadro de abajo.

Cuadro 21. Nitrógeno total en cada tratamiento (%)

	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
To (no MRF)	0,196	0,196	0,196	0,196
T1 (MRF legum)	0,271	0,272	0,258	0,242
T2 (MRF no legum)	0,237	0,239	0,223	0,238

El análisis de varianza para el porcentaje de nitrógeno total dio como resultado significancia entre las diferentes aplicaciones de madera rameal fragmentada.

Cuadro 22. Análisis de varianza para porcentaje de nitrógeno total

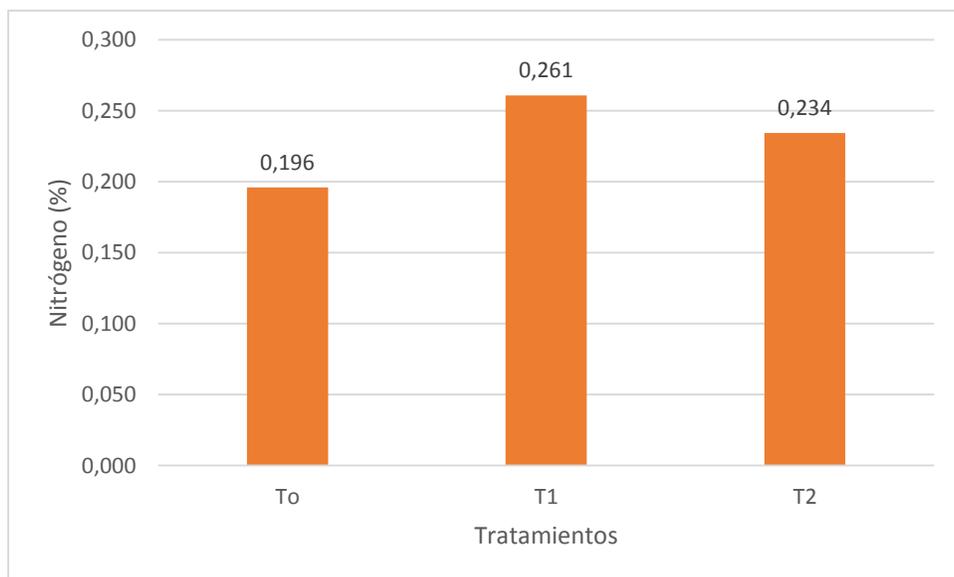
	GL	SC	CM	Pr > F	Significancia
BLOQUES	3	0.00028200	0.00009400	0.3943	NS
MRF	2	0.00847717	0.00423858	0.0002	*
Error	6	0.00047950	0.00007992		
Total	11	0.00923867			

Debido a la existencia de significancia entre los tratamientos se realizó la prueba de medias Tukey, en la cual se encontró que todos los tratamientos son diferentes. En el cuadro de abajo se observa que el tratamiento que incrementó en mayor cantidad los niveles de nitrógeno total es el tratamiento con madera rameal fragmentada de leguminosa con un promedio de 0,261%; el tratamiento con MRF de no leguminosa también incrementó el nitrógeno total en 0,234%.

Cuadro 23. Prueba de Tukey para el porcentaje de Nitrógeno total

Grupo Tukey	Media	Tratamiento
A	0.261	Leguminosa
B	0.234	No leguminosa
C	0.196	No MRF

Gráfica 5. Contenido promedio de nitrógeno en cada tratamiento



En la gráfica de arriba se puede observar que los porcentajes de nitrógeno total se incrementaron con la aplicación de madera rameal fragmentada, el porcentaje más alto de nitrógeno total lo alcanzó el tratamiento con MRF de leguminosa.

El incremento mayor en las cantidades de nitrógeno del suelo por parte de la MRF de leguminosa puede deberse principalmente a que la planta leguminosa de tagasaste en simbiosis con el género de bacterias *Rhizobium* fijan el nitrógeno atmosférico y al incorporar la MRF al suelo también estaríamos incorporando nitrógeno al suelo.

5.1.2.4. Fósforo disponible

El fósforo elemental (P) no se encuentra en estado libre en la naturaleza porque se oxida muy fácilmente; sin embargo, son muy comunes los compuestos orgánicos y principalmente minerales que contienen fósforo. En términos generales, el fósforo del suelo se clasifica en fósforo orgánico e inorgánico, dependiendo de la naturaleza de los compuestos que forme. La forma orgánica se encuentra en el humus y la materia orgánica, y sus niveles en el suelo pueden variar desde 0 hasta mayores que 0.2%.

El P es un macronutriente esencial para las plantas y los microorganismos, junto con el nitrógeno y el potasio. Puede ser un nutrimento limitante, ya que es un componente de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos (Muñoz *et al.*, 2000).

Los resultados obtenidos de fósforo disponible se detallan en el cuadro siguiente:

Cuadro 24. Fósforo disponible en cada tratamiento (ppm)

	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
To (no MRF)	38,5	38,5	38,5	38,5
T1 (MRF legum)	52,7	45,56	44,84	45,81
T2 (MRF no legum)	48,62	47,64	47,82	48,6

El análisis de varianza para el contenido de fósforo disponible dio significativo al nivel de 0,05 para las aplicaciones de madera rameal fragmentada, en cuanto a bloques no se halló significancia.

Cuadro 25. Análisis de varianza para fósforo disponible

	GL	SC	CM	Pr > F	Significancia
BLOQUES	3	16.12	5.37	0.362	NS
MRF	2	227.42	113.71	0.0010	*
Error	6	25.10	4.18		
Total	11	268.65			

Coefficiente de variación = 4,58%

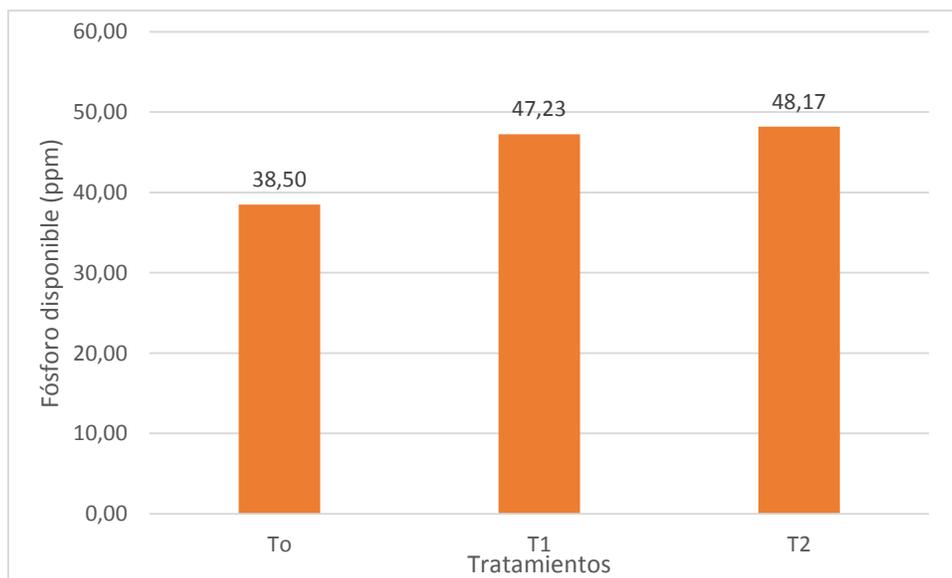
Se realizó la prueba de medias de Tukey, de esta manera se supo que los tratamientos de madera rameal fragmentada de leguminosa y no leguminosa son prácticamente iguales, ambos elevaron los niveles de fósforo disponible del suelo de 38,50 ppm (testigo) a 48,17 ppm (no leguminosa) y 47,23 ppm (leguminosa).

Cuadro 26. Prueba de Tukey para el fósforo disponible

Grupo Tukey	Media	Tratamiento
A	48.17	No leguminosa
A	47.23	Leguminosa
B	38.50	No MRF

En la siguiente gráfica se observa que aplicando madera rameal fragmentada las cantidades de fósforo disponible en el suelo se incrementan aproximadamente en un 20%.

Gráfica 6. Promedios de fósforo disponible obtenidos para cada tratamiento.



5.1.2.5. Potasio disponible

Los resultados obtenidos en la investigación de potasio del suelo según análisis de laboratorio se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 27. Potasio disponible para cada tratamiento (m-eq/100g suelo)

	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4
To (no MRF)	0,51	0,51	0,51	0,51
T1 (MRF legum)	0,95	0,95	0,68	0,77
T2 (MRF no legum)	1,22	1,13	1,35	1,21

El análisis de varianza para la variable potasio, muestra significancia entre tratamientos, para bloques no se encontró significancia.

Cuadro 28. Análisis de varianza para el macronutriente potasio

	GL	SC	CM	Pr > F	Significancia
BLOQUES	3	0.0066	1.744	0.0004	NS
MRF	2	10.322	0.061	0.3721	*
Error	6	0.0730	0.052		
Total	11	11117			

Coeficiente de variación = 12,85%

Al encontrarse significancia se realizó la prueba de Tukey, para determinar que tratamiento de madera rameal es mejor, en el siguiente cuadro observamos las agrupaciones Tukey de cada tratamiento.

Cuadro 29. Prueba de Tukey para la variable potasio

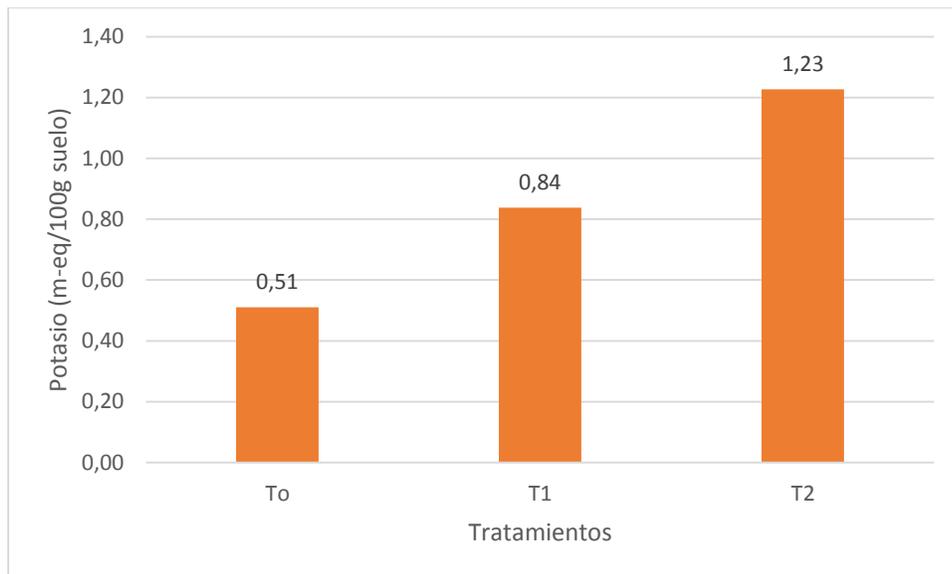
Grupo Tukey	Media	Tratamiento
A	1.23	No leguminosa
B	0.84	Leguminosa
C	0.51	No MRF

Realizada la prueba Tukey podemos observar que se formaron agrupamientos totalmente diferentes, el tratamiento con madera rameal fragmentada de no leguminosa

fue el que prácticamente duplicó los niveles de potasio de 0,52 mili-equivalentes por cien gramos de suelo (m-eq/100g S) a 1,23 m-eq/100g S, es de importancia mencionar también que el tratamiento con MRF de leguminosa incrementó los niveles de potasio del suelo de 0,51 m-eq/100g S a 0,84 m-eq/100g S.

La cantidad de potasio se incrementó considerablemente con la aplicación de madera rameal fragmentada (MRF) y más aún con el tratamiento de MRF de no leguminosa. En la gráfica observamos el detalle de los niveles de potasio en m-eq/100 gramos de suelo y se observa que prácticamente el nivel de potasio fue duplicado.

Gráfica 7. Contenido promedio de potasio en cada tratamiento



Los incrementos de macronutrientes pueden deberse a que las ramas tiernas para la elaboración de la madera rameal fragmentada concentran en su estructura la mayor cantidad de nutrientes que la planta necesita para su crecimiento, además se sabe que las raíces profundas de los árboles tienen la capacidad de absorción de nutrientes del subsuelo.

6. CONCLUSIONES

Respecto a las propiedades físicas y químicas evaluadas en el suelo las aplicaciones con madera rameal fragmentada de árboles leguminosos y no leguminosos tuvieron un efecto positivo en la mayoría de las variables evaluadas. A continuación, detallaremos los aspectos que cambiaron en el suelo, tanto de propiedades físicas como de propiedades químicas:

En las propiedades físicas

De acuerdo a los resultados de laboratorio la textura de los suelos tratados con madera rameal fragmentada cambió con las aplicaciones de MRF, pero más que a la aplicación de madera rameal el cambio en la textura puede deberse a el muestreo. Pues bien sabemos que la textura no es una propiedad que cambia en periodos cortos de tiempo.

La densidad aparente también sufrió cambios con la aplicación de madera rameal fragmentada, los cambios fueron favorables debido a que la incorporación de MRF disminuyó los valores de densidad aparente, por lo que se puede concluir que la aplicación de madera rameal fragmentada es favorable para la descompactación de suelos.

En las propiedades químicas:

El pH de los suelos en los que se incorporó madera rameal fragmentada disminuyó el pH en comparación al suelo testigo. Los suelos del experimento pasaron de pH ligeramente neutros a ligeramente ácidos.

Respecto al porcentaje de materia orgánica en el suelo, la incorporación de madera rameal fragmentada favoreció los niveles de materia orgánica, en los casos en que se incorporó MRF de leguminosa las cantidades de materia orgánica pasaron de nivel medio a nivel alto.

La incorporación de madera rameal fragmentada incrementó los niveles de nitrógeno de cantidades moderadas a cantidades altas. Comparando los tratamientos de

MRF se obtuvo que la incorporación de MRF leguminosa es mejor respecto a la incorporación de MRF de no leguminosa.

El contenido de fósforo disponible también sufrió cambios, la incorporación de madera rameal fragmentada incrementó los niveles de fósforo disponible. Según los resultados de laboratorio los niveles de fósforo disponible para el suelo testigo son altos, pero, la incorporación de MRF de leguminosa y no leguminosa lo incrementaron a niveles muy altos.

La incorporación de madera rameal fragmentada afectó considerablemente los contenidos del catión intercambiable potasio, el nivel inicial de potasio se encontraba en niveles moderados, pero con la incorporación de MRF de leguminosa se elevó a niveles altos, y con la incorporación de MRF de no leguminosa los niveles se duplicaron y pasaron de niveles moderados a niveles muy altos.

7. RECOMENDACIONES

La aplicación de madera rameal fragmentada tiene más efectos positivos que negativos, por lo tanto, consideramos que los estudios siguientes sobre MRF deberían centrarse en la recuperación de suelos compactados, con problemas de fertilidad y suelos básicos.

La recuperación de suelos degradados es una tarea importante para los agrónomos por lo tanto creemos que las investigaciones con madera rameal fragmentada deberían continuar, se aconseja realizar estudios en diferentes pisos ecológicos del país, siempre y cuando se tenga la materia prima.

Cabe recalcar que la aplicación de madera rameal fragmentada incrementa ligeramente la acidez de los suelos, por lo que recomendamos su aplicación en suelos con problemas de salinidad. Por el otra parte, recomendamos realizar estudios detallados en suelos con problemas de acidez para determinar sus efectos en sus características físicas y químicas.

Por otro lado, recomendaríamos que la aplicación de madera rameal fragmentada debería realizarse por los menos 4 a 6 meses antes de establecer un cultivo y, posterior a la aplicación de madera rameal, este debe ser removido periódicamente, esto con el fin de evitarse la formación de ciertos compuestos químicos que no son favorables para los cultivos y también para evitar problemas por la transmisión de algún tipo de enfermedad que pudiera dañar el cultivo a establecerse.

8. BIBLIOGRAFÍA

Carabaza b., j. M^a.; García s., e.; Hernández b., j. E.; Jiménez r., a. Árboles y arbustos de al-andaluz, 2004. Ed. Raycar, s. A. Madrid, España.

Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. y Pierce, F.J. 1997. Concepts of soil quality and their significance. En *Soil quality for crop production and ecosystem health* (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.

Chilón, E. 1997. Fertilidad de Suelos y Nutrición de Plantas. UMSA, Ediciones CIDAT, La Paz-Bolivia. p 185.

Conti, m. 1998. Principios de edafología. 1era edición. Fauba.

Doran, J.W; Parkin, B.T. 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America no 35.

Etchevers J. D. 1988. Análisis químico de suelos y plantas. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados, Chapingo, Estado de México. 803p.

FAO, 2016. Materia orgánica y actividad biológica. Disponible en: www.fao.org/organic_matter

Gardner, W. H., 1986. «Water content». En: *Methods of soil analysis Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2nd Edition. *Agronomy* 9 (1), 493-541. Ed. A. Klute. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin (USA).

Greulach, V., 1990. Manual de botánica y ecología. Ed. Limusa, S. A. de C. V. México, D. F.

Khasawneh, F. E. 1980. The role of phosphorus in agriculture. American society of agronomy, inc. Crop science of america, inc. Soil science society of america, inc.

Krull, E. S.; Skjemstad, J. O.; Baldock, J. A. 2004. Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. Grains research & development corporation report project no 00029.

Lemieux, G., 2016. Documento RT, extracto del profesor Gilles Lemieux, Universidad Laval de Québec, regeneración de tierra con ramas trituradas – Disponible en: grupos.emagister.com.htm, consultado el 10 de marzo de 2016.

Lemieux, G.; Furlan, V. 1997. Método de aplicación y de evaluación para el uso de la madera rameal fragmentada. Publicación 90, Quebec, Canadá. Traducido al español por el profesor J. Marcano. 15p.

León A. R. y A. Aguilar S. 1987. Materia orgánica. Pp 85-91. En: Aguilar s.a., j.p. Etchevers B. y J. Z. Castellanos R. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación especial no. 1. Sociedad mexicana de la ciencia del suelo. Chapingo, estado de México. 217p.

Los Tiempos, 2016. Diario digital “Cochabamba sufre la peor sequía en 20 años” (en línea). Consultado el 20 de octubre de 2016. Disponible en: <http://www.lostiempos.com/actualidad/local/20160722/cochabamba-sufre-peor-sequia-20-anos>.

Moreno D. R. 1978. Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrientes asimilables. INIA-SARH. México D.F.

Montenegro G. Hugo, Malagon C. Dimas. Propiedades físicas de los suelos. Instituto geográfico “Agustin Codazzi” Subdirección agrícola. Bogota. 1990

Muñoz I. D. J., Mendoza C. A., López G. F., Soler A. A., Hernández M. M. M. 2000 Manual de análisis de suelo. Edafología. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM, México.

Navarro, G; Navarro, S. 2013. Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. 3 ed. Madrid, ES. Mundi Prensa. p. 45-48.

Ochoa, R. 2004. Diseños experimentales. Ed. Universidad Católica Boliviana "San Pablo". La Paz – Bolivia. pp115.

Pattison, T; Badcock, K; Lindsay, S; Armour, A; Velupillai, R; Moody, P; Smith, L; Gullino, L. 2003. Banana root and soil health project – field workbook. Department of Primary Industries and Fisheries, Queensland, Australia. 15 p.

Pastrana, A. 1999. El componente arbóreo en los sistemas agroforestales tradicionales. Prioridades y potencialidades de los indígenas Ngobe. "La Gloria", Changuinola-Panamá. Tesis de Maestría. CATIE. Turrialba Costa Rica. 122 p.

Perdomo, C. H. y Dodera, R. 1992. In. O. Casanova (ed) principales procesos de pérdida de nitrógeno. Cátedra de fertilidad de suelos y fertilizantes. Facultad de agronomía.

Reicosky, D. C., 2002. Long – term effect of moldboard plowing on tillage – induced CO₂ loss, in j. M. Kimble, r. Lal and r. F. Follet: agricultural practices and polices for carbon sequestration in soil. Lewis publishers. Papers form symposium held july 1999 at ohio state university, columbus, ohio, 87-96 p.

Resquejo, M. 1999. Botánica On line. Nutrición mineral de las plantas, Disponible en [http://www. Abocol.com/articulo especial.htm.](http://www.Abocol.com/articulo_especial.htm), consultado 5 de febrero de 2016.

Sanchez, J. 2007. Fertilidad del suelo y nutrición mineral de plantas. http://academic.uprm.edu/depensante/docsapicultura/fertilidad_del_suelo.pdf

Stadler, N. 2010. Información sobre el predio experimental Mollesnejta, Disponible en <http://www.wordpress.mollesnejta.com/>, consultado el 5 de febrero de 2016.

Stevenson, F. J. 1982. Organic forms of soil nitrogen. P 67-122. In f. J. Stevenson (ed.). nitrogen in agricultural soils. Monography nº 22. American society of agronomy. Madison, Wisconsin, usa.

Vázquez A. A. y Bautista N. 1993. Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua. Departamento de suelos. Universidad autónoma de Chapingo. México.

Universidad de Costa Rica, 2003. Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo, editado por Soto y Melendez. Consultado 2 de febrero de 2016. Disponible en <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/memorias/>

USDA (Departamento de Agricultura, EE.UU.) 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo (en línea). sl. Consultado 20 de marzo de 2016. Disponible: www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Elaboración de madera rameal fragmentada



Anexo 2. Preparación del terreno



Anexo 3. Incorporación de madera rameal fragmentada a las unidades experimentales



Anexo 4. Parcela con la incorporación de madera rameal fragmentada



Anexo 5. Madera rameal y su descomposición en el sustrato



Anexo 6. Cilindro casero para el muestreo de suelos



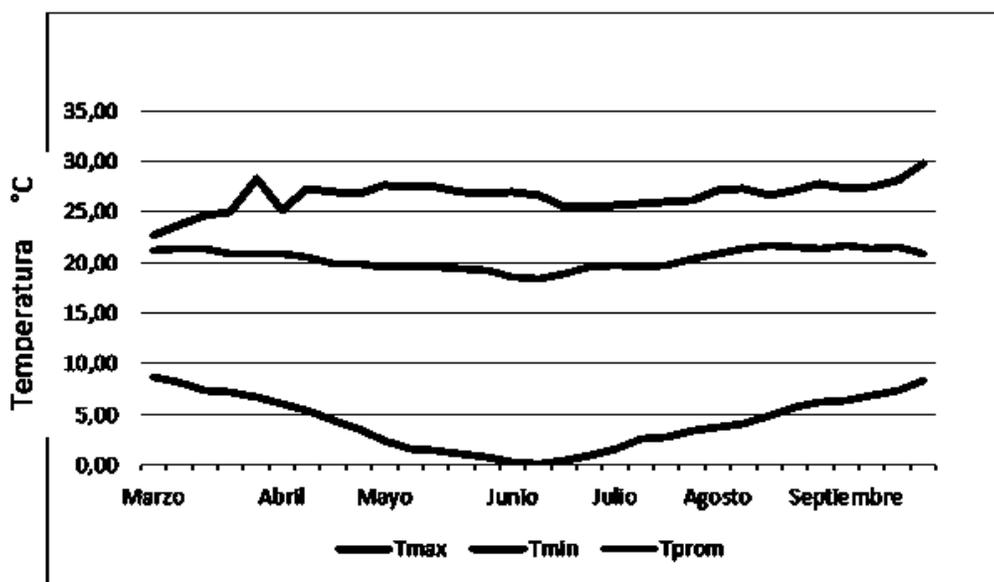
Anexo 7. Costo de incorporación de madera rameal fragmentada para 100 m²

COSTO DE INCORPORACIÓN DE MRF POR 100 m ²					
No	ITEM	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Preparación del terreno				
1.1.	Removido	Hra	1	250	250
1.2.	Incorporación de MRF	Jornal	1	50	50
2	Obtención de MRF				
2.1.	Poda de ramas	Jornal	1	50	50
2.2.	Triturado de ramas	Hra	4	45	180
	Total costos				530

Anexo 8. Precipitación ocurrida durante el tiempo del experimento

Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
91,6	8,8	0	0	10,1	4,1	1

Anexo 9. Temperaturas máximas, mínimas y promedio del lugar de experimento



Anexo 10. Análisis de laboratorio

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMON
FAC. de CIENCIAS AGRICOLAS, PECUARIAS
FORESTALES "Marifin Cárdenas"
Dpto. de Ingeniería Agrícola



ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE SUELOS

Interesado: A. ISMAEL QUENALLATA P.

Proyecto: Tesis de Grado

Procedencia: Comunidad Combuayo, Municipio Vinto.

Nº. LAB.	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133
Identificación	T1-I	T1-II	T1-III	T1-IV	T2-I	T2-II	T2-III	T2-IV
Prof.	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20
TEXTURA	FY	F	F	F	FY	FY	F	F
% Arcilla	28	25	24	26	27	28	26	26
% Limo	32	34	34	33	34	32	32	31
% Arena	40	41	42	41	39	40	42	43
pH 1:2,5 (suelo-agua)	5.98	6.21	6.28	6.32	6.25	6.31	6.23	6.13
Densidad aparente	1.43	1.54	1.41	1.54	1.23	1.44	1.48	1.50
Cationes								
Intercambiables								
me/100 g								
Calcio								
Magnesio								
Sodio								
Potasio	0.95	1.03	0.68	0.77	1.22	1.13	1.35	1.21
Materia orgánica	5.83	5.90	4.89	5.04	4.87	5.01	4.77	4.89
Nitrógeno total (Nt)	0.271	0.272	0.258	0.242	0.237	0.239	0.223	0.238
Fósforo disponible **	52.70	45.56	44.84	45.81	48.62	47.64	47.82	48.60
Relación C:N								

* Método:

** Método:

OLSEN modificado

Fecha: Cbba., Octubre de 2016

Dir. Avda. Petrolera Km 4.5 Tel.: 4237506-FAX: 4762385-Cbba.
Email: lab.suelos@agr.umss.edu.bo



Ing. A. Alvarado C.
JEFE DE LABORATORIO
DE SUELOS Y AGUAS
FCAPyF - UMSS

Anexo 11. Parámetros de interpretación

Relación textura, densidad aparente y porosidad

Textura	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)
Arenoso	1,6	40
Franco arenoso	1,5	43
Franco	1,4	47
Franco limoso	1,3	50
Franco arcilloso	1,2	55
Arcilloso	1,1	58

Rangos de pH

Rangos	Definición
<4,5	Extremadamente ácido
4,6 – 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Medianamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Medianamente alcalino
7,9 – 8,4	Moderadamente alcalino
8,5 – 9,0	Fuertemente alcalino
>9,0	Muy fuertemente alcalino

Capacidad de intercambio catiónico

Rango	Interpretación
<5	Muy bajo
5 – 10	Bajo
10 – 15	Medio
15 – 20	Alto
>20	Muy alto

Materia orgánica

Suelo arenoso	Suelo franco	Suelo arcilloso	Interpretación
0 – 1,75	0 – 1,5	0 – 2	Muy bajo
1,76 – 2,50	1,5 – 2	2 – 3	Bajo
2,51 – 3,50	2 – 3	3 – 4	Normal
3,51 – 4,25	3 – 3,75	4 – 5	Alto
>4,25	>3,75	>5	Muy alto

Método Walkey y Black (%)

Fuente: Guerrero (1996)

Nitrógeno total

Rango	Interpretación
<0,1	Bajo
0,1 – 0,2	Medio
>0,2	Alto

Método: Kjendahl

Fuente: Chilon (1997)

Fósforo disponible

P (ppm)	P (kg/ha)	Interpretación
0 – 6	0 – 12	Bajo
7 – 14	14 – 28	Medio
>14	>28	Alto

Potasio

K ₂ O (kg)	K (kg/ha)	K (ppm)	Interpretación
0 – 300	0 – 248	0 – 124	Bajo
300 – 600	248 – 497	124 – 248	Medio
>600	>497	>248	Alto