UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

CARRERA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

"CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, BIOLÓGICAS Y CAPTURA DE CARBONO DEL SUELO EN LA RECUPERACIÓN DE PASTURAS DEGRADADAS DE BRAQUIARIA *(Brachiaria decumbens),* EN PUCALLPA, PERÚ"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGRÓNOMO

WILLIAN DIAZ GONZALES

PUCALLPA – PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA
CARRERA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

ANEXO 4

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN O TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación de tesis denominada: "**CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, BIOLÓGICAS Y CAPTURA DE CARBONO DEL SUELO EN LA RECUPERACIÓN DE PASTURAS DEGRADADAS DE BRAQUIARIA *(Brachiaria decumbens),* EN PUCALLPA, PERÚ"** presentada por el Bach. **WILLIAN DIAZ GONZALES** para cumplir con el requisito del Título Profesional de **INGENIERO AGRÓNOMO.**

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo así como los conocimientos demostrados por el sustentante lo declaramos **APROBADO POR UNANIMIDAD** con el calificativo de **DIECISIETE (17).**

En consecuencia, queda en condición de ser considerado Apto por el Consejo Universitario y recibir el Título de **INGENIERO AGRÓNOMO**, de conformidad con lo estipulado en el Art. 3 y 6 del Reglamento para el otorgamiento de grado académico de Bachiller y Título Profesional de la Universidad Nacional de Ucayali.

Pucallpa, 12 de agosto del 2020.

…….....	……..……..……
M.V. Víctor Fernández Delgado Presidente	Ing. José Antonio López Ucariegue, M.Sc. Secretario
……..……..	……..……..
Ing. Luís Angel Capuñay Benites, M.Sc. Miembro	Ing. Jorge Washinton Vela Alvarado, Dr. Asesor

(*) De acuerdo con el Art. 21 del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, éstas deberán ser calificadas con términos de Sobresaliente, Aprobado por Unanimidad, Aprobado por Mayoría y Desaprobado.

Esta tesis fue aprobada por el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo.

M.V. Víctor Alberto Fernández Delgado



Presidente

Ing. José Antonio López Ucariegue, M.Sc.



Secretario

Ing. Luis Ángel Pablo Capuñay Benites, M.Sc.



Miembro

Ing. Jorge Washinton Vela Alvarado, Dr.



Asesor

Ing. Krystel Clarissa Rojas Mego



Co - Asesor

Bach. Willian Diaz Gonzales



Tesista

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N°029-2020

La **Dirección General de Producción Intelectual**, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis), titulado:

CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS, BIOLÓGICAS Y CAPTURA DE CARBONO DEL SUELO EN LA RECUPERACIÓN DE PASTURAS DEGRADAS DE BRAQUIARIA (*Brachiaria decumbens*), EN PUCALLPA, PERÚ.

Cuyo autor (es)	:	**DIAZ GONZALES, WILLIAN**
Facultad	:	CIENCIAS AGROPECUARIAS
Escuela Profesional	:	AGRONOMÍA
Asesor(a)	:	Ing. Vela Alvarado, Jorge Washinton

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 04%.**

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 22/01/2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCION GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL
MGTR. EDNA PARI QUISPE
Direc. Gral Prod Intel

ANEXO 4

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, Willian Díaz Gonzales

Autor de la TESIS titulada:
"Cambios en las propiedades físicas, químicas, biológicas y captura de carbono del suelo en la recuperación de pasturas degradadas de Braquiaria (Brachiaria Decumbens), en Pucallpa, Perú".

Sustentada el año: 2020
Con la asesoría de: Dr. Jorge Washinton Vela Alvarado.
En la Facultad de: Ciencias Agropecuarias.
Carrera Profesional de: Agronomía.

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguiente términos:
Primero: otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.
Segundo: declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas.
Tercero: autorizo la publicación,

- [x] Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio).
- [ ] Parcial (significa que solo la carátula, la dedicatoria y el resumen en PDF serán compartidos en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.
En señal de conformidad firma la presente autorización.

Fecha: 03 / 12 / 2020

Email: willian_diaz_2020@hotmail.com Firma: 

Teléfono: 956892427 DNI: 70935105

DEDICATORIA.

A los miembros de mi familia quienes estuvieron presente durante mi formación profesional, en especial a mis padres Nilo y Petronila, por su comprensión y ayuda en momentos malos; me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi amada Tatiana, a ella especialmente le dedico esta tesis, por su paciencia, por su comprensión, por su fuerza, por su amor, por ser tal como es, por que la quiero; es la persona que más directamente ha sufrido las consecuencias del trabajo realizado.

A mis hijos Alexia, Diago y Gianella, ellos son lo mejor que me ha pasado, y han venido a este mundo para darme el último empujón para terminar el trabajo; son sin duda mi referencia para el presente y el futuro.

AGRADECIMIENTO.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Jorge Washington Vela Alvarado, asesor de mi trabajo de tesis, por su ayuda y seguimiento a lo largo de mi investigación, y por la confianza que me dio.

A la Universidad Nacional de Ucayali, por mi formación profesional que me brindó durante mi etapa de estudiante y al mismo tiempo por la oportunidad de superarme como persona.

Además, agradecer al valioso apoyo del FOCAM, por el financiamiento de la presente investigación.

Finalmente agradecer a todas las personas que colaboraron para que este trabajo de investigación se realizara exitosamente.

ÍNDICE DE CONTENIDO.

RESUMEN……xi
LISTA DE CUADROS……....xv
LISTA DE FIGURAS……....xvi
I. INTRODUCCIÓN……...1
II. REVISIÓN DE LITERATURA……...……...3
2.1. DEGRADACIÓN DE PASTIZALES……3
2.2. DEGRADACIÓN DEL SUELO……..6
2.2.1. Compactación del suelo.....6
2.2.2. Erosión.....7
2.2.3. Desertificación. 7
2.3. RESTAURACIÓN DEL SUELO……7
2.4. PRÁCTICAS DE RECUPERACIÓN DE SUELOS……7
2.4.1. Cobertura de suelo. 8
2.4.2. Abonos verdes.....8
2.4.3. Enmienda orgánica.....8
2.5. PROPIEDADES DEL SUELO……...9
2.5.1. Propiedades físicas.....9
2.5.1.1. La textura.....9
2.5.1.2. Estructura……..……9
2.5.1.3. Resistencia a la penetración.....10
2.5.2. Propiedades químicas. 10
2.5.2.1. Reacción del suelo.....10
2.5.2.2. Materia orgánica. 11
2.5.2.3. Capacidad de intercambio catiónico 11
2.5.2.4. El nitrógeno del suelo.....12
2.5.2.5. El fósforo del suelo. 13
2.5.2.6. Potasio disponible.....13
2.5.3. Propiedades biológicas.....14
2.5.3.1. Macrofauna del suelo 14
2.5.3.2. Microfauna edáfica 14
2.5.3.3. Micorrizas 15

2.5.3.4. La investigación sobre las micorrizas en la Amazonía peruana……16
2.5.3.5. Factores que afectan la supervivencia de las micorrizas……17
2.6. RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS…….....18
2.7. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS AMAZÓNICOS……...19
2.7.1. Nitrificación de Suelos Tropicales 20
2.7.2. Relación carbono orgánico-microorganismo..... 22
2.8. EL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO…….24
2.8.1. Carbono orgánico y propiedades químicas del suelo……..25
2.8.2. Carbono orgánico y propiedades físicas del suelo……..25
2.8.3. Porosidad y retención de agua en el suelo……26
2.8.4. Compactación y carbono orgánico del suelo……26
2.8.5. Infiltración de agua en el suelo……27
2.8.6. Carbono orgánico y propiedades biológicas del suelo……27
III. MATERIALES Y MÉTODOS……28
3.1. UBICACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO 28
3.2. ECOLOGÍA Y CLIMA. 28
3.3. MATERIALES. 29
3.3.1. Material Vegetal. 29
3.3.2. Fertilizante. 29
3.3.3. Equipos. 30
3.3.4. Herramientas. 30
3.3.5. De gabinete. 30
3.4. TRATAMIENTOS EN ESTUDIO. ..... …30
3.5. DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES CONSTANTES. 30
3.5.1. De las Instalaciones. 30
3.6. VARIABLES EVALUADAS. 31
3.6.1. Análisis de las características físicas, materia orgánica y características químicas del suelo. 31
3.6.2. Análisis biológico del suelo. 32
3.6.2.1. Macrofauna……..32
3.6.2.2. Microfauna……32
3.6.3. Análisis del total contenido de CO_2 en el suelo.....32

3.6.3.1. Raicillas y suelo. 32
3.6.3.2. Carbono en las raicillas……..33
3.6.3.3. Carbono en el suelo……33
3.6.4. Cuantificación de la biomasa forrajera. 34
3.6.5. Calidad nutritiva del pasto y de la arbustiva forrajera. 34
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO. 34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN……36
4.1. CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO. 36
4.1.1. Textura del suelo……...36
4.1.2. Densidad aparente…….....36
4.2. MATERIA ORGÁNICA Y CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO. 38
4.3. MACROFAUNA EN EL SUELO. 40
4.4. MICROFAUNA (MICORRIZAS)…….....41
4.5. CONTENIDO DE CARBONO EN EL SUELO…….....42
4.5.1. Carbono en las raicillas del suelo……42
4.5.2. Carbono en el suelo……..43
4.6. PRODUCCIÓN DE FORRAJE DE LA PASTURA MATERIA SECA (kg/ha). 44
4.7. COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE LA PASTURA. 45
4.8. CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES DEL FORRAJE. 46
V. CONCLUSIONES……..48
VI. RECOMENDACIONES…….49
VII. LITERATURA CITADA……50
VIII.ANEXO……58

RESUMEN.

El presente trabajo de tesis se realizó en dos fundos ganaderos de la región Ucayali desde febrero a agosto del 2018; el objetivo fue evaluar el cambio en las características físicas, químicas, biológicas y el monitoreo de la fijación de carbono en el suelo, como efecto de la roturación y la incorporación de roca fosfórica aplicados para la recuperación de una pastura degradada de *Brachiaria decumbens*: la roturación del suelo y la incorporación de roca fosfórica en la pastura degradada. Se estudiaron dos tratamientos: $T_{1.}$ = Pastura sin recuperar de *Brachiaria decumbens*. T_{2}. = Roturación del suelo + 200 kg de Roca fosfórica. Las variables evaluadas fueron: Características físicas del suelo: textura, densidad aparente. Materia orgánica. Características químicas del suelo: pH, P, K, CIC, Al. Análisis biológico del suelo: Macrofauna y microfauna- micorrizas. En la Pastura: Biomasa MS Kg/ha, Composición botánica, Proteína y fósforo. Análisis del contenido de carbono en el suelo. Se utilizó una prueba de t de student para conocer las diferencias existentes entre las variables antes y después de la aplicación de los elementos tecnológicos. Los resultados muestran que la recuperación de la pastura se refleja a partir de los tres meses de aplicados los elementos tecnológicos alcanzando la producción de forraje de 5345 k/ha de MS, y a los 6 meses de 6432 kg/ha de MS. La composición botánica de la pastura a los seis meses fue de 48% de *B. decumbens* mientras que la maleza se reduce a un 34%, La proteína en la pastura recuperada se incrementó en un 137% y el P en un 60%; la presencia de Ca, Mg, y K en el tejido de la pastura no tuvo ningún incremento. La textura en los primeros 20 cm de profundidad fue Franco Arcilloso y a los 50 cm de profundidad fue arcilloso. La Densidad Aparente fluctuó de 1.18 a 1.27 de 0 cm a 20 cm de profundidad y de 1.32 a 1.40 de 20 cm – 100 cm de profundidad en la pastura recuperada. La cantidad de macrofauna se incrementó en pequeña cantidad no siendo significativa en los siete meses que duró el experimento. Con respecto al carbono en el suelo hubo un incremento significativo con respecto al suelo degradado versus la pastura mejorada. Se concluye que la roturación del suelo y la incorporación de Roca Fosfórica ha permitido la recuperación de la pastura degradada de *Brachiara decumbens* mejorando significativamente la cantidad y calidad del forraje, con la consecuente mejora de las condiciones físicas,

químicas y biológicas. Por lo tanto, la presente tecnología se recomienda a los ganaderos para el mejoramiento de sus pasturas, por ser una tecnología accesible y de bajo costo.

Palabras claves: Cambios físicos, químicos, biológicos, suelo, roca fosfórica, braquiaria *(Brachiaria decumbens).*

ABSTRACT.

The present thesis work was carried out in two cattle ranches in the Ucayali region from February to August 2018; The objective was to evaluate the change in the physical, chemical, biological characteristics and the monitoring of carbon fixation in the soil, as an effect of the plowing and the incorporation of phosphate rock applied for the recovery of a degraded pasture of Brachiaria decumbens: the soil clearing and the incorporation of phosphate rock into degraded pasture. T2. = Soil clearing + 200 kg of phosphate rock. The variables evaluated were: Physical characteristics of the soil: texture, apparent density. Organic material. Soil chemical characteristics: pH, P, K, CIC, Al. Soil biological analysis: Macrofauna and microfauna- mycorrhizae. In Pasture: Biomass MS Kg / ha, Botanical composition, Protein and phosphorus. Analysis of the carbon content in the soil. A student's t test was used to determine the differences between the variables before and after the application of the technological elements. The results show that the recovery of the pasture is reflected after three months of applying the technological elements, reaching the forage production of 5345 k / ha DM, and after 6 months of 6432 kg/ha MS. The botanical composition of the pasture at six months was 48% of B. decumbens while the weed was reduced to 34%. The protein in the recovered pasture increased by 137% and the P by 60%; the presence of Ca, Mg, and K in the pasture tissue did not have any increase. The texture in the first 20 cm of depth was Clay Loam and at 50 cm of depth it was clay. Apparent Density ranged from 1.18 to 1.27 from 0 cm to 20 cm deep and from 1.32 to 1.40 from 20 cm - 100 cm deep in the recovered pasture. The amount of macrofauna increased in a small amount, not being significant in the seven months that the experiment lasted. With regard to carbon in the soil, there was a significant increase with respect to degraded soil versus improved pasture; It is concluded that the soil clearing and the incorporation of Phosphoric Rock has allowed the recovery of the degraded pasture of Brachiara decumbens, significantly improving the quantity and quality of the forage, with the consequent improvement of the physical, chemical and biological conditions. Therefore, this technology is recommended to farmers to improve their pastures, as it is an accessible and low-cost technology.

Keywords: Physical, chemical, biological changes, soil, phosphate rock, brachiaria (Brachiaria decumbens).

LISTA DE CUADROS.

Pág.

Cuadro 1. Datos de las condiciones climáticas……..29

Cuadro 2. Textura del suelo de 0 a 20 cm de profundidad…….……36

Cuadro 3. Textura del suelo de 20 a 5 cm de profundidad……..36

Cuadro 4. Propiedades químico del suelo de 0 a 20 cm . ……..39

Cuadro 5. Análisis químico del suelo de 20 a 50 cm 39

Cuadro 6. Numero poblacional de esporas de micorrizas……..41

Cuadro 7. Carbono en el suelo antes y después de la aplicación de los elementos tecnológicos …….43

Cuadro 8. Calidad nutritiva de la pastura *Brachiaria decumbens* degradada y recuperada. ……..47

LISTA DE FIGURAS.

En el texto:		**Pág.**
Figura 1.	Precipitación pluvial de febrero – agosto del año 2018…..	29
Figura 2.	Dimisiones de la parcela…….	35
Figura 3.	Densidad Aparente del suelo de *Brachiaria decumbens* degradada, y de *Brachiaria decumbens* a siete meses….	37
Figura 4.	Macro fauna en el suelo en una pastura degradada y recuperada, Biomasa en kg/ha……...	40
Figura 5.	Esporas de micorrizas encontradas en la primera y segunda evaluación del experimento……..	42
Figura 6.	Carbono existente en el suelo degradado, y suelo recuperado……	43
Figura 7.	Producción de forraje MS (Kg/ha) de *Brachiaria decumbens* degradada, a tres y seis meses después de los elementos tecnológicos aplicados para la recuperación de la pastura……..	45
Figura 8.	Composición botánica (%) de la pastura degradada, pastura recuperada a tres y seis meses después de aplicado los elementos tecnológicos……	46
En el anexo:		
Figura 9A.	Extracción de la muestra para evaluar extracción de carbono en las Raicillas……...	59
Figura 10A.	Lavado de la tierra para la extracción de raicillas……	59
Figura 11A.	Mediciones para la extracción de muestra de raíces……..	60
Figura 12A.	Raicillas del suelo……	60
Figura 13A.	Extracción de muestra para análisis físico y químico del suelo..	61
Figura 14A.	Muestra para la Evalucion de macro fauna……...	61
Figura 15A.	Evaluación de densidad aparente del suelo…….	62
Figura 16A.	Preparación de muestra de suelo para análisis de carbono…..	62
Figura 17A.	Equipos para evaluación de macro fauna……	63
Figura 18A.	Recolección de macro fauna……...	63
Figura 19A.	Recolección de muestra de análisis foliar…….	64

Figura 20A. Pesaje de macro fauna y Conteo de las esporas de micorrizas..... 64

I. INTRODUCCIÓN.

Las tierras aptas para pastos en el Perú son 27’600,000 hectáreas aproximadamente y constituyen la base de la alimentación del 84% de la ganadería nacional; de estas el 50% son praderas degradadas con tendencia a la retrogresión y capacidad de carga menor a 0.2 unidades animales (UA/ha). Esta es una de las razones por las que el sector pecuario no ha alcanzado competitividad en la producción de carne, leche y fibras. Existen 5,000 comunidades campesinas que dependen del pastoreo extensivo de 12’000,000 ha, con participación activa de la mujer y los hijos. Las comunidades ubicadas sobre los 4,000 msnm, usan las tierras exclusivamente en ganadería y las que están ubicadas a menor altitud combinan agricultura con ganadería. Las comunidades requieren participar en las cadenas productivas agrarias en forma eficiente para incrementar su bienestar económico y elevar su nivel de vida.

Los suelos de la Amazonía poseen una amplia gama de suelos, entre los cuales más del 50% son denominados ultisoles que por su baja calidad pueden ser utilizados en pasturas y bosques. De acuerdo a su capacidad de uso el 20% del total de hectáreas de la selva pueden usarse para pasturas. De estudios realizados en los suelos de Pucallpa, en la zona hay dos grandes grupos con buen drenaje, pero ambos responden a las características siguientes: son deficientes en Nitrógeno, el uso del fertilizante nitrogenado hará que la ganadera basada en pasturas sea racionalmente económica.; son deficientes en fósforo; en los primeros estados de explotación no son deficientes en potasio; en su presente estado no requieren aplicación de cal; y la mayoría de las especies tropicales toleran el aluminio presente en el suelo (Morales 1982).

La región Ucayali dispone de aproximadamente 116 000 ha de pasturas, donde el 29% está conformado por pasturas naturalizadas tipo “torourco", el 30% por pasturas mejoradas, el resto son áreas de reserva y/o en abandono. Las especies más difundidas en los fundos con alimentación en base a pasturas mejoradas son el *Brachiaria decumbens* en 55,3%, *Brachiaria humidicola* 4,4% y *Stylosanthes guianensis* 4,4%. Las otras gramíneas y leguminosas mejoradas están en niveles inferiores al 4% (Abanto *et al.* 1997).

La degradación de pasturas es un problema ecológico y económico muy importante. El problema ecológico está relacionado a la degradación del medio ambiente, así como a una erosión severa del suelo. El problema económico está asociado a la reducción de la producción animal con la consiguiente escasez de productos para los consumidores rurales y urbanos (Loker 1988).

Debido al rol que cumplen los pastos en el sector rural, se crea la necesidad de generar y validar paquetes tecnológicos para potenciar la producción, productividad y calidad del recurso pasto y mejorar la rentabilidad de la crianza por unidad de área, con lo cual el ganadero incrementará sus ingresos económicos y, por ende, su calidad de vida.

Por lo expuesto el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el cambio en las características físicas, químicas, biológicas del suelo y el monitoreo de la fijación de carbono en el suelo, como efecto de la roturación y la incorporación de roca fosfórica en la recuperación de una pastura degradada de *Brachiaria decumbes*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. DEGRADACIÓN DE PASTIZALES.

En la región Ucayali la ganadería vacuna es principalmente de carácter extensivo - tradicional, siendo este manejo en los fundos más alejados de la cuidad de Pucallpa, ya que en estos fundos tiene como finalidad el ganado de carne y no ordeñan. Los fundos ganaderos situados en el margen de la carretera Federico Basadre - CFB (Pucallpa – Lima) cercanos a la cuidad de Pucallpa tienen un manejo semi intensivo con crianza de ganado de doble propósito los cuales ordeñan, aunque algunos ganaderos se acercan a un manejo intensivo debido a la especialización en la crianza de ganado lechero. (Vela y Takuchi 2012).

Esta actividad, se caracteriza por su bajo nivel técnico y rendimiento productivo, teniendo como consecuencia pastos de baja calidad o pastos en estado de degradación por el mal manejo técnico, además aún no se ha logrado acoplar gramíneas y leguminosas los cuales pueden aportar con proteínas y otros elementos que no proporcionan las gramíneas, en la actualidad una leguminosa que ha prosperado en estos suelos ácidos, es la kudzu que se le considera como una leguminosa naturalizada.

En esta zona el pasto representa el elemento más importante en la producción ganadera, ya que es el segundo componente primordial de la base productiva de la actividad ganadera en la región. Existen aproximadamente 22,837 ha de pasturas (gramíneas), en las cuales el 77.26% corresponde a pastos cultivados donde hay principalmente *Brachiaria decumbes,* en segundo puesto, pero en áreas pequeñas de *Brachiaria brizantha* cultivar Marandu y en algunos fundos la *Brachiaria dictyoneura* y finalmente una variedad conocida como Zaraes introducida por la empresa de venta de semillas SAIU. Muy pocas áreas se encuentran asociadas con leguminosas que fueron estudiadas y liberadas en Pucallpa en el marco del convenio INIA- IVITA – CIAT entre los años 1985 -2000. En algunos casos las gramíneas se encuentran asociadas con kudzu (*Pueraria phaseoloides*), *Arachis pintoi*, Centrosema (*Centrosema macrocarpun*) o Stylo (*Stylosanthes guianensis*). El 10.77% corresponde a

pastos naturalizados denominados “torurco”. (Complejo de gramíneas y leguminosas herbáceas de bajo valor nutritivo y biomasa), existe un 11.80% de pasturas en diferentes formas de degradación y el 0.17% corresponde a pasturas de corte. La alimentación del ganado en general lo realiza al pastoreo en los potreros de manera extensiva a campo abierto, en un solo lote. En ninguno practica deliberadamente los sistemas silvopatoriles, solamente a nivel experimental (Vela 2012, Vela 2013).

En la región Ucayali la perdida de fertilidad en suelos ganaderos como consecuencia de la compactación de un mal manejo principalmente en sobrepastoreo constituye una de las causas más importantes de la degradación de los pastizales mejorados, trayendo como consecuencia la disminución de la biomasa vegetal y por siguiente la baja producción leche y carne (Vela 2012).

La degradación de un pasto se caracteriza inicialmente como una degradación agrícola donde trae como consecuencia un cambio en la composición botánica en dependencia al aumento de malezas y la disminución de la biomasa forrajera, se considera un pasto degradado cuando la especie deseada ha perdido su vigor y capacidad productiva por unidad de área y por animal y son sustituidas por especies indeseables de escasos rendimiento y valor nutritivo y se encuentran zonas despobladas. Ello provoca el deterioro del agro ecosistema pastizal.

La ganadería es acusada por los ambientalistas como la principal causa de la desertificación y degradación de los suelos, indicación que no es justa, pues las pasturas bien manejadas constituyen una opción para mantener la fertilidad de los suelos.

Según Padilla et al. (2002, 2003), Brown (2003), Padilla y Sardiña (2003) las principales causas de la degradación de los pastizales se encuentran relacionadas y mencionan como las principales: a) suelos con fertilidad baja, b) sobrepastoreo, c) la agresividad de plantas invasoras, d) sequias fuertes y ataque de plagas y enfermedades, e) la mala adaptación de las especies introducidas, f) las deficiencias en los sistemas de establecimiento y manejos

de las pasturas, g) la fertilización limitada, h) la ausencia de leguminosas, i) las políticas inadecuadas de desarrollo de los pastos y j) la deficiente generación y transferencia de tecnologías pecuarias.

El fósforo disponible en el suelo en gran parte de Brasil, define en gran cantidad, la productividad y vida útil de los pastizales tecnificados. En el trópico americano de las sábanas y de otras regiones del planeta la falta de fósforo es una de las principales causas en el deterioro de los pastizales de gramíneas y leguminosas (Sardiña 2005).

El sistema suelo es la fuente principal de nutrientes y minerales de la que dependen finalmente las plantas, los animales y el hombre (Estrada 2002). Sin embargo, el equilibrio de este sistema dinámico de materiales orgánicos, inorgánicos, aire y agua se modifica con la implementación de prácticas agrícolas y pecuarias para la obtención de alimentos y materias primas.

Muchos autores han conceptuado sobre la degradación de pasturas; sin embargo, hay elementos comunes como la pérdida de productividad, la invasión de malezas y la degradación de suelos en condiciones edafoclimáticas y bióticas específicas (León 2006, Spain y Gualdrón 1988, Holmann et al. 2004). La degradación de los pastizales se define como una pérdida en su condición, producto de cambios ecológicos y ambientales negativos, entendiendo como condición de las pasturas, la sumatoria de parámetros tales como la composición botánica y la cobertura vegetal (Szott et al. 2000). En síntesis, es un proceso evolutivo de pérdida de vigor, productividad y capacidad de recuperación natural de las pasturas que les impide sostener los niveles de producción y calidad exigida por los animales, así como superar los efectos nocivos de plagas y enfermedades y diversos manejos inadecuados (Moura et al. 2005).

Después de mucho tiempo de utilizarlas el pasto, es posible que sufran importantes cambios en la estructura del suelo como la compactación, que tapona el sistema poroso, aumenta la escorrentía y el arrastre de partículas, la pérdida de materia orgánica y la disminución del desarrollo de las raíces finas y,

por tanto, la extracción de nutrientes (Botero 2013, Hoyos et al. 1995). Este deterioro incide en la eficiencia productiva de la pastura, por lo cual es necesaria la indagación sobre sistemas de evaluación sencillas y de bajo costo que puedan ser usadas por los productores para la toma de decisiones (Holmann et al. 2004).

Una importante herramienta en la evaluación de pasturas es la formulación de indicadores multicriterio, de fácil construcción e interpretación por parte del productor. Se denomina 'indicador' a una observación empírica que sistematiza aspectos de un fenómeno, los cuales resultan importantes para uno o más propósitos analíticos y prácticos. Si bien el término 'indicador' puede aludir a cualquier característica observable de un fenómeno, suele aplicarse a aquellas que son susceptibles de expresión numérica (Cecchini 2005). Cuando se emplean varios criterios en el proceso de definición de indicadores se tiene más probabilidad de acierto en los diagnósticos y la toma de decisiones. Así, los análisis multicriterios parten de la base que el decisor debe establecer la importancia relativa de cada uno de los indicadores y de sus objetivos, para luego definir una estructura de preferencias que pueden expresarse mediante ponderaciones (Roche y Vejo 2005). Además, siguiendo a Ravera et al. (2009), se utilizan indicadores identificados previamente que representen, a diferente escala, múltiples percepciones de los procesos de degradación. Así, éstos pueden condensarse en un índice que es un indicador agregado o ponderado que se basa en varios otros indicadores o datos (Segnestam et al. 2000).

2.2. DEGRADACIÓN DEL SUELO.

El fenómeno de degradación se manifiesta en la pérdida de la cubierta vegetal o en el descenso de la productividad agrícola asociado con cambios importantes en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que incrementa su vulnerabilidad ante los agentes erosivos. Las causas para que un suelo se degrade son las siguientes:

2.2.1. Compactación del suelo.

Éste proceso ocurre como consecuencia de los procesos de pérdida de la materia orgánica, uso intensivo de maquinaria agrícola, sobrepastoreo e

inundación de tierras entre otras. El suelo compactado pierde la capacidad de almacenamiento de agua y aire y por lo tanto se reduce la oferta de estos elementos para el desarrollo de la vegetación.

2.2.2. Erosión.

El suelo se desgasta naturalmente debido a la acción de la lluvia y del viento, sin embargo, debido a la acción humana este proceso se aceleró. Este proceso de erosión por acción humana es entonces corregible, de lo contrario el suelo puede volverse estéril y causar una migración forzada (Figueroa 2004).

2.2.3. Desertificación.

Es la degradación de la tierra en áreas áridas, semiáridas y zonas subhúmedas secas como resultado de varios factores que incluyen las variaciones climáticas y las actividades humanas (Pava 2011).

2.3. RESTAURACIÓN DEL SUELO.

La restauración de suelos es el reverso de la degradación del suelo y los suelos degradados pueden restaurarse por sí mismos una vez que los factores causantes de la degradación son eliminados. Esto involucra un adecuado uso de la tierra y la selección de un apropiado sistema de manejo del suelo y del cultivo para revertir la tendencia a la degradación. El uso apropiado de la tierra (de acuerdo a la evaluación de la capacidad de uso) y el adecuado manejo de suelo y cultivos (según la capacidad del suelos y requerimiento del cultivo) revertirán la tendencia a la degradación a través de la activación de las características de resiliencia del suelo (Lal 1998, citado por López 2002).

2.4. PRÁCTICAS DE RECUPERACIÓN DE SUELOS.

Los factores que determinan la recuperación pueden multicausales, por lo cual se requiere evaluar el origen e importancia de cada una con el fin de definir el orden o prioridad de las prácticas de rehabilitación.

2.4.1. Cobertura de suelo.

La cobertura del suelo tiene una acción protectora por la interceptación y absorción del impacto directo de la gota de lluvia, previniendo así el sellado de la superficie y preservando la estructura del suelo inmediatamente por debajo de la misma. Asimismo, la cobertura del suelo, con plantas en crecimiento, varía de especie a especie, en función de sus características fenológicas y vegetativas (ciclo, hábito de crecimiento, altura, velocidad de cobertura del suelo, estado de crecimiento) y de las prácticas culturales necesarias para su cultivo como la densidad poblacional, fertilización y encalamiento.

2.4.2. Abonos verdes.

Es la utilización de plantas en rotación, sucesión y asociación con cultivos comerciales, incorporándose al suelo o dejándose en la superficie, ofreciendo protección, ya sea como un mantenimiento y/o recuperación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Adams 1966, citado por FAO 2000).

2.4.3. Enmienda orgánica.

Un suelo con bajo contenido en materia orgánica y por ende con escasa actividad microbiana determina una baja calidad y fertilidad edáfica, lo que finalmente dificulta la instauración de una cubierta vegetal. La introducción de un enmendante orgánico en el suelo promueve el desarrollo de reacciones químicas, físico-químicas y procesos microbiológicos. Estas reacciones conducen a modificaciones en las características físicas del suelo, lo que se manifiesta en aumentos de la capacidad de retención de agua, infiltración, porosidad y estabilidad estructural (Roldan et al. 1996, citado por Figueroa 2004).

2.5. PROPIEDADES DEL SUELO.

Una propiedad física, química o biológica del suelo es aquella que caracteriza al suelo; por ejemplo, la composición química y la estructura física del suelo está constituida por el tipo de material geológico del que se origina, por la cubierta vegetal, por el tiempo en que ha actuado el intemperismo (desintegración por agentes atmosféricos), por la topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas a través del tiempo (Volke 2005).

Las propiedades físicas y químicas del suelo afectan a la fauna que lo habita de manera directa por el contenido de materia orgánica y de humedad, el pH, la estructura del suelo y la aeración y de forma indirecta a través del efecto que tienen sobre la vegetación (Dubs et al. 2004, Swift et al. 1976, citado por Curry 1987). Los suelos requieren de muchos años para regenerarse y recuperar sus características físicas, químicas y biológicas en forma natural, proceso que requiere como mínimo 10 años para iniciar un nuevo ciclo agrícola (Vargas y Valdivia 2005).

2.5.1. Propiedades Físicas.

2.5.1.1. La textura.

Es una de las propiedades que puede ser utilizada como indicador de la calidad del suelo, ya que este refleja la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros (Hünnemeyer et al. 1997).

2.5.1.2. Estructura.

La estructura del suelo está relacionada estrechamente con la textura, existen diferentes tipos o clases de estructura del suelo, por ejemplo:

estructura porosa (el suelo se desmorona al frotarlo); granítica (el suelo es duro); laminar (los minerales están formando laminas); columnar (los minerales forman columnas o bases, etc.) (Porta 2003).

2.5.1.3. Resistencia a la penetración.

La resistencia a la penetración se ve afectada por compactación del suelo que ocurre cuando se aplica presión o carga a la superficie del suelo, esto como resultado de pisoteo de animales y personas, la inadecuada utilización de equipos como tractores, especialmente cuando el suelo está húmedo. El tipo de sistema radicular es la otra condicionante del grado de penetración de las raíces, la resistencia a la penetración depende marcadamente del contenido de agua del suelo: cuanto más seco está el suelo mayor es su resistencia a la penetración (Ramírez 2005).

Asimismo, Fixen (1994) menciona que la resistencia física a la penetración de las raíces en suelos compactados reduce la habilidad para obtener fósforo. Y produce una severa restricción del crecimiento de las raíces, causada primordialmente por el pisoteo de los animales, uso de los equipos para granja y para laboreo, y tráfico vehicular (Doran y Lincon 1999).

2.5.2. Propiedades químicas.

2.5.2.1. Reacción del suelo.

Una de las características del suelo más importantes es su reacción, ésta ha sido debidamente reconocida debido a que los microorganismos y plantas superiores responden notablemente tanto a su medio químico, como a la reacción del suelo y los factores asociados con ella. Tres condiciones son posibles: acidez, neutralidad y alcalinidad (Buckman y Brady 1966).

Los suelos ácidos suelen presentar concentraciones de Ca muy bajas y limitantes de la producción vegetal. Para aportar importantes

cantidades de Ca al suelo y aumentar su pH, se suele aconsejar la aplicación de carbonato cálcico ($CaCO_3$), debido a que este producto es barato, su solubilidad es relativamente baja (sus efectos duran varios años) e incrementa el pH Dicho incremento a su vez reduce o elimina la toxicidad por aluminio, que es otro inconveniente típico de los suelos ácidos (Moreno 1978).

La acidez de los suelos limita el crecimiento de las plantas debido a una combinación de factores que incluyen la toxicidad de aluminio, manganeso e hidrogeno y la deficiencia de nutrientes esenciales, especialmente calcio, magnesio, fosforo y molibdeno. Pero el factor limitante del crecimiento más importante en estos suelos ácidos, es la toxicidad del aluminio soluble e intercambiable (Sadzawka et al. 2006). Etchevers (1988) afirma que la toxicidad del Al es probablemente el factor que más limita el crecimiento de las plantas en suelos fuertemente ácidos (pH menor que 5.5 en la mayoría de los suelos). Fassbender (1987) sostiene que el factor más perjudicial para las plantas en suelos fuertemente ácidos es la toxicidad de Aluminio (Al+3), particularmente cuando el pH es inferior a 5.0. La toxicidad del Al+3 también limita la degradación microbiana de la materia orgánica.

2.5.2.2. Materia orgánica.

La materia orgánica del suelo constituye la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo, así como sustancias producidas por los organismos del suelo. La parte más estable de esta materia orgánica se llama humus, que se obtiene de la descomposición de la mayor parte de las sustancias vegetales o animales añadidas al suelo. La fracción orgánica del suelo regula los procesos químicos que allí ocurren, influye sobre las características físicas y es el centro de casi todas las actividades biológicas en el mismo, incluyendo la micro flora y la fauna (Bornemisza 1982).

2.5.2.3. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de una

muestra de suelo o de alguno de sus componentes, expresa: el número de moles de iones de carga positivos adsorbidos que pueden ser intercambiados por unidad de masa seca, bajo unas condiciones dadas de temperatura, presión, composición de la fase liquida y una relación de masa-solución dada. Un mol de carga positiva equivale a 6.02x1023 cargas de cationes adsorbidos. En unidades la CIC se expresa en centimoles de carga positiva por kilogramo, cmol (+) kg-1 o bien cmolc kg-1. Con anterioridad se venía utilizando como unidad el meq/100g, cuyo uso se halla todavía muy extendido, el valor numérico es el mismo con ambas unidades (Porta 2003). La determinación de la CICe, es la suma de calcio, magnesio, potasio, sodio y aluminio (contribución del aluminio en la CICe) dan una buena estimación de la toxicidad de aluminio en suelos (Sadzawda y Campillo, 1999). Sánchez (1981) afirma que se necesita un CIC efectivo de por lo menos 7 meq/100g, para retener la mayoría de los cationes contra la lixiviación.

2.5.2.4. El nitrógeno del suelo.

Las formas asimilables de nitrógeno por las plantas son la nítrica y la amoniacal y la mayor reserva de nitrógeno se encuentra en la atmósfera, este contenido atmosférico se aprovecha en parte a través de los procesos microbianos como la fijación de nitrógeno (Bornemisza 1982).

Las formas minerales del nitrógeno en el suelo provienen generalmente de la descomposición de los residuos orgánicos de nitrógeno, materiales frescos orgánicos, abonos orgánicos. Humos, etc. Estas formas por lo general son nitrógeno amoniacal N-NH4+ y el nitrógeno nítrico N-NH3-. Estos procesos biológicos y minerales ocurren debido a la influencia de los macro y micro organismos existentes en el suelo. Determinación de nitrógeno total en suelo se realizará mediante el método Kieldhal clásico o Kieldhal modificado en algunas ocasiones (Calderón 1999). Dahmke y Johnson (1990) menciona que la cantidad de nitrógeno en el suelo, depende de la temperatura, humedad, aireación, tipo de residuos orgánicos, pH, y otros factores. Asimismo, Sánchez (1981) sustenta que los factores que influyen en el contenido de materia

orgánica afectan también el contenido de nitrógeno, implicando una relación directa entre la evolución de este elemento con la materia orgánica.

2.5.2.5. El fósforo del suelo.

El fósforo posee baja solubilidad causante de la deficiencia en la disponibilidad de la planta, que las absorben en forma de fosfatos derivados del ácido fosfórico, el contenido total de fósforo también depende de la materia orgánica en suelos, al aumentar predominan los fosfatos orgánicos y se obtiene una mayor cantidad de fósforo total; la participación del fósforo total generalmente varía entre 25 al 75%. Todos los fosfatos son derivados del ácido fosfórico (H3PO4) y se encuentra en dos formas generales: orgánicos e inorgánicos; el fósforo orgánico se encuentra como: fosfolípidos, ácidos nucleicos y fosfato de inocitol; el fósforo inorgánico se encuentra principalmente como fosfatos de Ca, Al, Fe, y Mn predominando en suelos ácidos; estos suelos además de ser normalmente pobres en fósforo, tienden a retener o fijar este elemento en formas no solubles, difícilmente asimilables por las plantas (Bornemisza 1982).

El mismo autor sustenta que la fijación del fósforo puede ser el problema más serio en la rehabilitación de los suelos enfermos que sufren el síndrome de acidez, particularmente en suelos ricos en barro (arcilla). ARDENSON (1995) hace referencia que los suelos ácidos (pH<5) normalmente tienen bajo contenido de fósforo disponible para la planta y requieren niveles altos de fertilización con fósforo. Asimismo, Huamani y Mansilla (1995) reportan que la disponibilidad de fósforo es baja en pH bajos (ácidos) y esto acompañada de altas precipitaciones hacen que el fosforo precipite como fosfato insoluble de hierro y aluminio debido a su alta reactividad.

2.5.2.6. Potasio disponible.

Las plantas absorben el potasio como ión y su función es en la mayoría de los procesos vitales de la planta. Su rol en la planta es múltiple: Es el catión más importante, no solo respecto a su alto contenido en

los frutos, sino también respecto a sus funciones bioquímicas y fisiológicas tales como: a) Activación de enzimas; b) Crecimiento y división celular en tejidos jóvenes; c) Síntesis de carbohidratos, proteínas y aceites; d) Transporte de azúcares a través del floema usando ATP como fuente de energía; e) Uso del agua: la absorción de agua por las raíces y regulación de la transpiración; f) Mayor tolerancia a condiciones estresantes debido a la sequía, salinidad, heladas y enfermedades, y regulador de los balances iónicos en la planta (Morrás y Cruzate, 2001). Kolmans y Vásquez (1996) plantea que una deficiencia de potasio provoca bajo rendimiento y poca estabilidad de la planta, mala calidad y alta perecibilidad del producto cosechado, mayor necesidad de agua, bloqueo de la síntesis de proteínas (escaso efecto del nitrógeno), poca resistencia a plagas, enfermedades y heladas.

2.5.3. Propiedades biológicas.

2.5.3.1. Macrofauna del suelo.

La fauna del suelo o edáfica está constituida por organismos que pasan toda o una parte de su vida sobre la superficie inmediata del suelo, en los troncos podridos y la hojarasca superficial y bajo la superficie de la tierra, incluyendo desde animales microscópicos hasta vertebrados de talla mediana.

Para vivir en el suelo, estos organismos han tenido que adaptarse a un ambiente compacto, con baja concentración en oxígeno y luminosidad, pocos espacios abiertos, baja disponibilidad y calidad de alimentos y fluctuaciones micro climáticas que pueden llegar a ser muy fuertes (Lavelle et al. 1994).

2.5.3.2. Microfauna edáfica.

La microfauna se refiere a las formas de vida animal de ancho menor a 0.1 mm. El principal papel de la microfauna en el suelo es la disgregación de la materia orgánica y la diseminación de la micro flora. Un ejemplo particular de la función de la microfauna se puede ver en el suelo, donde son importantes en el ciclo de los nutrientes en los ecosistemas. Son capaces

de digerir casi cualquier sustancia orgánica, y algunas sustancias inorgánicas (tales como TNT y caucho sintético). Estos organismos suelen ser eslabones esenciales de la cadena alimentaria entre productores primarios y las especies más grandes mm (Bignell, Constantino y Karyanto 2008).

2.5.3.3. Micorrizas.

Se conoce con el nombre de micorriza a la asociación mutualista establecida entre las raíces de la mayoría de las plantas y ciertos hongos del suelo. Se trata de una simbiosis prácticamente universal, no sólo porque casi todas las especies vegetales son susceptibles de ser micorrizadas sino también porque puede estar presente en la mayoría de los hábitats naturales. Las micorrizas son tan antiguas como las propias plantas y se conoce su existencia desde hace más de cien años; estimándose que aproximadamente el 95% de las especies vegetales conocidas establecen de forma natural y constante este tipo de simbiosis con hongos del suelo (Hernández 2001).

Los hongos micorrizógenos es uno de los microorganismos beneficiosos más estudiados y empleados en la actualidad. Son tantas las especies, cepas existentes, y tan diversas sus formas de actuar en la planta y en el suelo, que se pude asegurar que están presentes en casi todas las especies vegetales y los suelos agrícolas existentes en el mundo. Estos microorganismos, que por naturaleza son microorganismos del suelo, el hombre ha logrado aislarlos y reproducirlos de manera vertiginosa, convirtiéndolos en un gran aliado del productor y de personas que lo emplean para diferentes fines y propósitos naturales y ecológicos.

Definición de Micorriza Etimológicamente, la palabra se ha formado del término griego “mykos” (hongo) y del vocablo latino “Rhiza” (raíz). El término micorriza, cuyo significado literal es hongo - raíz, se aplicó por primera vez a las asociaciones que se establecen entre plantas terrestres y determinados hongos del suelo, siendo descrito por el patólogo alemán Albert Bernard Frank en 1885 (Frank 1885). Él estableció que dicha asociación era mutualista dados los beneficios que reporta la misma para ambos participantes,

y comprende la penetración radical por parte del hongo y la carencia de respuesta perjudicial hacia éste por parte de la planta hospedera que lo impida. Al ser un fenómeno tan extendido el término «micorrizas» se ha convertido al nivel de usuarios en el nombre con el que se designan a los hongos implicados en su formación, aunque tal denominación no sea muy correcta, esas mismas rutinas coloquiales han llevado a acuñar términos como «micorrizar»: poner en contacto los hongos micorrízicos con plantas y «micorrización»: para indicar el establecimiento de la simbiosis.

2.5.3.4. La investigación sobre las micorrizas en la Amazonía peruana.

La micorriza en bosques tropicales tiene una larga historia. Un artículo escrito por Janse (1896) fue publicado once años después que el artículo de Frank (1885), quien acuñó la palabra ‘micorriza’. Este trabajo contiene no solamente algunas de las primeras descripciones exactas de micorrizas arbusculares, orquidáceas y ericoides, sino también descripciones detalladas de plantas micoheterotróficas orquidáceas y no orquidáceas. Aun en los tiempos de Janse fue aparente la presencia de muchas y variadas interacciones micorrícicas de especies coexistentes, pero filogenéticamente distantes, de bosques tropicales. Inexplicablemente, dada la importancia ecológica y económica de los bosques tropicales y el probable rol de las micorrizas en el mantenimiento de su biodiversidad y productividad, las micorrizas de las especies de bosques tropicales no atrajeron mucha atención en los siguientes cien años. Aun en este siglo, solo 170 de los 5600 artículos publicados sobre micorrizas entre los años 2000 y 2008 se refieren explícitamente a los bosques tropicales (Alexander y Selosse 2009). Sin embargo, las cosas podrían cambiar en tanto que las atenciones de los investigadores en micorrizas cambien, aunque tardíamente, debido a las amenazas a la biodiversidad en los bosques tropicales, su importancia en el entendimiento de la biogeografía de los hongo de micorrizas arbusculares y su rol fundamental en el ciclo de carbono de la tierra y en el sistema climático (Gilbert y Strong 2007).

Resulta importante también considerar que en la Amazonía peruana alrededor del 65% de los suelos están clasificados como Ultisoles, los que se caracterizan por ser extremadamente ácidos y deficientes en fósforo disponible. Es precisamente en estos suelos donde los hongos de micorriza arbuscular abundan y tienen un rol relevante, ya que muchas especies de plantas dependen de estos hongos para tomar en forma eficiente el fósforo del suelo y sobrevivir (Gilbert y Strong 2007).

2.5.3.5. Factores que afectan la supervivencia de las micorrizas.

Entre los principales factores que afectan la supervivencia de los hongos de micorriza arbuscular en la Amazonía peruana se encuentran la deforestación movida por diferentes causas y el uso excesivo de fertilizantes fosfatados en los viveros y en las plantaciones de cultivos agroindustriales.

La deforestación de la Amazonía peruana ocasionada por la agricultura migratoria y la ganadería extensiva, la producción de cultivos ilícitos, la extracción no controlada de madera, la minería ilegal y la producción de cultivos industriales y biocombustibles (en los últimos años) tiene consecuencias graves, como la degradación de los recursos naturales y la pérdida de la biodiversidad. Sin embargo, cuando se evalúan las pérdidas de la biodiversidad, se toman solo en cuenta a las especies de flora y de fauna y no se considera a la biota del suelo, incluyendo a los hongos de micorriza, como si esta no tuviera relevancia en el funcionamiento de los bosques. La deforestación reduce la diversidad de las micorrizas (Alexander y Selosse 2009) afectando su supervivencia y por ende disminuyendo y/o eliminando las diversas funciones que cumplen en los bosques.

El uso excesivo de fertilizantes fosfatados en los viveros y plantaciones agroindustriales Otro factor importante que afecta la diversidad y la supervivencia de las micorrizas está relacionado con la producción extensiva de cultivos agroindustriales en los Ultisoles. En los últimos años se ha venido impulsando en estas áreas el cultivo de diferentes especies con alto potencial de producción agroindustrial, tales como palma aceitera, cacao, café, caña de

azúcar, piñón blanco, etcétera; así como también la plantación de especies forestales y agroforestales, todas las cuales requieren niveles adecuados de fósforo disponible en el suelo para obtener rendimientos que sean rentables para los agricultores.

Los beneficios de las micorrizas aumentan en suelos deficientes en fósforo y disminuyen en tanto los niveles de fosfatos aumentan. Las cantidades excesivas de fertilizantes fosfatados inhiben la formación de la micorriza. Abbott y Robson (1979) encontraron que niveles de fósforo mayores a los requeridos para el crecimiento de las plantas eliminaron el desarrollo de los arbúsculos, estructuras de los HMA responsables de la transferencia de los nutrientes absorbidos por el hongo para la planta. Por otro lado, Swift (2003) reporta que los beneficios de los Hongo de micorrizas son mayores cuando los niveles de fósforo están por debajo de 50 ppm y que la colonización micorrícica va disminuyendo por encima de este nivel con ninguna colonización sobre los 100 ppm aun cuando se inocule con micorrizas.

2.6. RECUPERACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS.

FAO (2017), indica que, si bien no existe una definición única de degradación de la tierra acordada a nivel internacional, las tierras degradadas se definen como tierras que han perdido hasta cierto grado su productividad natural debido a procesos inducidos por la actividad humana. Las definiciones más actuales de degradación de la tierra engloban también cambios negativos en la capacidad de los ecosistemas de brindar una variedad de bienes y servicios sociales y ambientales. Las causas de la degradación incluyen el uso y la gestión inadecuados de la tierra, lo que puede ir desde la sobreexplotación de la vegetación local, el sobrepastoreo y la labranza excesiva hasta la eliminación de los residuos del cultivo. Los tipos de degradación incluyen la disminución de la fertilidad del suelo, el desequilibrio de nutrientes, la erosión, la compactación, la acidificación y la salinización. A largo plazo, estos fenómenos también pueden producir escorrentías extremas, reducir la humedad del suelo y su capacidad de regular el flujo de las aguas. Además, en lo que respecta al paisaje, la degradación de la tierra puede ser responsable de la pérdida de biodiversidad y producir cambios negativos en el microclima que faciliten la

desertificación. La degradación puede también influir negativamente en el cambio climático, al aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero.

Meza et al. (2006) mencionan que la degradación es un concepto subjetivo ya que depende de quién lo define. Etimológicamente, se define como la disminución gradual de cualidades o características. FAO (1984) señala que la degradación del suelo es el proceso de disminución de su capacidad actual y potencial para producir, cualitativa y cuantitativamente, bienes y servicios; se entienden como bienes las cosechas agrícolas o maderables y como servicios la seguridad alimentaria. Según, FAO (2003), la degradación del bosque es una reducción de la capacidad del mismo para producir bienes y servicios. El término «capacidad» se refiere a una escala de tiempo y al estado referencial de un determinado bosque.

2.7. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS AMAZÓNICOS.

Los suelos amazónicos se caracterizan por un nivel de fertilidad muy bajo en la fase mineral. Los suelos llamados de “altura” de la zona de Pucallpa, por ejemplo, tienen un alto grado de acidez, una saturación de bases muy baja, contenidos insuficientes de calcio, magnesio y potasio, una marcada pobreza en fósforo aprovechable y altos contenidos de aluminio de cambio (Díaz 2000).

El INIA y sus socios estratégicos, ICRAF y CIFOR, vienen desarrollando en la región amazónica peruana diversos estudios para rehabilitar suelos degradados a través de plantaciones forestales y agroforestales. Los trabajos de investigación se han enfocado en el manejo de los suelos a través del uso de enmiendas de roca fosfórica para corregir los problemas de acidez y toxicidad de aluminio y al mismo tiempo aplicando abonos orgánicos.

El manejo de suelos degradados en Latinoamérica, se inició durante la década de los 70’s con las primeras investigaciones sobre suelos tropicales, con los trabajos de IITA en Nigeria y la Universidad de Carolina del Norte (USA) en Perú y Brasil enfocando sobre los problemas de ‘roza-tumba-quema’ en los bosques tropicales. También el CIAT en Colombia y el consorcio de Carolina del

Norte y la Universidad de Cornell (USA) en Brasil iniciaron investigaciones sobre la problemática de los suelos tropicales en los ecosistemas de sabana. Inicialmente, los trabajos estudiaron las características básicas de los suelos tropicales, como el pH y su relación con el aluminio, los problemas de bajos niveles de la capacidad de intercambio catiónico, la falta de fósforo y la rápida pérdida de la materia orgánica. También hubo estudios sobre las características físicas de los suelos, enfocando sobre los aspectos como retención de agua, infiltración de agua y el potencial de erosión y escorrentía.

Durante la década de los 80's, los trabajos se enfocaron en el manejo de los suelos tropicales a través del uso de enmiendas de roca fosfórica y calcáreo para corregir los problemas de acidez, toxicidad de aluminio y, al mismo tiempo, aplicando los nutrientes de fósforo, calcio y magnesio. También se desarrollaron nuevos métodos de análisis químicos de los suelos para determinar los niveles críticos para todos los nutrientes esenciales en los cultivos. El otro factor muy importante fue obtener un mejor conocimiento sobre el rol de la materia orgánica. Bajo los sistemas naturales de bosques y sabanas, el reciclaje de nutrientes de la biomasa con materia orgánica fue la razón principal para el crecimiento y producción de la biomasa. Cuando el bosque es tumbado y quemado se perderá rápidamente la materia orgánica, empobreciendo el suelo (Proamazonía 2003).

2.7.1. Nitrificación de suelos tropicales.

El carbono (C) y el nitrógeno (N) son elementos esenciales en el crecimiento de los organismos. El N es un elemento clave en la producción primaria de los ecosistemas y su dinámica está ligada al ciclo del C (Chapin et al. 2002). La disponibilidad del N en el suelo está determinada por la actividad microbiana, que a su vez no sólo depende del agua, sino también de la energía disponible. El carbono orgánico del suelo es la principal fuente de energía para las poblaciones microbianas heterotróficas (Paul 2007). En consecuencia, numerosas investigaciones indican que cuando el agua es suficiente, las formas químicas disponibles del COS afectan la transformación y disponibilidad del N por su relación directa con la actividad microbiana (Verhagen y Laanbroek 1991,

Hart et al. 1994, Bernhardt y Likens 2002, Montaño et al. 2007, Wieder et al. 2012).

Estudios en ecosistemas tropicales sugieren que el carbono orgánico del suelo modula la dinámica de N en el suelo. Los suelos tropicales tienen altas concentraciones de nitrato (NO_3^-) y elevadas tasas de nitrificación, cuando la entrada de materia orgánica (MO) y el C disminuyen durante la estación húmeda (Singh et al. 1989, García-Méndez et al. 1991, Jha et al. 1996, Park y Matzner 2001). Este patrón de interacción dinámica: MO, C y nitrificación se ha asociado a la disponibilidad del agua (Stark y Firestone 1995); sin embargo, es durante la estación húmeda cuando también decrece la disponibilidad de C (García-Oliva et al. 2003), lo que sugiere que esto causa un aumento en las tasas de nitrificación (Montaño et al. 2007).

La alta nitrificación en estos suelos tiene diferentes consecuencias: (1) Los suelos de bosques tropicales tienen abundancia de N, por lo que son una fuente importante de óxido nitroso (NO) y óxido nítrico (N_2O) a la atmósfera, gases que se liberan durante la nitrificación o desnitrificación (Vitousek et al. 1989; Matson y Vitousek 1990; Davidson et al.;1993; Gärdenas et al. 2011), el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático reporta emisiones de hasta 14 Tg N año-1 (Prather 2001); mientras que (2) La oxidación quimiolitotrófica del amonio (NH_4^+) en ecosistemas limitados por agua es el principal proceso de generación de NO_3^- (López et al. 2003) y, (3) La nitrificación aumenta la posibilidad de que el N, en forma de NO_3^-, se pierda del suelo por lixiviación o por desnitrificación, lo que repercute negativamente en la disponibilidad del N y en la fertilidad del suelo (Gundersen et al. 1998, Paul 2007).

En este contexto, la disponibilidad del C podría afectar las formas químicas asimilables de N en los suelos tropicales, en función de los recursos para las poblaciones microbianas. Las investigaciones sobre este tema indican que los cambios en las tasas de nitrificación se deben a variaciones en la disponibilidad de C y N, sugiriendo competencia entre poblaciones microbianas heterótrofas por cantidades limitadas de C y entre las bacterias nitrificantes y

heterótrofas por N (Verhagen y Laanbroek 1991). Sin embargo, la competencia por recursos nutricionales no es el único factor que explica la nitrificación.

Se ha propuesto también que las tasas de nitrificación son debidas a: (1) Efectos alelopáticos de compuestos orgánicos que entran al suelo asociados con el ingreso de MO, (2) Un efecto de la estructura del suelo que protege el C y N al cambiar su disponibilidad química para las poblaciones bacterianas, y (3) A que los cambios en la textura del suelo afectan la actividad aerobia/anaerobia de las poblaciones bacterianas (Verhagen y Laanbroek 1991).

En los suelos tropicales son posibles las cuatro explicaciones anteriores sobre la nitrificación. Sin embargo, los contrastes estacionales y la baja concentración del C disponible y del NH4+ cuando el agua es no limitante, sugieren que estos recursos podrían regular la actividad biológica de las poblaciones microbianas asociadas con los ciclos de estos elementos. Por esta razón, este ensayo se basa en las relaciones biogeoquímicas y en la teoría de Lotka-Volterra en ecología de poblaciones para abordar y proponer un modelo conceptual hipotético que permita explicar el papel de la competencia entre microorganismos por C y N y su consecuencia sobre la nitrificación en suelos tropicales.

Evidencias biogeoquímicas del C y N en la competencia microbiana. Las principales evidencias que permiten comprender la competencia entre los distintos grupos funcionales microbianos por los nutrimentos y formular un modelo conceptual hipotético, se exponen a continuación.

2.7.2. Relación carbono orgánico-microorganismo.

El CO_2 es la principal fuente de energía para la actividad microbiana de mineralización de la MO del suelo, pero no todo está en formas químicamente disponibles. El C asimilable está integrado por moléculas estructural y químicamente sencillas ej: carbohidratos, proteínas simples y sus derivados como aminoácidos, mientras que el C no disponible está compuesto por

moléculas estructuralmente complejas como: la celulosa, la hemicelulosa y/o de difícil o lenta mineralización del tipo de la lignina y por recalcitrantes como sus derivados: ácidos húmicos, fúlvicos y huminas, que constituyen entre el 80 y 90% del COS. Las formas químicas asimilables del C son de rápida absorción y/o utilización como fuente de energía por las poblaciones heterotróficas microbianas, entre estas las bacterias heterotrófas, lo cual incrementa su biomasa y actividad, favoreciendo la mineralización de MO (Chapin et al. 2002). Las poblaciones microbianas aerobias heterotróficas y quimiolitotróficas, es decir la comunidad microbiana, son esenciales en la biogeoquímica del suelo, ya que mineralizan los compuestos orgánicos e inmovilizan en su biomasa a las formas inorgánicas evitando su lixiviación (Brookes 2001). En un ecosistema tropical en la India, Srivastava y Singh (1991) reportaron que la biomasa microbiana libera en el suelo hasta 64 kg ha-1 año-1 de N, y que además almacena nutrimentos durante la estación seca y los libera al inicio y durante la estación lluviosa. Esta mineralización de nutrimentos se debe a cambios en el potencial hídrico del suelo que inducen la plasmólisis de las células microbianas (Singh et al. 1989, Jaramillo y Sanford 1995). No obstante, además del agua, la biomasa y actividad microbianas dependen también de una concentración adecuada de C disponible, que es esencial para la síntesis de exoenzimas (Brookes 2001, Schimel y Weintraun 2003). El nivel de C asimilable en el suelo varía con la vegetación, el tipo de suelo, la estacionalidad de la lluvia, el relieve y entre micrositios (Chapin et al. 2002). En general, se reconoce que una disminución de la concentración o disponibilidad del COS para las poblaciones heterotróficas del suelo, podrían reducir la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrimentos (Altlas y Bartha 2002). Estudios realizados en suelos de bosques boreales (Vance y Chapin 2001), alpinos (Lipson et al. 2000), secos (Chen y Stark 2000, Montaño et al. 2007), templados (Hart et al. 1994) y húmedos (Eaton 2001) han demostrado que la biomasa y actividad microbianas varían en función de la heterogeneidad espacial y temporal de la disponibilidad del C en estos ecosistemas.

Los microorganismos incrementan o disminuyen la síntesis de exoenzimas en función de la cantidad y calidad del C y nutrimentos asimilables (Schimel y Weintraun 2003). Así, la incorporación de materia orgánica fresca

(MOF) enriquece el suelo con compuestos químicos lábiles de C, lo cual sostiene y estimula la mineralización de la MO recalcitrante. Por la especificidad de las exoenzimas microbianas para la degradación del C orgánico, la variación espacial o temporal del C disponible puede desencadenar una sucesión de grupos funcionales de microorganismos y, por lo tanto, de exoenzimas que participan en la despolimerización de los compuestos orgánicos de C y nutrimentos (Joshi et al. 1993). Por ejemplo, la entrada de MOF al suelo activa a bacterias heterótrofas que están en latencia cuando abundan moléculas orgánicas menos asimilables o recalcitrantes (Kuzyakov et al. 2000).

2.8. EL CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO.

Es un componente importante del ciclo global del Carbono, ocupando un 69,8% del C orgánico de la biosfera (FAO 2001). El suelo puede actuar como fuente o reserva de Carbono dependiendo de su manejo y uso. Se estima que desde que se establecen suelos nuevos a la agricultura, se producen pérdidas de COS que fluctúan entre 30 y 50% del nivel inicial (Reicosky 2002). La pérdida de material húmico de los suelos cultivados es superior a la tasa de formación de humus de suelos no perturbados por lo que el suelo, bajo condiciones de cultivo convencionales, es una fuente de CO_2 para la atmósfera. Existen prácticas agronómicas que favorecen la captura de C en el suelo (West y Post 2002). La labranza de conservación (Lal 1997), que incluye a las cero labranzas (FAO 2001), es un sistema de manejo de suelos que tiene una alta capacidad potencial para secuestrar C en el suelo (Rasmussen y Parton 1994, Rosell 1999). El carbono orgánico del suelo, COS, afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas con su: 1) calidad (Carter 2002, Wander et al. 2002), 2) sustentabilidad (Carter 2002, Acevedo y Martínez 2003) y 3) capacidad productiva (Sánchez et al. 2004, Bauer y Black 1994) por lo que, en un manejo sustentable, el COS debe mantenerse o aumentarse. Sin embargo, establecer una clara relación de dependencia entre el COS y la productividad del suelo es complejo (Moreno et al. 1999). Pese a la existencia de abundante literatura que documenta los efectos del COS sobre las propiedades del suelo que favorecen el desarrollo de los cultivos, existe poca

información sobre la contribución directa de un aumento de COS en la productividad del suelo.

2.8.1. Carbono orgánico y propiedades químicas del suelo.

La MOS 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 (Aguilera 2000). 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. La posterior nitrificación del NH_4+ en NO_3- resultaría en una disminución del pH debido a la liberación de los protones a la solución del suelo. La disminución del pH por formación de NO3- no conseguiría alcanzar los niveles originales de acidez dado que una alta concentración de NH_4+ tiene un efecto inhibidor de la nitrificación (Pocknee y Sumner 1997). Por otro lado, la MOS tiene grupos carboxílicos y fenólicos que se comportan como ácidos débiles y tienden a disminuir el pH del suelo (Carrasco 1992). En un Haploxeroll de Chile Central, moderadamente alcalino, Martínez et al. (2004) observaron una disminución del pH cercano a la superficie del suelo después de cuatro años de manejo con cero labranza.

2.8.2. Carbono orgánico y propiedades físicas 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, mayor es el tamaño de los agregados (Buyanovsky et al. 1994). A su vez, los agregados de menor tamaño están asociados a la fracción altamente humificada con período de residencia en el suelo mayor a siete años

(Buyanovsky et al. 1994). Rothon (2000) encontró una correlación positiva entre el porcentaje de estabilidad de los agregados y el contenido de MOS.

2.8.3. 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). Pikul y Allmaras (1986) estudiaron la distribución del espacio poroso con diferentes manejos de suelo y encontraron que al agregar materia orgánica aumentaban los poros de mayor diámetro, que retienen el agua con menor energía. La porosidad total del suelo depende de la densidad real y la densidad aparente del suelo mediante la siguiente relación, claro (Krull 2004). En un Mollisol de Chile Central manejado con cero labranzas por cuatro años se encontró un aumento de la humedad aprovechable cercano a 30% comparado con labranza convencional en los primeros 5 cm del perfil de suelo. Este resultado se asoció a un aumento de 2,2 a 3,0% de MOS a igual profundidad (Reyes et al. 2002).

2.8.4. Compactación y carbono orgánico del suelo.

La compactación del suelo consiste en una reducción del espacio poroso causado por una carga aplicada a la superficie del suelo (Kulli 2002). Se mide usualmente mediante el valor de resistencia que ofrece el suelo a ser penetrado por una herramienta de corte. La resistencia a la penetración se afecta a otras propiedades del suelo que se asocian directamente al desarrollo de las plantas y las labores agrícolas (Hazma y Anderson 2005 y Dexter et al. 2007). La resistencia a la penetración depende de varias propiedades básicas

como la resistencia a la deformación del suelo, compresibilidad y fricción suelo-metal se puede asociar.

2.8.5. Infiltración de agua en el suelo.

En general, la MOS tiende a aumentar la tasa de infiltración de agua en el suelo. Sin embargo, también depende del manejo y de la presencia de capas compactadas dentro del perfil del suelo. En un suelo franco arenoso la aplicación de 10 T ha-1 de abono verde aumentó la tasa de infiltración de agua (Reddy 1991). Pikul y Allmaras (1986) en un Typic Haploxerol manejado por 55 años, encontraron un aumento en la conductividad hidráulica a saturación en los tratamientos con mayor aporte de materia orgánica. En el suelo con pradera natural (3,71% COS de 0-5 cm) que en los suelos manejados con cero labranza y labranza convencional (1,82 y 1,47% COS de 0-5 cm).

2.8.6. Carbono orgánico y propiedades biológicas del suelo.

El carbono orgánico es esencial para la actividad biológica del suelo (Aguilera 1999). Proporciona recursos energéticos a los organismos del suelo (OS), mayoritariamente heterótrofos, en forma de carbono lábil (hidratos de carbono o compuestos orgánicos de bajo peso molecular) (Borie et al. 1999). Por otro lado, los OS descomponen los residuos orgánicos participando activamente en los ciclos de muchos elementos utilizados por las plantas. Además, los OS participan en la formación y estabilización de la estructura y porosidad del suelo (Singer y Munns 1996 y Krull et al. 2002).

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. UBICACIÓN Y DURACIÓN DEL EXPERIMENTO.

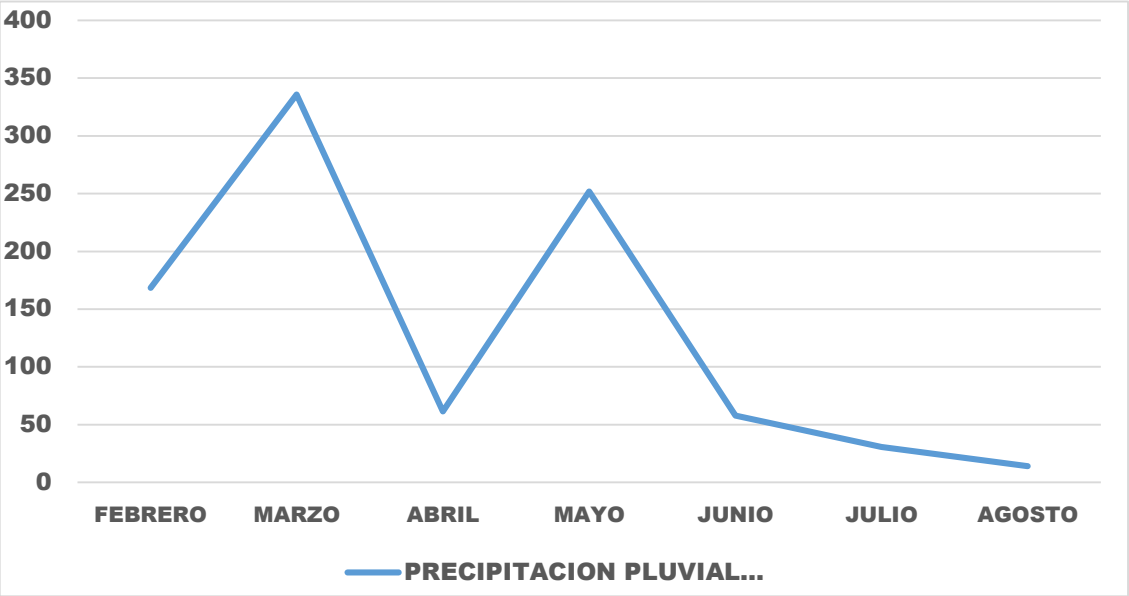
El trabajo de investigación se realizó en dos fundos ganaderos de la ciudad de Pucallpa, provincia de Coronel Portillo, región de Ucayali; el primero en el fundo ganadero de la Universidad Nacional de Ucayali, ubicado geográficamente a 74°34’49” de LW y 8°23’37,3” de LS, altitud 154 m.s.n.m.; y en el fundo ganadero del señor Germán Azipali, ubicado en el Km 10 – Int. 5 de la Carretera Federico Basadre, margen derecha, geográficamente a 8°21’39.34” LS y 74°38’20.54 “LW, altitud 150 m.s.n.m. La investigación duro 210 días, desde el 1 de febrero al 31 de agosto del 2018.

3.2. ECOLOGÍA Y CLIMA.

Según el sistema Holdrige, Ucayali se clasifica con un bosque húmedo tropical según la clasificación de los bosques amazónicos pertenece al ecosistema bosques tropicales semi-siempre verde estacional, cuyas condiciones climáticas promedio para la zona de Pucallpa son:

3.2.1. Precipitación y temperatura.

La precipitación promedio anual de la región es de 1773 mm, (Cochrane 1992). La temperatura máxima anual: 36.5 °C, la Temperatura media anual: 26.9 °C y la temperatura mínima anual: 17.4 °C. La precipitación y temperatura durante los meses que duró el experimento se puede observar en la Figura 1 y Cuadro 1. Las lluvias en los últimos 3 meses de la investigación fueron escasas.



Fuente: Estación meteorológica de la Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Perú.

Figura 1. Precipitación pluvial de febrero 2018 a agosto del año 2018.

Cuadro 1. Datos de las condiciones climáticas en los meses de febrero del 2018 a agosto del 2018.

Meses	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Temperatura Promedio
Febrero	31.1	23.0	27.0
Marzo	30.7	22.9	26.8
Abril	31.3	23.4	27.4
Mayo	31.4	23.5	27.4
Junio	30.5	21.9	26.2
Julio	31.4	21.4	26.4
Agosto	33.6	22.5	28.0

Fuente: Estación Meteorológica de la Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa, Perú.

3.3. MATERIALES.

3.3.1. Material Vegetal.

El material vegetal que se utilizó fue Braquiaria *(Brachiaria decumbens).*

3.3.2. Fertilizante.

El fertilizante empleado fue roca fosfórica.

3.3.3. Equipos.

Los equipos que se utilizaron fueron: estereoscopio, tamiz, estufa, balanza gramera, balanza de precisión, balanza analítica, cuadrante 1x1 m de madera, cuadrante 0.50x0.50 cm de madera, cuadrante 25x25 cm acero inoxidable, pinza, lupa, cilindros de acero inoxidables, baldes de 20 lt, bandejas, costales, bolsas, estacas y wincha.

3.3.4. Herramientas.

Las herramientas que se emplearon fueron: pala, machete, cuchillo, tijera podadora, comba, martillo, zapa pico y valisha.

3.3.5. De gabinete.

Los materiales que se emplearon fueron: Libreta de campo, lápiz, lapiceros, plumones indelebles, cámara fotográfica, laptop y calculadora.

3.4. TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.

Se estudiaron dos tratamientos:

- **T_1.** Pastura sin recuperar de *Brachiaria decumbens*. Tratamiento testigo.
- **T_2.** Pastura recuperada de *Brachiaria decumbens* + Roturación del suelo + 200 kg de roca fosfórica.

3.5. Descripción de los factores constantes.

3.5.1. De las instalaciones.

El experimento se realizó en dos fundos ganaderos, se seleccionó una hectárea en cada fundo, ubicados en la Universidad Nacional de Ucayali (Km 6 de la carreta Federico Basadre) y en el Fundo Ganadero del Sr. Germán Asipali, ubicado en el Km 10 – Int. 5, margen derecha de la carreta Federico Basadre.

Se cercó totalmente una hectárea de pastura degradada de *Brachiaria decumbens*. Lo cual se tomó como testigo y no se realizó labor alguna nada más que la evaluación inicial y posteriormente se roturó el terreno con dos

pasadas de rastra semipesada y se realizó la aplicación en banda de 200 kg de roca fosfórica, antes de la segunda pasada de rastra para que la roca se incorpore en el suelo.

3.6. VARIABLES EVALUADAS.

3.6.1. Análisis de las características físicas, materia orgánica y características químicas del suelo.

Textura: Se tomaron muestras de suelo a dos profundidades de 0 cm a 20 cm y de 20 cm a 50 cm; de cada uno de los tratamientos, 200 gramos por tratamiento, luego se secó a temperatura ambiente y luego se enviaron al laboratorio. Se utilizó un muestreador de suelo tipo berbiquí.

Densidad Aparente: Se utilizó cilindros pequeños para tomar las muestras de suelo según la metodología propuesta, para lo cual se hizo calicatas de 1m x 1m x 1.4 m de profundidad en donde se midió de 0 cm a 10 cm, de 10 cm a 20 cm, de 20 cm a 40 cm y de 40 cm a 100 cm de profundidad y de cada medida se extrajo dos muestras de suelo que sirvieron como repeticiones. Posteriormente las muestras fueron secadas en una estufa a una temperatura de 75 °C durante 48 horas para después realizar el pesaje del suelo seco. Para obtener la densidad aparente del suelo se realizó la siguiente formula: peso seco de la muestra multiplicado por el volumen del cilindro (PS x VC) como Para obtener los resultados.

Materia orgánica: Se tomaron muestras de suelo a dos profundidades de 0 cm a 20 cm y de 20 cm a 50 cm; de cada uno de los tratamientos, 300 gramos por tratamiento, luego se secaron a temperatura ambiente y luego se envió al laboratorio de suelos del INIA en Pucallpa. Se utilizó un muestreador de suelo tipo berbiquí.

Propiedades químicas pH, P, K, CIC, Al: Se tomaron muestras de suelo a dos profundidades de 0 cm a 20 cm y de 20 cm a 50 cm; de cada uno de los tratamientos, 500 gramos por tratamiento, luego se secaron a temperatura

ambiente y luego se envió al laboratorio de suelos del INIA en Pucallpa. Se utilizó un muestreador de suelo tipo berbiquí.

3.6.2. Análisis biológico del suelo.

3.6.2.1. Macrofauna.

Se evaluaron 4 muestras: La primera en la parte superficial del suelo, de 0 cm a 10 cm, de 10 cm a 20 cm; y 20 cm a 30 cm de profundidad, en donde se colectaron muestras de suelo en tres estratos en bloques de 20 cm x 20 cm x 10 cm, las que fueron trasladados al laboratorio para el conteo de todo ser vivo visible para el ojo humano. Una vez recolectado todos los seres vivos encontrados en los estratos, se realizó el pesaje de los insectos encontrados con una balanza analítica obteniendo de esta manera el peso de la biomasa en gramos en una medida de 25 cm x 25 cm x 10 cm dándonos una medida de cm^3, para elevar a m^2 se realizó la siguiente fórmula: peso de la muestra (gramos) multiplicado por 1 dividido entre 0.0339 (PM X 1/ 0.0339) dándonos como resultado peso de la muestra (gramos) en 1 m^2 para obtener la biomasa por hectárea en kilogramos realizamos la siguiente fórmula: peso de la muestra en 1 m^2 multiplicado por 10,000 dividido entre 1,000 (Biomasa/ha(kg)= PM 1 m^2 x 10000/1000).

3.6.2.2. Microfauna.

Se realizó el análisis de micorrizas, la cual consistió en realizar el conteo de las esporas micorrizorias en una cantidad determinada de suelo. La muestra se extrajo con un muestreador de suelo modelo berbiquí, a dos profundidades de 0 cm a 20 cm y de 20 cm a 50 cm.

3.6.3. Análisis del total contenido de CO_2 en el suelo.

3.6.3.1. Raicillas y suelo.

El total de CO_2 en el suelo resulta la suma de carbono orgánico en el suelo y el carbono existentes en las raicillas del suelo.

3.6.3.2. Carbono en las raicillas.

Para la evaluación de carbono en las raicillas del suelo, se hizo calicatas de 1 m x 1 m x 1.4 m de profundidad y se tomarán muestras en bloque con un dispositivo de madera en un área de 20 cm x 20 cm x 10 cm de profundidades en cuatro niveles de profundidad del suelo en la calicata: de 0 cm a 10 cm; de 10 cm a 20 cm, de 20 cm a 30 cm, de 30 cm a 40 cm, de 40 cm a 50 cm, de 50 cm a 60 cm, de 60 cm a 70 cm, de 70 cm a 80 cm, de 80 cm a 90 cm y de 90 cm a 100 cm. Luego se realizó el lavado de las raicillas, una vez extraído las raicillas existentes de cada profundidad, se realizó el secado en una estufa a una temperatura de 75 °C durante 48 horas hasta obtener el peso constante. Para conocer la cantidad de biomasa de las raicillas del cuadrante de 20 cm x 20 cm x 10 cm se dividió peso seco de la biomasa de las raicillas por 4000 y para obtener la biomasa de materia seca en una hectárea se multiplicó el peso obtenido de la biomasa seca del cuadrante 20 cm x 20 cm x 10 cm por 1000000 de esta forma obtuvimos la biomasa seca en gramos en una hectárea. Posteriormente para obtener el peso en kilogramos lo multiplicamos por 1000. La cantidad de biomasa seca por hectárea se multiplicó por el factor 0.45, para obtener la cantidad de CO_2 existente en el área. La cantidad CO_2 existente en una hectárea es la suma de CO_2 de todas las profundidades muestreadas.

3.6.3.3. Carbono en el suelo.

Para la evaluación de carbono en la tierra se utilizó la misma calicata realizada para obtener las raicillas del suelo de las dimensiones de 1 m x 1 m x 1.4 m de profundidad y se tomaron muestras a cuatro profundidades de 0 cm a 10 cm, 10 cm a 20 cm, de 20 a 40 cm, 40 a 100 cm, las muestras previo secado a temperatura ambiente se enviaron al laboratorio de suelos del INIA en Pucallpa para el análisis del % de carbono. El contenido de carbono en el suelo se obtuvo Multiplicando la Densidad Aparente, por el nivel de profundidad del suelo elevándole en una hectárea (Peso Volumen del Suelo = (DA x Prof. Horizonte x 10,000), Carbono en el suelo (t/ha) = (PVS x % C en laboratorio) /100), (Carbono en el suelo (t/ha) + carbono radicular t/ha) esta operación realizada nos arrojó el carbono existente en el suelo.

3.6.4. Cuantificación de la biomasa forrajera.

Para la determinación de la biomasa y composición botánica se utilizó el método Botanal desarrollado por la Red Internacional de evaluaciones de pastos tropicales (RIEPT) del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Esta metodología nos permitió cuantificar la biomasa existente MS (kg/ha) de forraje, así como la composición botánica. Este método consistió en tomar 5 muestras mediante un marco de 1 m^2, en las que se establece área con máxima y mínima biomasa (del 1 al 5). Una vez determinada las áreas, se realizó las lecturas de 40 muestras los que nos permitió cuantificar la biomasa existente. MS (kg/ha) de forraje, así como la composición botánica, luego se aplicó una regresión lineal de 5 puntos que nos permitió determinar la biomasa existente en la pastura.

3.6.5. Calidad nutritiva del pasto y de la arbustiva forrajera.

Proteína cruda, fósforo y minerales. Se tomaron muestras de material vegetal, se secaron y se enviaron al laboratorio para su análisis.

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Los resultados se presentan en cuadros y figuras. Se utilizó la prueba de **t** de Sudent para ver si existen diferencias significativas de las variables antes de recuperar y luego de recuperada la pastura mediante la siguiente fórmula.

$$\boldsymbol{tc = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{\bar{x}}}}$$

Dónde:

t_c = T calcuada.

$\bar{X}_1$ = Promedio de la pastura sin recuperar.

$\bar{X}_2$ = Promedio de la pastura recuperada.

$S_{\bar{x}}$ = Desviación estándar de los promedios.

Luego la t_c se comparó con t_t de la tabla de t de student, la que se buscó con los grados de libertad de los tratamientos y grados de libertad del error.

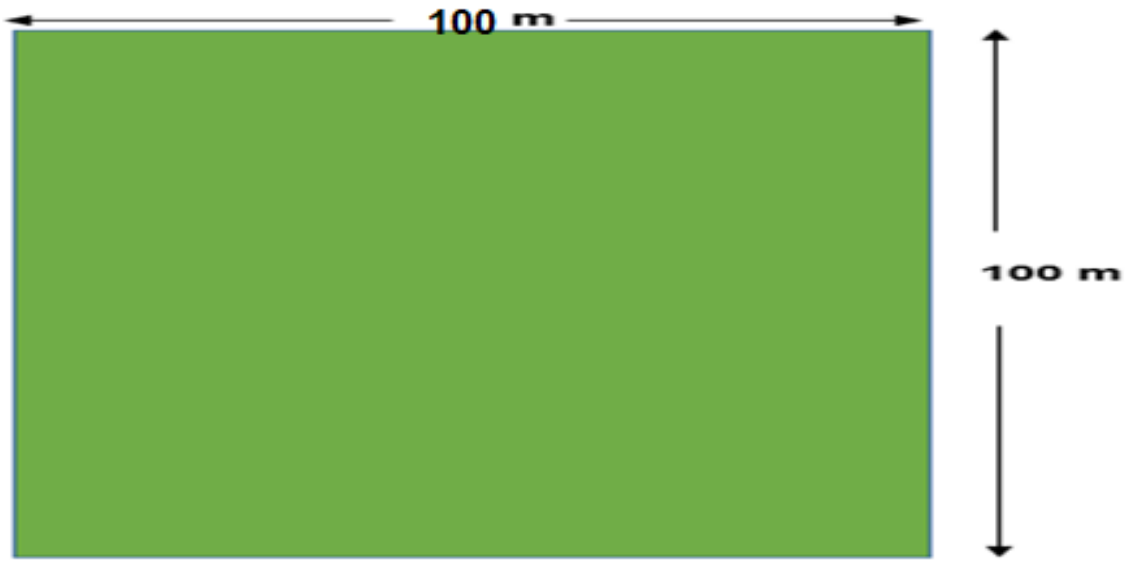


Figura 2. Dimensiones de la parcela experimental.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.

4.1.1. Textura del suelo.

La textura del suelo de 0 cm a 20 cm y de 20 cm a 50 cm de profundidad se muestra en los cuadros 2 y 3. En los primeros 20 cm de profundidad el suelo en la pastura degradada es un suelo franco arcilloso con porcentajes similares de arcilla y limo de 33.6 y 38.0%; y a los 50 cm de profundidad el suelo fue arcilloso.

La textura arcillosa predominante en estos suelos del área estudiada que pertenece a los inceptisoles, presentan lento drenaje principalmente en el sitio 2 donde se encontró que la capa freática estaba a 70 cm del suelo en la época lluviosa, aunque esto no fue una limitante para la recuperación de la pastura debido principalmente a la adaptación de la *B. decumbens*, en estos tipos de suelo (Ramírez 2016, Jiménez et al. 2007, Rodríguez 1995).

Cuadro 2. Textura del suelo de 0 cm a 20 cm de profundidad.

Característica	Pastura Degradada	Pastura recuperada	Diferencia pastura degradada y pastura recuperada
Arena	28.4	41.0	12.6
Arcilla	33.6	20.0	-13.6
Limo	38.0	38.0	0
Textura	Franco arcilloso	Franco	

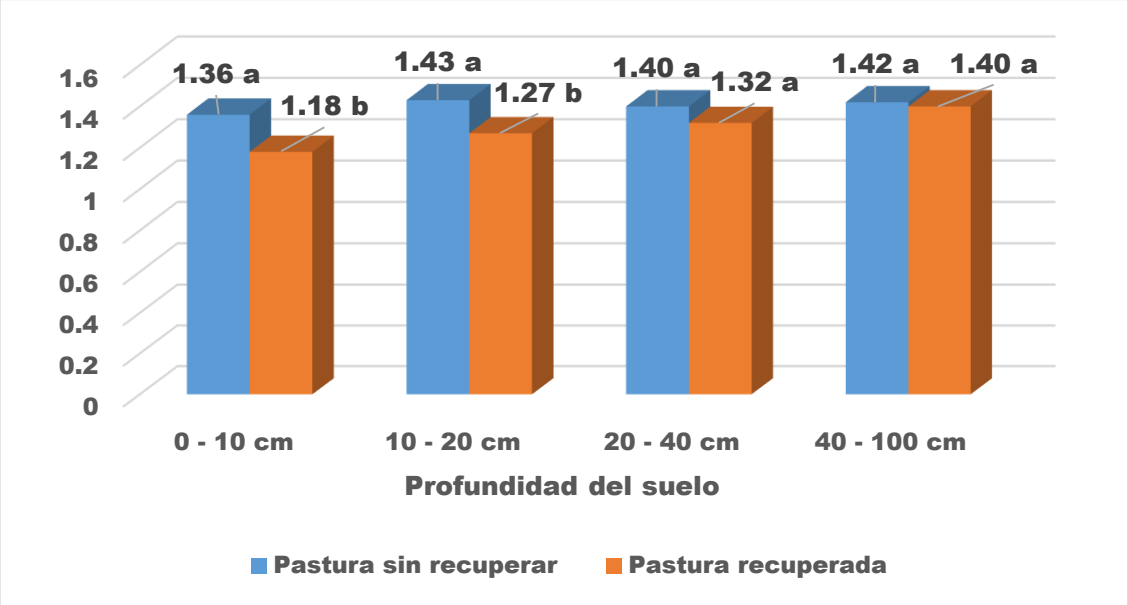
Cuadro 3. Textura del suelo de 20 cm a 50 cm de profundidad.

Característica	Pastura Degradada	Pastura Recuperada	Diferencia pastura degradada y pastura recuperada
Arena	21.4	32.0	10.6
Arcilla	48.6	37.0	-11.6
Limo	30.0	31.0	1
Textura	Arcilla	Franco Arcilloso	

4.1.2. Densidad aparente.

La densidad aparente en diferentes estratos hasta un metro de profundidad del suelo tanto para la pastura degradada como para la pastura de

B. decumbens recuperada a los siete meses después de aplicado las labores de recuperación se presentan en la Figura 3, los valores de la densidad aparente en los suelos degradados varían de 1.36 a 1.43 en todas las profundidades evaluadas en la pastura degradada, luego de seis meses de aplicado los elementos tecnológicos de recuperación, estos valores fluctuaron de 1.18 a 1.27 en los primeros 20 cm de profundidad y de 1.32 a 1.40 a mayor profundidad. Se realizó la prueba de t ($\alpha \leq 0.05$) encontrándose diferencias significativas entre la DA de la pastura degradada y la pastura recuperada en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, siendo significativamente menor en la pastura recuperada. Lo que no sucedió a mayores profundidades. Esta diferencia puede deberse al efecto de las labores de roturación del suelo que fue realizado hasta los 20 cm. La densidad aparente está directamente relacionada con la compactación del suelo y consideramos que la práctica de roturación del suelo tuvo el efecto en la mejora de la porosidad, el grado de aireación y la capacidad de infiltración, la que condiciona la circulación de agua y aire en el suelo. Según la información secundaria un suelo tiene una buena estructura y volumen de poros cuando la DA varía entre 1.1 y 1.7 g/cm^3, con promedio de 1.35 g/cm^3, siendo los factores que le afectan la textura, la estructura y la presencia de materia orgánica (Ángeles et al. 2010, Anaya et al. 2016).



*Letras iguales no presentan diferencias significativas. Prueba de t (P≤0.05).

Figura 3. Densidad aparente del suelo *B. decumbens* sin recuperar y *B. decumbens* a siete meses después de las labores realizadas para la recuperación. Pucallpa, Perú. 2018.

4.2. MATERIA ORGÁNICA Y CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO.

La Materia Orgánica y las características químicas del suelo en la pastura degradada y recuperada de 0 cm a 20 cm y de 20 cm a 50 cm de profundidad, a los siete meses después de aplicado los tratamientos se presentan en los Cuadros 4 y 5. Con respecto a la MO y al contenido de N la respuesta es similar en ambas profundidades, no siendo claras las respuestas ya que estas disminuyen significativamente en la pastura recuperada.

El pH del suelo disminuyó significativamente. Con respecto al CIC existe un incremento considerable en la pastura recuperada para ambas profundidades; igualmente en el porcentaje de saturación de aluminio el cual tiene una considerable disminución en ambas profundidades en el suelo de la pastura recuperada; este podría deberse a la aplicación de roca fosfórica el cual tiene en su composición 30% de calcio (oxido de calcio), la cual reduciría el pH del suelo; además el aluminio se precipita con el Ca, mejorando el % de CIC y disminuyendo el % de saturación del Al.

El incremento de los CIC, la disminución de la acidez del suelo y la disminución de la saturación de Al, tienen una influencia importante en la calidad del suelo (López 2000, Padilla y Sardiñas 2005, Montagnini et al. 2015, Vela 2010).

Cuadro 4. Propiedades químicas del suelo de 0 cm a 20 cm de profundidad de *B. decumbens* degradada, y de *B. decumbens* a siete meses después de las labores realizadas para la recuperación. Pucallpa, Perú. 2018.

Característica	Pastura Degradada	Pastura recuperada	Cambios en materia orgánica y propiedades químicas entre la pastura degradada y pastura recuperada
MO (%)	2.34**	1.31*	- 1.03
pH	$4.27_{(2)}$	$4.47_{(2)}$	+ 0.20
N (%)	0.19***	0.06*	- 0.13
P (ppm)	2.72*	6.56**	+ 3.84
Al ($Cmol^{(+)}Lt.$)	2.15	3.10	+ 0.95
K ($Cmol^{(+)}Lt.$)	0.13*	2.00***	+ 1.87
Ca ($Cmol^{(+)}Lt.$)	1.44**	4.6***	+3.16
Mg ($Cmol^{(+)}Lt.$)	0.69**	2.00***	+1.31
CIC efectiva (meq/100 g)	4.4**	11.7**	+7.3
Saturación de Al respecto a CIC (%)	51.21	43.6	- 7.61

1= Extremadamente ácido; 2= Tóxico para plantas tolerantes; 3= Tóxico para la mayoría de las plantas; *= Muy bajo; **=Bajo; ***= Alto; ****=Muy alto

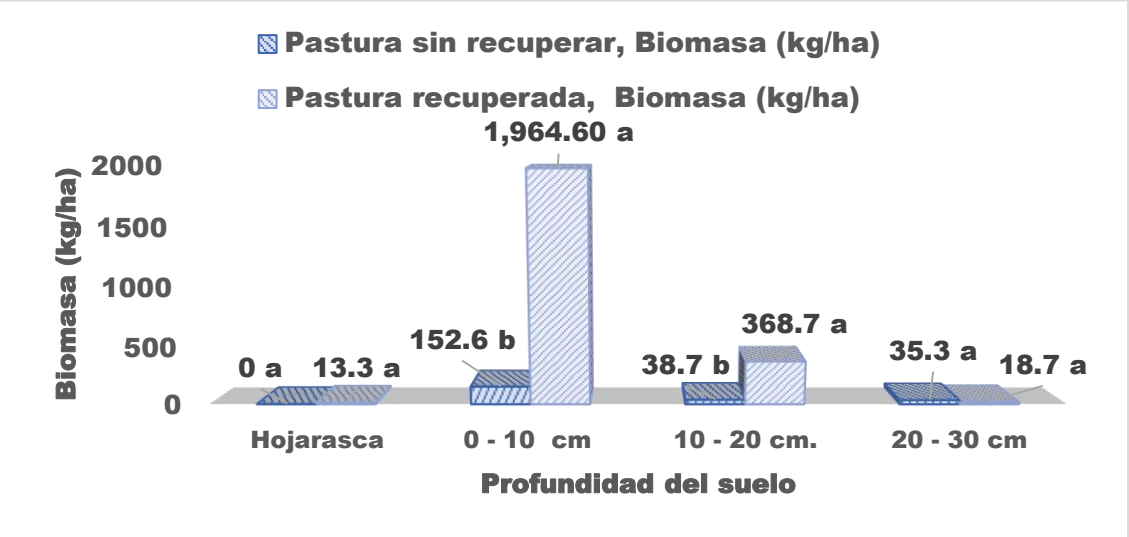
Cuadro 5. Análisis químico del suelo de 20 cm a 50 cm de profundidad de *B. decumbens* degradada, y de *B. decumbens* a siete meses después de las labores realizadas para la recuperación. Pucallpa, Perú. 2018.

Característica	Pastura Degradada	Pastura Recuperada	Cambios en materia orgánica y propiedades químicas entre la pastura degradada y pastura recuperada
MO (%)	1.21*	0.41*	- 0.80
pH	$4.21_{(2)}$	$4.35_{(2)}$	+ 0.14
N (%)	0.06*	0.02*	- 0.04
P (ppm)	1.59*	5.46**	+ 3.87
Al ($Cmol^{(+)}Lt.$)	7.15	5.35	- 1.8
K ($Cmol^{(+)}Lt.$)	0.08*	3.3***	* 3.32
Ca ($Cmol^{(+)}Lt.$)	0.32*	4.65***	+ 4.33
Mg ($Cmol^{(+)}Lt.$)	0.35*	1.6**	+ 1.25
CIC efectiva (meq/100 g)	7.99**	14.9**	+ 6.91
Saturación de Al respecto a CIC (%)	90.76	57.76	- 33.00

1= Extremadamente ácido; 2= Tóxico para plantas tolerantes; 3= Tóxico para la mayoría de las plantas; *= Muy bajo; **=Bajo; ***= Alto; ****=Muy alto

4.3. MACROFAUNA EN EL SUELO.

La cantidad de macrofauna en el suelo expresado en términos de Biomasa total en kg/ha en la pastura degradada y en la pastura recuperada a los siete meses después de aplicadas las labores de recuperación se pueden observar en la Figura 4. La cantidad de insectos encontrados fue nula en la pastura degradada y muy pequeña cantidad en la pastura recuperada, sin embargo en los primeros 10 cm de profundidad del suelo las diferencias fueron significativamente superior en favor de la pastura recuperada, encontrándose una alta biodiversidad principalmente diferentes especies de anélidos – lombrices de tierra; a los 20 cm de profundidad disminuye la cantidad de macrofauna aunque la diferencia sigue siendo significativamente mayor a favor de la pastura recuperada; a profundidad de 30 cm disminuye drásticamente la macrofauna, no encontrándose diferencia entre la pastura recuperada y la pastura degradada. Esta respuesta de una mayor cantidad de anélidos en los primeros 20 cm de suelo nos muestra que hay un efecto de las labores de rastreado y la aplicación de roca fosfórica en el incremento de la biomasa, siendo éste un factor importante en la mejora del suelo, debido a que las lombrices funcionan como unas pequeñas bombitas que van mejorando la aireación del suelo, la porosidad del suelo y como consecuencia una mayor distribución de agua y fertilizantes lo que se ve reflejada en una mayor biomasa de la pastura. (Rodríguez et al. 2013, Tovar 2002).



Letras iguales en las columnas no presentan diferencias significativas, t (P≤0.01).

Figura 4. Macrofauna en el suelo en una pastura degradada y recuperada, Biomasa en kg/ha.

4.4. MICROFAUNA (MICORRIZAS).

En los resultados obtenidos en la primera profundidad de 0 cm – 20 cm en la pastura degradada fue una población de 1593 esporas de micorrizas, mientras que en la pastura recuperada en la misma profundidad se encontró 892 esporas habiendo una diferencia de (-) 701 esporas, esta reducción de colonización micorrícica se puede deber a la relación que puede existir con algunas labores que se realizó al momento de la preparación de terreno como exponer el suelo temporalmente al sol la que limitó mucho sin una cobertura vegetal limitan mucho su colonización (Carpenter et al. 2001). En los trópicos húmedos bajos, los propágulos de los hongos de micorrizas se encuentran mayormente en la capa hojarasca (Rose y Paranka 1987, Rivera 2003) y en el suelo superficial (20 cm) donde proliferan las raíces absorbentes (Redhead 1977). Entonces es probable que las poblaciones micorriza se hayan reducido como consecuencia de la exposición del suelo al sol. En la profundidad de 20 cm a 50 cm en la pastura degradado obtuvimos como resultado 202 esporas y en la pastura recuperada se encontró 339 esporas obteniendo aumento de 137 esporas este resultado nos indica que la mayor actividad de simbiosis se realizó a profundidades mayores de 20 cm del suelo. Swift (2003) reporta que los beneficios de las micorrizas son mayores cuando los niveles de fósforo están por debajo de 50 ppm y que la colonización micorrícica va disminuyendo por encima de este nivel con ninguna colonización sobre los 100 ppm aun cuando se inocule con micorrizas.

Cuadro 6. Número poblacional de esporas de micorrizas por 100 g de suelo en pastura degradada y en pastura recuperada.

Profundidad	Pastura sin recuperar N° de esporas/100 g de suelo	Pastura recuperada N° de esporas/100 g de suelo	Diferencia N° de esporas/100 g de suelo
0 cm a 20 cm	1593	892	(-) 701
20 cm a 50 cm	202	339	137

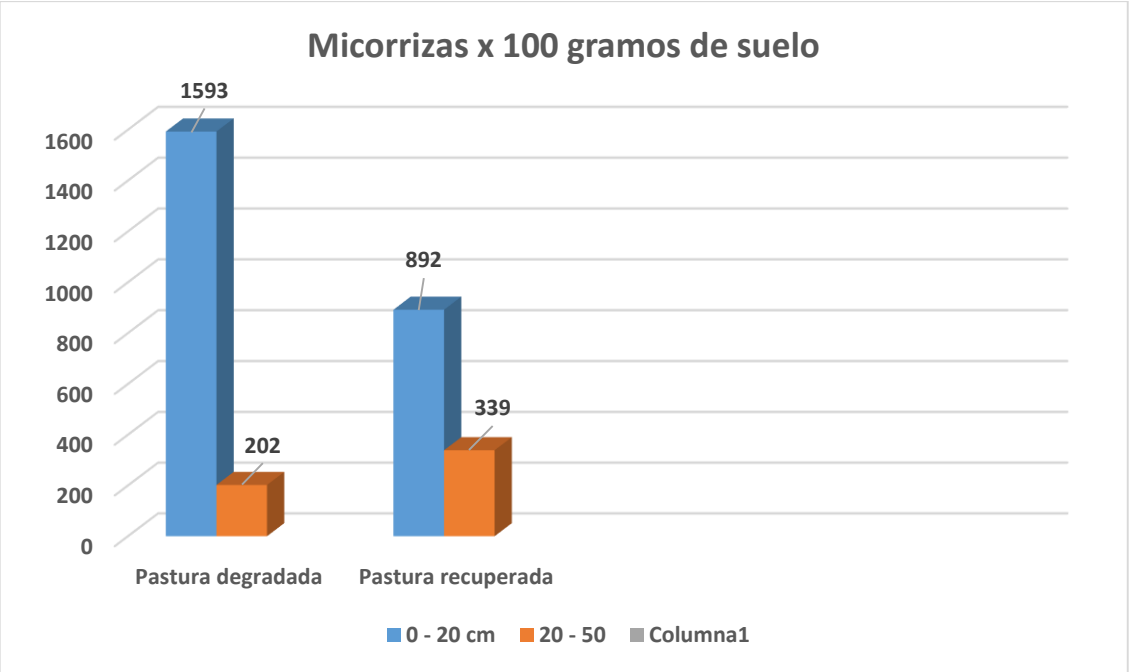


Figura 5. Esporas de micorrizas encontradas en la primera y segunda evaluación del experimento.

4.5. CONTENIDO DE CARBONO EN EL SUELO.

4.5.1. Carbono en las raicillas del suelo.

La cantidad de carbono en las raicillas del suelo expresado en términos de CO_2 (TM/ha^{-1}) Biomasa radicular en t/ha en la pastura degradada y en la pastura recuperada a seis meses después de aplicadas las labores de recuperación se pueden observar en el Cuadro 7. La cantidad de carbono en las raicillas en la pastura degrada fue de 1.2 t/ha mientras que en el área recuperada tenemos un resultado de 2.20 TM/ha habiendo un incremento de 1 TM/ha a los 7 meses, teniendo en consideración que en trabajos realizados en Pucallpa en pasturas degradadas se obtuvieron valores de 0.68 t/ha (Alegre y Arévalo 1998) y con la metodología de siete meses de recuperación planteado en el trabajo de investigación se obtuvieron resultados favorables debido a que las raíces cuando se encuentran suelos compactados detienen su crecimiento o cambian de dirección, hasta que encuentran una zona con porosidad adecuada y de menor resistencia, con la roturación del suelo se cambió la estructura del suelo y se mejoró la circulación del aire y circulación de agua encontrando las raíces condiciones adecuadas para su desarrollo (Ibañes 2006).

4.5.2. Carbono en el suelo.

La cantidad de CO_2 en el suelo expresado en términos de t/ha en la pastura degradada y en la pastura recuperada a siete meses después de aplicadas las labores de recuperación se pueden observar en el Cuadro 7 y Figura 6. La cantidad de carbono en el suelo en la pastura degradada fue de 96.3 TM/ha mientras que en el área recuperada tenemos un resultado de 119.20 TM/ha habiendo un incremento de + 21 t/ha a los 7 meses demostrando que el trabajo de investigación arrojó resultados positivos.

Cuadro 7. Carbono en el suelo antes y después de la aplicación de los elementos tecnológicos. Pucallpa, Perú. 2018.

Pastura degradada			Pastura recuperado		
Carbono en el suelo CO_2 (T/ha)	Carbono en las raíces CO_2 (T/ha)	Total en el suelo CO_2 (T/ha)	Carbono en el Suelo CO_2 (T/ha)	Carbono en las raíces CO_2 (T/ha)	Total en el suelo CO_2 (T/ha)
95.1	1.20	96.3	117	2.20	119.20

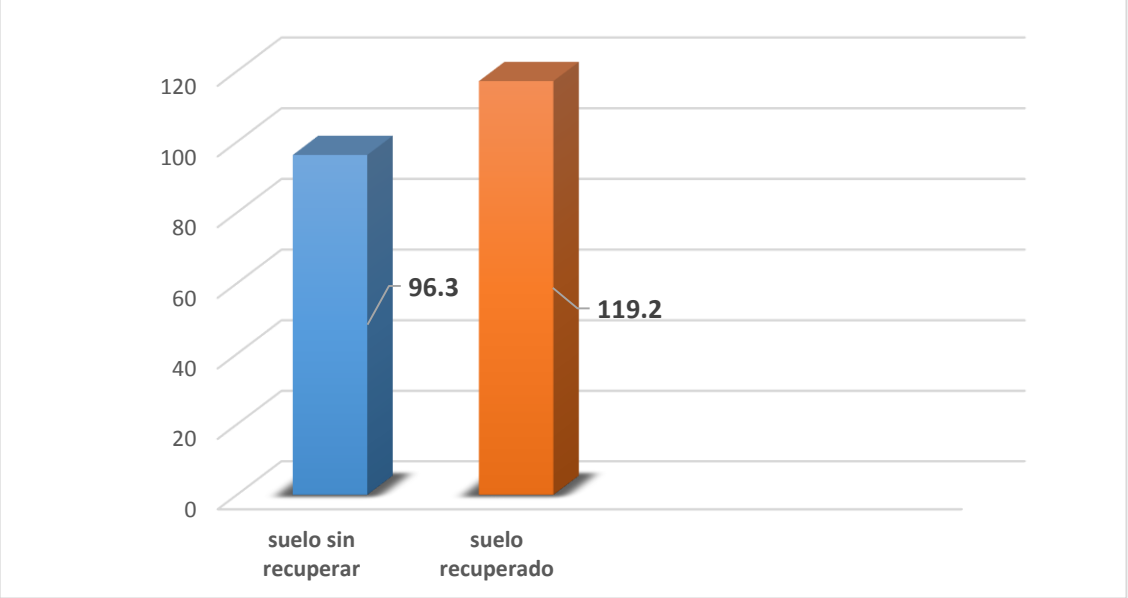


Figura 6. Carbono existente en el suelo degradado, y suelo recuperado.

4.6. PRODUCCIÓN DE FORRAJE DE LA PASTURA MATERIA SECA (kg/ha).

La producción de forraje de la pastura sin recuperar y recuperada se puede observar en la Figura 7. La biomasa al inicio del experimento de la pastura degradada fue de 323 k/ha de forraje en términos de Materia Seca (MS), promedio de las dos repeticiones o sitios; a los tres meses la biomasa en promedio fue de 5345 k/ha de MS, y a los 6 meses de 6432 kg/ha de MS. La prueba de t ($P \leq 0.01$) nos muestra un incremento altamente significativo de la producción de forraje de la pastura recuperada a tres y seis meses después de aplicado los tratamientos; sin embargo, la prueba de t nos indica que el forraje producido a los 3 meses no presenta deferencia significativa con el forraje producido a los 6 meses. Lo que indicaría que las acciones de los elementos tecnológicos utilizados en la recuperación tienen una acción rápida en el suelo, y la pastura ya se puede considerar recuperada a partir de los tres meses (Figura 7). Estos resultados nos demuestran que la tecnología de roturación de suelo y la aplicación de 200 kg de roca fosfórica tiene un alto efecto en la recuperación de las pasturas degradadas de *Brachiara decumbens.* Los resultados encontrados podrían deberse a la descompactación del suelo como efecto de roturación mecánica del suelo, lo que habría permitido una mayor circulación del agua y nutrientes en el suelo el cual es aprovechado por la planta, además la roca fosfórica tiene dentro de sus componentes fósforo como P_2O_5 con 23% de ley, y calcio con 30% de ley ambos elementos influyen directa o indirectamente en la disponibilidad de fósforo debido a que el aluminio existente en estos tipos de suelos ácidos se encuentra asociado al fósforo, el cual es liberado al precipitarse el Al con el Cal; el fósforo es un elemento limitante en estos tipos de suelo, el cual es aprovechado de forma directa e indirectamente desde la aplicación de la roca por la *B. decumbens* para una buena floración y producción de semilla, la que contribuye a la multiplicación de una gran cantidad de plantas y por ende al incremento de la producción de forraje (Brown 2003, Cajas *et al.* 2011, Padilla y Sardiñas 2005, Padilla y Cino 2003).

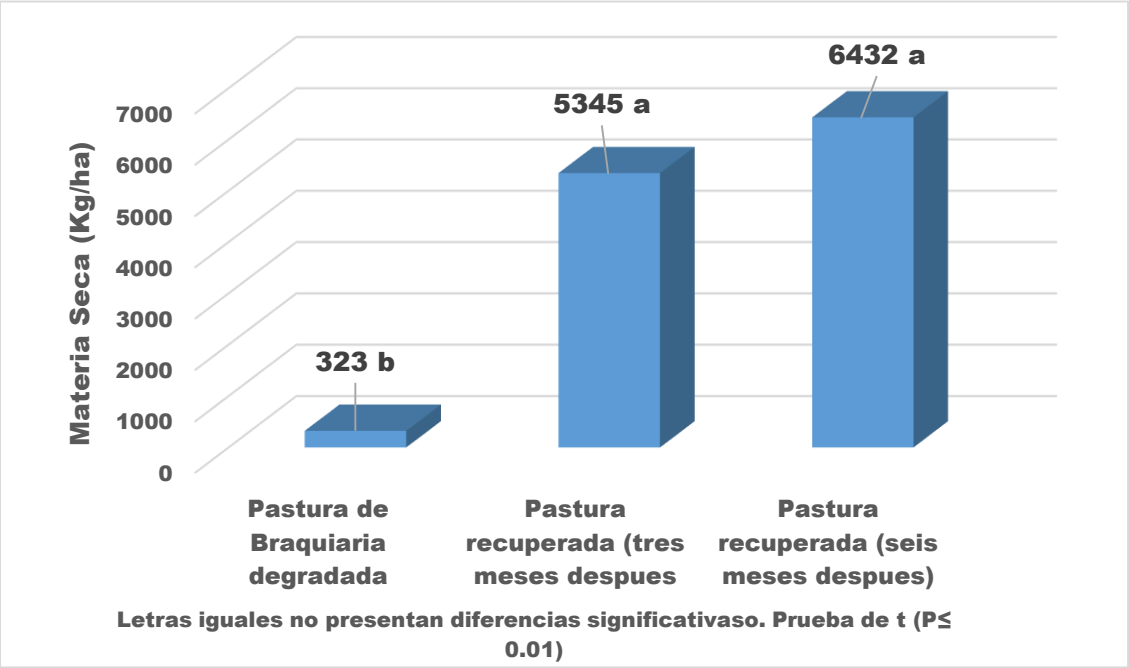


Figura 7. Producción de forraje MS (Kg/ha) de *Brachiaria decumbens* degradada, a tres y seis meses después de los elementos tecnológicos aplicados para la recuperación de la pastura. Pucallpa, Perú. 2018.

4.7. COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE LA PASTURA.

La composición botánica de la pastura recuperada y sin recuperar se puede observar en la Figura 8; los resultados nos muestran que pastura degradada está compuesta por un 13% de *Brachiara decumbens* y un 73% de malezas, seis meses después el porcentaje de braquiaria se incrementa a 48% mientras que la maleza se reduce a un 34%, estos resultados nos muestran que la aplicación del fósforo y la roturación de suelo tuvieron un efecto en la recuperación de la pastura, disminuyendo la presencia de malezas y el incremento de la pastura *B. decumbens* (Palma *et al.* 2011).

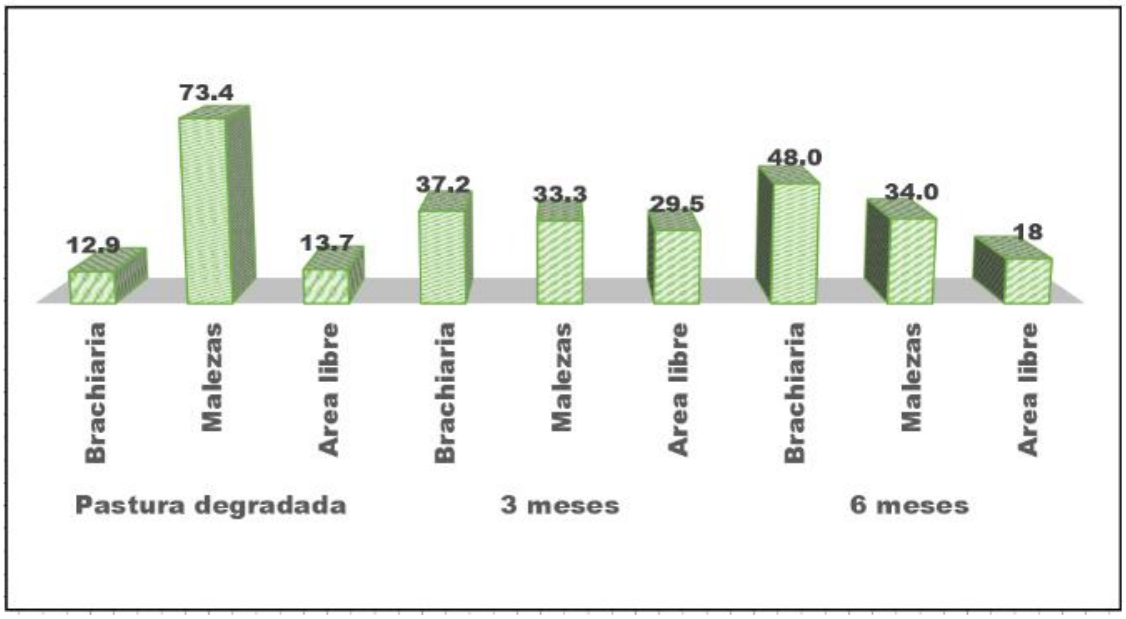


Figura 8. Composición botánica (%) de la pastura degradada, pastura recuperada a tres y seis meses después de aplicado los elementos tecnológicos. Pucallpa, Perú. 2018.

4.8. CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES DEL FORRAJE.

La calidad del forraje de la pastura degradada y de la pastura recuperada se puede ver en el Cuadro 8. Los resultados nos muestran que en los únicos componentes que tuvieron un incremento significativo en el tejido de la pastura en un 137% fue la Proteína Total en favor de la pastura recuperada, y el fósforo en el tejido en un 60%; la presencia de Ca, Mg, y K en el tejido de la pastura no tuvo ningún incremento. Es importante mencionar que la roca fosfórica es una fuente fosforada de lenta disolución en suelos ácidos, esta característica mejora su efecto residual en el tiempo, el cual favorecería la absorción del fósforo en el tiempo en el tejido de la pastura (Montagnini *et al.* 2015, Rincón y Flórez 2013).

Cuadro 8. Calidad nutritiva de la pastura *Brachiaria decumbens* degradada y recuperada. Pucallpa, Perú. 2018.

Componente	Pastura degradada (%)	Pastura recuperada (%)	Diferencia (%)
Extracto Estéreo (%)		0.67	
Fibra cruda (%)		27.54	
Ceniza (%)		7.19	
Proteína cruda (%)	5.63	10.96	5.3
Fósforo	0.10	0.16	0.06
Calcio	0.51	0.29	- 0.22
Magnesio	0.14	0.15	0.01
Potasio	1.67	0.19	-1.48

V. CONCLUSIONES.

1. La roturación del suelo y la aplicación de 200 kg/ha de roca fosfórica, influenciaron positivamente en la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; así como el almacenamiento de carbono en el suelo.

2. Esta mejora en las características del suelo permitió la recuperación de la pastura degradada de *Brachiaria decumbens*, tres meses después de aplicados los elementos tecnológicos.

VI. RECOMENDACIONES.

1. Recomendar a los ganaderos recuperar sus pasturas degradadas con *Brachiaria decumbens* con la roturación del suelo con una rastra semipesada y la aplicación de 200 kg/ha de roca fosfórica.

2. Disminuir la presión por la tala en los bosques al recuperar sus pasturas y no hacer nuevas pasturas en áreas de bosque.

VII. LITERATURA CITADA.

Abbott, L.; Robson, D. 1979. A quantitative study on the spores and anatomy of mycorrhizas formed by a species of Glomus, with special reference to its taxonomy. Australian Journal of Botany, 27, 363-375.

Abanto y Vela 1997. Evaluación técnica y económica de sistemas de producción ganadera en fundos de la Región Ucayali. Serie Informe técnico N° 04. Octubre. INIA - Ministerio de Agricultura. Pucallpa.

Acevedo, E.; Martínez, E. 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos, en Acevedo, E.: Sustentabilidad en Cultivos Anuales. Santiago, Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N ° 8, 13-25 p.

Alegre, J.; Arévalo, L. 1998. Reservas de carbono según el uso de la tierra en dos sitios de la amazonia peruana. ICRAF Perú.

Alexander, I.; Selosse, M. (2009). Mycorrhizas in tropical forests: a neglected research imperative. New Phytologist, 182, 14-16.

Ardenson, D. 1995. Información Agronómica; la caña de azúcar y el fósforo. INPOFOS. 2 ed. Bogotá, Colombia. 18 p.

Bornemisza, E. 1982. Introducción a la Química de Suelos. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, Secretaría General de la Organización de los Estados Unidos Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, 21-47 p.

Brown, L. 2003. Pastos Mundiales se deterioran solo pressao crescente. http:/www.wwluma.org.brl.>[Consultado: 10 de mayo del 2016].

Buckman, H.; Brady, N. 1966. The Nature and Properties of Soils. The Macmillan company. 590 p.

Buyanovsky, G.; Aslam, M.; Wagner, G. 1994. Recambio de carbono en fracciones físicas del suelo. Sci. de suelo. Soc. A.m. J. 58, 1167-1173.

Calderón, F. 1999. Metodologías para análisis químico del suelo. Labs. 6 junio. 21 p.

Cantante, M.; Munns, D. 1996. Suelos. Una introducción. Tercera edición. PrenticeHall, Inc. Nueva Jersey. 480 p.

Carpenter, F.; Mayorga, S.; Quintero, E.; Schroeder, M. 2001. El uso de la tierra y la erosión de un Ultisol costarricense afecta la química del suelo, los hongos micorrícicos y la regeneración temprana. Ecología y Manejo

Forestal. 144 (1-3): 1-17.

Carter, M. R. 2002. Calidad del suelo para el manejo sostenible de la tierra: interacciones de materia orgánica y agregación que mantienen las funciones del suelo. Agron J. 94, 38-47.

Chaney, K.; Swift, R. 1984. La influencia de la materia orgánica en la estabilidad de los agregados en algunos suelos británicos. Journal of Soil Science 35, 223-230.

Chávez, J. 2000. Manual de establecimiento de plantaciones forestales. Pucallpa, Perú.

Chávez, J. 2005. Cartilla de plantación de algunas especies forestales en la cuenca del Río Aguaytía – Ucayali – Proyecto: “Reforestación sostenible como mecanismo de ahorro rural”. Coejecutado por Swisscontact- INIEA. Pucallpa, Perú.

Chávez, J. 2000. Manual de viveros Forestales Familiares. Proyecto Bosques amazónicos. Pucallpa, Perú.

Díaz, E. 2008. Recuperación de áreas degradadas mediante el empleo de modelos agroforestales en un Typic Paleudults de la zona de Campo Verde.

FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas. Roma, Italia. 234 p.

FAO. 2001. Secuestro de carbono en el suelo para la gestión de tierras mejoradas. World suelo informes 96. Roma, 58 p.

Fassbender, H. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica. 2da edición. Talleres gráficos de Trejos Hnos.Sucs., S. A. 17 p.

Fernández, B.; Riesco, A.; Clavo, M. 1993. Evaluación económica ex ante del uso de cercos con postes vivos en la Amazonía Peruana. Revista de Investigaciones Pecuarias 6(2):94-103.

Figueroa, D. 2004. Estrategias de recuperación de suelos degradados. Horticultura.175: 36-39 p.

Follett, R.; Stewart, B. 1985. Erosión del suelo y productividad de los cultivos. Sociedad Americana de Agronomía. Madison, Wisconsin, Estados Unidos. 1985; 533 p.

Frank, A. 1885. Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 3, 128-145.

Gilbert, G.; Strong, D. 2007. Fungal symbionts of tropical trees. Ecology, 88, 539-540.

Hazma, M.; Anderson, W. 2005. Compactación de suelos en sistemas de cultivo. Una revisión de la naturaleza, causas y posibles soluciones. Suelo hasta. Res. 82, 121-145.

Huamani, H.; Mansilla, L. 1995 Caracterización del estado nutricional de los suelos degradados del alto Huallaga. En tropicultura, Vol. N° 1-2. 717 p. Tingo María, Perú.

Huauya. M.; Huamaní. H. 2014. Articulo macrofauna edáfica y metales pesados en el cultivo de cacao, Theobroma cacao L. (malvaceae).

Hünnemeyer, J.; De Camino, R.; Müller, S. 1997. Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica: Indicadores para la agricultura y los recursos naturales. IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 32 p.

Ivita-Fundeagro.1993. Sistemas Amazónicos Sostenibles. Primer informe anual. IVITA-FUNDEAGRO-CIID. Pucallpa, Perú.152 p.

Ibañes, J. 2006. La Compactación del Suelo: Exploración del Suelo por las Raíces II. Un Universo invisible bajo nuestros pies.

Janse, J. 1896. Les endophytes radicaux de quelques plantes javanaises. Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg, 14, 53-212.

Kolmans, E., Vázquez, D. 1996. La importancia de los nutrientes. Manual de Agricultura Ecológica. Una introducción a los principios básicos y su introducción. p. 36-37.

Krull, E.; Skjemstad, J.; Baldock, J. 2004. Funciones de la materia orgánica del suelo y el efecto sobre las propiedades del suelo. Informe de la Corporación de Investigación y Desarrollo de Granos Proyecto No CSO 00029.

Kulli, B., 2002. Análisis de patrones de flujo. La influencia de la compactación del suelo y la estructura del suelo en las vías de infiltración de las soluciones de trazado de tinte y la evaluación cuantitativa de los patrones de flujo. Tesis para el grado de Doctor en Ciencias Naturales, Instituto Federal Suizo de Tecnología. 109 p.

Labarta, R.; Weber, J. 1998. Valorización económica de bienes tangibles de cinco especies arbóreas agroforestales en la Cuenca Amazónica Peruana. Revista Forestal Centroamericana 7(23):12-21.

Lal, R. 1997. Gestión de residuos, labranza de conservación y restauración del suelo para mitigar el efecto invernadero mediante el enriquecimiento con CO_2. Suelo hasta. Res. 43, 81-107.

Lampurlanés, J.; Cantero-Martinez, C. 2003. Densidad aparente del suelo y resistencia a la penetración bajo diferentes sistemas de labranza y manejo de cultivos y su relación con el crecimiento de la raíz de cebada. Agronomy Journal. 95: 526-536.

Lavelle, P.; Dangerfield, M., Fragoso, C.; Eschenbrenner, V. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. En: P.L. Woomer & M.J. Swift (Eds.). The biological management of tropical soil fertility. John Wiley & Sons, Chichester .Pp. 137-169.

Loker, W. 1988. El potencial impacto socioeconómico de pastos mejorados en la Amazonía Peruana. Programa de Pastos Tropicales. CIAT. Pucallpa, Perú. 27 p.

López, R. 2002. Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial – CIDIAT. Segunda edición. Mérida, Venezuela. 273 p.

López, Y. 2000. Relaciones hídricas en el continuo agua-suelo-planta-atmósfera. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. Colombia. 88 p.

Montaño, N.M., Sánchez-Yañez, J.M. 2014. Nitrificación en suelos tropicales, asunto de competencia microbiana: un modelo basado en la teoría de Lotka-Volterra. Ecosistemas 23(3): 98-104. Doi.: 10.7818/ECOS.2014.23-3.13.

Montagnini, F.; Somarriba, E.; Murgueitio, E.; Fassola, H.; Eibl, B. 2015. Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Serie Técnica. Informe Técnico 402. CATIE; Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 454 p.

Morales, O. V. 1982. Producción de pasturas para explotación bovina en el trópico. Boletín Técnico del sector agrario. INIPA - IVITA. Pucallpa.

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

Montagnini, F.; Somarriba, E.; Murgueitio, E.; Fassola, H.; Eibl, B. 2015. Sistemas Agroforestales. Funciones Productivas, Socioeconómicas y Ambientales. Serie Técnica. Informe Técnico 402. CATIE; Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia. 454 p.

Muñoz-Ramos, J. 2006. Producción de forraje de Brachiaria híbrido cv. Mulato II solo y asociado con Arachis pintoi en pasturas tropicales, 51.

Murgueitio, E.; Cuartas, C. y Naranjo, J. 2009. Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo. Segunda edición. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 490 p.

Padilla, C.; Cino, D. 2003. Estudio preliminar del efecto de métodos de rehabilitación en la recuperación de un pastizal de guinea común Panicum maximum establecido previamente mediante siembras ralas. Rev. Cubana Cienc. Agric. 37: 2.

Padilla, C. 2002. Métodos de laboreo y fertilización química del suelo en la recuperación de áreas forrajeras de guinea. Panicum maximum jacq. Rev. Cubana Cienc. Agric. 36:173.

Padilla, C.; Sardiñas, Y. 2005. Degradación y recuperación de los pastizales. Instituto de Ciencia Animal. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 39, Número Especial. Pp. 515 -520.

Palma, M.; Nahed, J.; Sanginés, L. 2011. Alternativas para una reconversión ganadera sustentable. Mexico, D.F. 189 p.

Pava, I. 2011. Degradación del suelo: problemática mundial y local. Centro de Estudios Políticos y Socioculturales del Caribe – CESPCA. 18 p.

Pikul, J.; Allmaras, R. 1986. Propiedades físicas y químicas de un Haploxeroll después de cincuenta años de gestión de residuos. Sci. De suelo. Soc. A.m. J. 50, 214-219.

Porta, J. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente, Tercera edición; Impreso en España, Ediciones Mundi-prensa, 929 p.

Prager, M.; Restrepo, J.; Angel, D.; Malagón, R.; Zamorano, A. 2002. Agroecología. Una disciplina para el estudio y desarrollo de sistemas sostenibles de producción agropecuaria. Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. Colombia. 333 p.

Reddy, M. 1991. Efectos de las enmiendas del suelo sobre el endurecimiento de las franjas arenosas rojas (suelos chalka) de Andhra Pradesh. Ana. Agricola Res. 12, 174-176.

Reicosky, D. 2002. Efecto a largo plazo del arado de vertedera sobre la labranza - Pérdida de CO_2 inducida, en J. M. Kimble, R. Lal y R. F. Follet: Prácticas agrícolas y políticas para el secuestro de carbono en el suelo. Lewis Publishers. Simposio de documentos presentados en julio de 1999 en la Ohio State University, Columbus, Ohio, 87-96 p. Remehue, Osorno, Chile 93 103 p.

Reyes, C.; Ordoñez, H. 1985. Establecimiento y producción de leguminosas forrajeras en Pucallpa, Perú. En: Pizarro, E.A. (ed). Reunión de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. 3ra Cali, Colombia. V. 1 Pp. 647-656.

Reyes, J.; Martínez, E., Silva, P.; Acevedo, E. 2002. Labranza y propiedades de un suelo aluvial de Chile central. Boletín N° 18. Sociedad chilena de la ciencia del suelo y Universidad de Talca. IX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Talca, Chile. 7881 p.

Riesco, A.; Ara, M. 1995. Perspectivas de la integración de sistemas agrosilvopastoriles. CODESU. Pucallpa, Perú.

Rincón, A.; Flórez, H. 2013. Sistemas integrados: agrícola-ganadero-forestal, para el desarrollo de la Orinoquia colombiana. CORPOICA, Villavicencio, Colombia.112 p.

Rodríguez, N.; Lavelle, P.; Pulido, S.; Gutierrez, A.; Bernal, J.; Argüello, O.; Botero, C.; Gómez, Y.; Hurtado, M.; Loaiza, S.; Rodríguez, E. 2013. Construcción de indicadores de ecoeficiencia para la altillanura plana en los municipios de puerto López y puerto Gaitán, departamento del Meta. CORPOICA. Colombia, 40 p.

Román, F. 2006. Establecimiento de seis árboles nativos en un pastizal degradado en la Selva Lacandona, Chiapas, México. Tesis de maestría en Ciencias. El Colegio de la Frontera Sur. Chiapas, México, 59 p.

Rose, S. L.; Paranka, J. E. 1987. La ubicación de las raíces y micorrizas en la basura de los bosques tropicales. En: D.M. Sylvia, L.L. Hung y H.J. Graham (Eds.). Micorrizas en la próxima década. Proc. Séptima Conferencia Norteamericana sobre Micorrizas (NACOM). Gainesville, Florida.

Rothon, F. 2000. Influencia del tiempo en la respuesta del suelo a las prácticas de labranza cero. Sci. de suelo. Soc. A.m. J. 64, 700–709.

Sadzawka. R.; Campillo, R. 1999. Acidificación de los suelos y los procesos involucrados. Serie Remehue N° 71 In M. Alfaro (ed) Curso de capacitación para operadores del Programa de Recuperación de Suelos. Degradados Zona Sur (Regiones IX y X). Instituto de investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación.

Sales, B. 2006. Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistemas amazónicos del Perú, departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro del carbono.

Sánchez, E. 1981. Suelos: Bases técnicas para el desarrollo de los cultivos en la ceja de selva del Perú. pepp. adex-usaid-da. Chanchamayo, Perú.86p.

Schaus, A. R. 1987. Importancia de la ganadería, rol y organización de la investigación en pasturas en la Amazonía Peruana. En.: Curso-Taller sobre establecimiento, mantenimiento y producción de en la selva peruana. INIAA-IVITA-CIAT. Pucallpa, setiembre 28-octubre 8, 23 p.

Swift, C. E. 2003. Mycorrhiza and soil phosphorus levels. Colorado State University Cooperative Extension. Tercer Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles: VII Congreso Internacional, Sistemas Agroforestales. 2015. Compilado por L. Peri. 1ª ed. Santa Cruz; Ediciones INTA, 2015. 716 p.

Tovar, V. 2002. Anotaciones sobre Ecología. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Colombia. 162 p.

Vargas, Y.; Valdivia, L. 2005. Recuperación, mediante leguminosas rastreras, de suelos degradados (ex cocales) en la Selva Alta del Perú. Mosaico científico 2(2): 1-5.

Vela, J. 2000. Recomendaciones para el uso sostenible de las zonas Aptas para pasturas de la cuenca del Aguaytía según análisis de Zonificación Ecológico-Económico. IIAP. Informe Final. Pucallpa, Perú.

Vela, J. 2010. Sistemas silvopastoriles en la Amazonía peruana. Resúmenes del Congreso Agroforestal celebrado en Panamá. República de Panamá.

Vela, J. 2010. Recuperación de pasturas degradas con el uso de roca fosfórica y leguminosas forrajeras. Mesa de concertación de leche. Escuela de campo. Dirección Regional Agraria de Ucayali. Pucallpa. Perú.

Vela, J. 2013. Los sistemas silvopastoriles, perspectiva regional en la Amazonía peruana departamento de Ucayali. Informe de consultoría. ICRAF. Pucallpa, Perú.

Vela, J.; Takuchi, A. 2012. Diagnóstico situacional de la ganadería lechera en la región Ucayali. Mesa de diálogo de la Cadena de Lácteos en Ucayali. Pucallpa, Perú.

Volke, S. 2005. Suelos Contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación, Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Impreso en México. 19-31 p.

West, T. O.; Post, W. M. 2002. Tasas de secuestro de carbono orgánico del suelo por labranza y rotación de cultivos: un análisis de datos global. Sci. de suelo. Soc. A.m. J. 66, 19301946.

VIII. ANEXO.



Figura 9A. Extracción de la muestra para evaluar extracción de carbono en las raicillas.



Figura 10A. Lavado de la tierra para la extracción de las raicillas.



Figura 11A. Mediciones para la extracción de muestra de raicillas.



Figura 12A. Raicillas del suelo.



Figura 13A. Extracción de muestra para análisis físico y químico del suelo.



Figura 14A. Muestra para la evaluación de macrofauna.



Figura 15A. Evaluación de densidad aparente en el suelo.



Figura 16A. Preparación de muestra de suelo para análisis de carbono.



Figura 17A. Equipos para la evaluación de macrofauna.



Figura 18A. Recolección de macrofauna.



Figura 19A. Recolección de muestra de análisis foliar.



Figura 20A. Pesaje de macrofauna y conteo de las esporas de micorrizas.