UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

CARRERA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

"CAMBIOS EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO Y CAPTURA DE CARBONO AL ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA SILVOPASTORIL EN LA CARRETERA FEDERICO BASADRE- PUCALLPA"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AGRÓNOMO

YOVANA SALINAS MENA

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, presentado por **YOVANA SALINAS MENA,** denominada: **"CAMBIOS EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO Y CAPTURA DE CARBONO AL ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA SILVOPASTORIL EN LA CARRETERA FEDERICO BASADRE- PUCALLPA"**, para cumplir con el requisito (académico o título profesional) de **TÍTULO PROFESIONAL**.

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

En consecuencia, queda en condición de ser considerado Apto por el Consejo Universitario y recibir el (Grado Académico.....), (Título de **INGENIERO AGRÓNOMO**), de conformidad con lo estipulado en los Art. 3 y 6 del reglamento para el otorgamiento de grado académico de bachiller y título profesional de la Universidad Nacional de Ucayali.

Pucallpa, 23 de diciembre del 2019.

.....	.....
Ing. Fernando Pérez Leal, Dr.	Ing. Grober Panduro Pisco, Dr.
Presidente	Secretario
.....	.....
Ing. José Antonio López Ucariegüe, M.Sc.	Ing. Jorge Washinton Vela Alvarado, Dr.
Miembro	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.

Ing. Fernando Pérez Leal, Dr. .....
Presidente

Ing. Grober Panduro Pisco, Dr. .....
Secretario

Ing. José Antonio López Ucariegüe, M.Sc. .....
Miembro

Ing. Jorge Washinton Vela Alvarado, Dr. .....
Asesor

Bach. Yovana Salinas Mena. .....
Tesista

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

Constancia

N° 456

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

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

CAMBIOS EN LAS CARACTERISTICAS FISICAS, QUIMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO Y CAPTURA DE CARBONO AL ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA SILVOPASTORIL EN LA CARRETERA FEDERICO BASADRE- PUCALLPA

Cuyo autor (es)	:	**SALINAS MENA, YOVANA**
Facultad	:	CIENCIAS AGROPECUARIAS
Escuela Profesional	:	AGRONOMIA
Asesor	:	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: 13/11/2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL
Dirección General de Producción Intelectual
UCAYALI
DINA PARI QUISPE
Direc. Gral Prod Intel

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, YOVANA SALINAS MENA

Autor de la TESIS titulada:

CAMBIOS EN LAS CARACTERISTICAS FISICAS, QUIMICAS Y BIOLOGICAS DEL SUELO Y CAPTURA DE CARBONO AL ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA SILVOPASTORIL EN LA CARRETERA FEDERICO BASADRE - PUCALLPA

Sustentada el año: 2019

Con la asesoría de: Dr. JORGE WASHINTON VELA ALVARADO

En la Facultad de: CIENCIAS AGROPECUARIAS

Carrera Profesional de: AGRONOMIA

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 / 02 / 2020

Email: yovanasalinasagro@gmail.com

Firma: 

Teléfono: 993774845

DNI: 46592866

DEDICATORIA.

A Dios Todopoderoso, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera profesional, por darme sabiduría y salud para lograr mis objetivos.

A mis abuelos: Cristina y Julián, por su apoyo incondicional; por enseñarme a no rendirme y siempre seguir adelante.

Con amor, a mis padres: Teófila Mena Calixto y Luis Salinas Espinoza, por la motivación y fe depositado en mí.

A mis hermanos: Yorke, Elizabeth, Luis, Deysi y Johan, por sus constantes palabras de aliento para superar los obstáculos.

AGRADECIMIENTO.

A Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A la Universidad Nacional de Ucayali, en especial a los docentes de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por su esmerada labor, a quienes valoro, respeto, y guardo una profunda gratitud y reconocimiento.

Al Dr. Jorge Washinton Vela, por su asesoramiento en el desarrollo y planeación del presente trabajo de investigación.

Al Ing. M.Sc. Ever Carruzo Vara, Coordinador del Proyecto INIA y a la Dra. Zoyla Mirella Clavo Peralta, por su incondicional apoyo.

Al INIA e IVITA, por ceder su campo para el desarrollo del trabajo de investigación.

Al jurado evaluador conformado por: Dr. Fernando Pérez Leal, Dr. Grober Panduro Pisco, Ing. M.Sc. José Antonio López Ucariegüe, por el apoyo en las correcciones, las sugerencias y oportunidades de mejora en la realización del presente trabajo de investigación.

A mis amigos, con quienes compartí momentos gratos e inolvidables.

ÍNDICE.

		Pág.
RESUMEN……		xi
LISTA DE CUADROS……		xiii
LISTA DE FIGURAS……		xv
I.	INTRODUCCIÓN……	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA ……	2
	2.1. Generalidades……	2
	2.1.1. Propiedades del suelo……	2
	2.1.2. Propiedades físicas….....	2
	2.1.3. La textura del suelo ……....	2
	2.1.4. Porosidad del suelo ……	2
	2.1.5. Densidad del suelo ……..……..	3
	2.2. Propiedades químicas. ……....	3
	2.2.1. El pH del Suelo .....…….....	3
	2.2.2. Características y propiedades de la materia orgánica del suelo (MOS)...…….....	3
	2.2.3. Nitrógeno del Suelo…...…….....	4
	2.2.4. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)...……..	4
	2.2.5. Porcentaje de Saturación de Bases...……..	4
	2.3. Propiedades biológicas……..…….....	5
	2.3.1. Macrofauna edáfica…...……	5
	2.3.2. Carbono en el suelo…….	5
	2.3.3. Formas de carbono en el suelo.…….	6
	2.3.4. Sistemas silvopastoriles...……..	6
	2.3.5. Degradación de pastizales…..…….	6
	2.4. Antecedentes de la investigación.....…….....	8
III.	MATERIALES Y MÉTODOS……..……	16
	3.1. Ubicación…...…….....	16
	3.2. Características climáticas ……..……..	16
	3.3. Variables en estudio…….....……	16
	3.3.1. Variables independientes…..……..	16
	3.3.2. Variables dependientes.……..…..	17

3.4. Metodología de evaluación de las variables dependientes..…… 17
3.4.1. Físicas…..……..…….. 17
3.4.1.1. Textura. ……...……... 17
3.4.1.2. Densidad aparente. ……...……..… 17
3.4.1.3. Compactación……..... 18
3.4.2. Características químicas……..... 18
3.4.2.1. Macrofauna del Suelo…… 18
3.4.3. Contenido de carbono en el sistema.…… 18
3.4.3.1. Carbono en la biomasa aérea…….. 18
3.4.3.1.1. Biomasa arbustiva……..... 18
3.4.3.1.2. Biomasa herbácea……..... 19
3.4.3.2. Carbono en la biomasa inerte……..... 19
3.4.3.3. Carbono en las raíces del suelo……..….. 20
3.4.3.4. Carbono en el suelo…..…… 20
3.5. Ejecución del experimento……..... 20
3.5.1. Preparación del terreno ……..... 20
3.5.2. Fertilización……..… 21
3.5.3. Siembra……. 21
3.5.4. Mantenimiento. ……..... 21
3.6. Análisis estadístico……..…… 21
3.6.1. Modelo estadístico……..……..... 22
3.6.2. Campo experimental…….……. 22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN……...…… 25
4.1. Características físicas del suelo. ……..……... 25
4.1.1. Textura…… 25
4.1.2. Densidad aparente..…… 27
4.1.3. Compactación. ……..... 28
4.2. Características químicas del suelo. …… 29
4.3. Propiedades biológicas del suelo…….. 33
4.3.1. Macrofauna en el suelo. ……..... 33
4.4. Contenido de carbono total …… 36
V. CONCLUSIONES……. 38
VI. RECOMENDACIONES…… 39

VII. LITERATURA CONSULTADA…… 40
VIII. ANEXO……... 45

RESUMEN.

El experimento tuvo el propósito de medir el cambio de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como cuantificar la captura de carbono por efecto de la aplicación de sistemas silvopastoriles, en tres sitios de la carretera Pucallpa – Lima. Los tratamientos fueron: B. humidicola (testigo), B. humidicola + 2523 plantas ha^{-1} de erytrina + 400 plantas ha^{-1} de marupa + 25 plantas ha^{-1} de shihuahuaco, B. humidicola + 2523 plantas ha^{-1} de huingo + 400 plantas ha^{-1} de marupa + 25 plantas ha^{-1} de shihuahuaco, B. humidicola + 2523 plantas ha^{-1} de cratylia + 400 plantas ha^{-1} de marupa + 25 plantas ha^{-1} de shihuahuaco y B. humidicola + 2523 plantas ha^{-1} de leucaena + 400 plantas ha^{-1} de marupa + 25 plantas ha^{-1} de shihuahuaco. La textura del suelo en los tres sitios fue predominantemente franco arcilloso en los primeros 20 cm del suelo y arcilloso en los 20 a 50 cm de profundidad. La densidad aparente y la compactación están altamente relacionadas con la textura arcillosa, por tanto, los valores son considerados de mediano a alta, además de tener esta misma tendencia cuando la profundidad del suelo iba incrementándose. Los sitios presentan suelos fuertemente ácidos repercutiendo en una baja capacidad de intercambio catiónico y un alto nivel de saturación de aluminio: las diferentes especies sembradas no influenciaron en el contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, sin embargo, presentaron diferencias significativas superior en los primeros 20 cm de profundidad. La siembra de árboles influenció de manera significativa en la biomasa y especies de la macrofauna a 10 cm de profundidad y entre las especies arbustivas no se detectaron diferencias en el almacenamiento de carbono en el suelo.

Palabra claves: Suelos, propiedades, silvopasturas, carbono, macrofauna.

ABSTRACT.

The experiment had the purpose of measuring the change of the physical, chemical and biological characteristics of the soil, as well as quantifying carbon sequestration due to the application of silvopastoral systems, in three sites of the Pucallpa - Lima highway. The treatments were: B. humidicola (control), B. humidicola + 2523 plants ha^{-1} of erytrina + 400 plants ha^{-1} of marupa + 25 plants ha^{-1} of shihuahuaco, B. humidicola + 2523 plants ha^{-1} of huingo + 400 ha^{-1} plants of marupa + 25 ha^{-1} plants of shihuahuaco, B. humidicola + 2523 ha^{-1} plants of cratylia + 400 ha^{-1} plants of marupa + 25 ha^{-1} plants of shihuahuaco and B. humidicola + 2523 leucaena ha^{-1} plants + 400 marupa ha^{-1} plants + 25 shihuahuaco ha^{-1} plants. The soil texture at all three sites was predominantly clay loam in the first 20 cm of the soil and clay at 20 to 50 cm deep. The apparent density and compaction are highly related to the clayey texture, therefore the values are considered medium to high, in addition to having this same trend when the soil depth was increasing. The sites have strongly acidic soils, resulting in a low cation exchange capacity and a high level of aluminum saturation: the different sown species did not influence the content of organic matter, nitrogen and phosphorus, however they presented significant differences in the first 20 cm deep. Tree planting significantly influenced the biomass and species of the macrofauna at a depth of 10 cm and among the shrub species no differences were detected in the storage of carbon in the soil.

Keywords: Soils, properties, silvopastures, carbon, macrofauna.

LISTA DE CUADROS.

En el texto:		**Pág.**
Cuadro 1.	Esquema del análisis de varianza (ANVA)……..	22
Cuadro 2.	Características químicas del suelo por sitio de establecimiento del sistema silvopastoril.…….	31
Cuadro 3.	Características químicas del suelo por profundidad de establecimiento del sistema silvopastoril……..	32
Cuadro 4.	Características químicas del suelo por evaluación donde se desarrolló el estudio……	32
Cuadro 5.	Coeficiente de variabilidad, coeficiente de determinación y desviación estándar de las características químicas, producto del análisis de varianza realizadas en el experimento..……	33
En el anexo:		
Cuadro 6A.	Textura del suelo del experimento de ssp, evaluado en el módulo 1, Pucallpa, Perú……	46
Cuadro 7A.	Textura del suelo del experimento de ssp, evaluado en el módulo 2, Pucallpa, Perú……..….	46
Cuadro 8A.	Textura del suelo del experimento de ssp, evaluado en el módulo 3, Pucallpa, Perú……..	47
Cuadro 9A.	Densidad Aparente del suelo del experimento de SSP, evaluado en los módulos 1, 2, 3, Pucallpa, Perú……	47
Cuadro 10A.	Compactación del suelo del experimento de SSP, evaluado en los módulos 1, 2, 3, Pucallpa, Perú……	48
Cuadro 11A.	Características químicas del suelo del experimento de SSP, evaluado en el módulo 1, Pucallpa, Perú……..	48
Cuadro 12A.	Características químicas del suelo del experimento de SSP, evaluado en el módulo 2, Pucallpa, Perú ……..	49
Cuadro 13A.	Características químicas del suelo del experimento de SSP, evaluado en el módulo 3, Pucallpa, Perú ……..	50
Cuadro 14A.	Carbono en la biomasa aérea ……	50
Cuadro 15A.	Carbono en la biomasa inerte ……..…	51

Cuadro 16A. Carbono en las raíces del suelo……. 51
Cuadro 17A. Carbono en el suelo……. 51
Cuadro 18A. Carbono en el sistema: CS= CBA+CBI+CR+CS en el módulo 1, Pucallpa, Perú……. 51
Cuadro 19A. Carbono en el sistema: CS= CBA+CBI+CR+CS en el módulo 2, Pucallpa, Perú……. 52
Cuadro 20A. Carbono en el sistema: CS= CBA+CBI+CR+CS en el módulo 3, Pucallpa, Perú……. 52

LISTA DE FIGURAS.

En el texto: **Pág.**

Figura 1. Croquis de campo y unidad experimental …….. 23

Figura 2. Textura, porcentaje de arena, arcilla y limo en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, medidos al inicio y al año de establecido el experimento, en los tres sitios estudiados. …….. 26

Figura 3. Textura, porcentaje de arena, arcilla y limo de 20 cm a 50 cm de profundidad del suelo, medidos al inicio y al año de establecido el experimento, en los tres sitios estudiados……..... 26

Figura 4. Densidad aparente en los primeros 10 cm de profundidad del suelo, medidos al inicio y al año de establecido el experimento, en los tres sitios estudiados…… 28

Figura 5. Compactación a 1 m de profundidad del suelo, medidos al inicio y al año de establecido el experimento, en los tres sitios estudiados. ……..... 29

Figura 6. Biomasa total por sitio: línea base y a un año de establecido el brachiaria en monocultivo y en el sistema brachiaria más árboles…….……. 34

Figura 7. Biomasa total por profundidad: línea base y a un año de establecido el brachiaria en monocultivo y en el sistema brachiaria más árboles. ……..…… 35

Figura 8. Número total por especies: línea base y a un año de establecido el brachiaria en monocultivo y en el sistema brachiaria más árboles ……..... 35

Figura 9. Carbono total almacenado: línea base y a un año de establecido el brachiaria en monocultivo y en el sistema brachiaria más árboles..…….... 37

En el anexo:

Figura 10A. Muestreo de suelos para análisis físicos y químicos…….. 53

Figura 11A. Iniciando a extraer las muestras de suelo para densidad aparente..... 53

Figura 12A. Pesado y codificado de las muestras de densidad aparente……..……. 54

Figura 13A. Midiendo la compactación del suelo..……... 54

Figura 14A. Muestras de hojarasca, suelo para evaluar macrofauna.. 55

Figura 15A. Conteo de macro invertebrados de muestras colectadas……..…….. 55

Figura 16A. Muestreo de suelo para cuantificar la biomasa radicular… 56

Figura 17A. Lavado y tamizado de las muestras para biomasa radicular…….…… 56

Figura 18A. Separando las muestras de biomasa muerta……..……. 57

Figura 19A. Separando las muestras de biomasa viva……..……..… 57

Figura 20A. Muestras de biomasa viva de arbóreos. …… 58

Figura 21A. Leguminosa: *Cratylia argentea*……..……..… 58

Figura 22A. Simarouba amara – marupa……..…. 59

Figura 23A. Visita de los miembros del Jurado Evaluador de tesis….. 59

I. INTRODUCCIÓN.

En la región Ucayali existe preocupación por incrementar la incorporación de las mejores estrategias sostenibles para el uso de la tierra. Esta situación se explica considerando que es una de las más deforestadas del país y las consecuencias de la pérdida de los bosques y sus servicios ambientales son ya sufridas por la población.

Rojas (2009), menciona que la mayoría de los sistemas ganaderos se desarrollan bajo condiciones extensivas, donde predomina el monocultivo de gramíneas y la ausencia de la cobertura arbórea, producto de conceptos y tecnologías de revolución verde que, en la actualidad, están siendo reevaluadas. Estas tecnologías han generado problemas ambientales como degradación del suelo debido a la compactación de este que impide la infiltración del agua y la distribución de los nutrientes, así como la pérdida de la macrofauna del suelo, la que va impactar directamente en la pérdida de biomasa y calidad nutritiva de la pastura, además de la contaminación de las aguas y emisiones de gases con efecto invernadero.

La inclusión de árboles en las pasturas en sistemas silvopastoriles tiene un efecto benéfico en el suelo de las pasturas (Navas 2010), ya que las raíces ayudan a la descompactación del suelo, además de mejorar la estructura que permitirá mejorar la población de la macrofauna. De igual manera, sostiene el autor que, el uso del árbol como componente productivo permite mejorar los sistemas de producción ganadera en los diferentes agroecosistemas, mitigar los efectos negativos ambientales generados por los sistemas tradicionales, captura carbono atmosférico, y mejora las condiciones químicas del suelo debido al reciclaje de las hojas y detritos, el bienestar de los animales y por ende incrementa la productividad animal.

Por lo expuesto el presente trabajo tuvo como objetivo, medir el cambio de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como cuantificar la captura de carbono como efecto de la aplicación de la tecnología de sistemas silvopastoriles, en el ámbito de la carretera Pucallpa – Lima.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. GENERALIDADES.

2.1.1. Propiedades del suelo.

La calidad del suelo es variable y los suelos responden de forma distinta conforme las prácticas implementadas sobre él. Se incluyen los elementos de la calidad del suelo; las propiedades físicas, químicas y biológicas inherentes y dinámicas. La calidad del suelo se define como “la capacidad del suelo de funcionar, dentro de las fronteras del ecosistema y el uso de la tierra, manteniendo la calidad ambiental y fomentando de plantas, los animales y el ser humano” (Duran 2015).

2.1.2. Propiedades físicas.

Las propiedades físicas del suelo están condicionadas por la masa total del mismo. Dentro de las propiedades físicas tenemos: Color, textura, estructura, consistencia, porosidad, permeabilidad y densidad (FAO 2016).

2.1.3. La textura del suelo.

Se refiere a la proporción de componentes inorgánicos de diferentes formas y tamaños como arena, limo y arcilla. La textura es una propiedad importante ya que influye como factor de fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades (FAO 2016).

2.1.4. Porosidad del Suelo.

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse.

Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas (FAO 2016).

2.1.5. Densidad del suelo.

Mediante la determinación de la densidad se puede obtener la porosidad total del suelo. Se refiere al peso por volumen del suelo. Existen dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en general está alrededor de 2,65. Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena. Una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas (FAO 2016).

2.2. PROPIEDADES QUÍMICAS.

2.2.1. El pH del suelo.

El pH (potencial de hidrógeno) determina el grado de adsorción de iones (H+) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido o alcalino. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo. El valor del pH en el suelo oscila entre 3,5 (muy ácido) a 9,5 (muy alcalino). Los suelos muy ácidos (<5,5) tienden a presentar cantidades elevadas y tóxicas de aluminio y manganeso. Los suelos muy alcalinos (>8,5) tienden a dispersarse. La actividad de los organismos del suelo es inhibida en suelos muy ácidos y para los cultivos agrícolas el valor del pH ideal se encuentra en 6,5. (FAO 2016).

2.2.2. Características y propiedades de la materia orgánica del suelo (MOS).

Se sabe que el uso racional de este recurso involucra preservar la materia orgánica del suelo, la fracción orgánica estable y la fracción orgánica

lábil, ya que este conjunto conforma una fuente de vida permitiendo que el suelo actúe como un recurso dinámico. Como el suelo es soporte de la vida vegetal y la provee de nutrientes esenciales como macronutrientes. C, H, N, O, P, K, Na, Ca, Mg y S y también de micronutrientes como Zn, B, Cu, Fe, Mn y Mo, necesarios para el funcionamiento de enzimas esenciales (Venegas 2008).

2.2.3. Nitrógeno del suelo.

El nitrógeno del suelo es uno de los elementos de mayor importancia para la nutrición de las plantas y más ampliamente distribuido en la naturaleza. Se asimila por las plantas en forma catiónica de amonio NH^{4+} o anionica de nitrato NO^{3-}. A pesar de su amplia distribución en la naturaleza se encuentra en forma inorgánica por lo que no se pueden asimilar directamente. Además, existen las formas gaseosas del N; pero son muy pequeñas y difíciles de detectar como óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2), amoníaco (NH_3) y nitrógeno molecular presente en la atmósfera del suelo (N_2). (FAO 2016).

2.2.4. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH4, etc.). Estos serán intercambiados por otros cationes o iones de hidrógeno presentes en la solución del suelo y liberados por las raíces. El nivel de CIC indica la habilidad de suelos a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH potencial entre otras. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica. La unidad de medición de CIC es en centimoles de carga por kg de suelo cmolc/kg o meq/ 100 g de suelo (FAO 2016).

2.2.5. Porcentaje de saturación de bases.

En el suelo se encuentran los cationes ácidos (hidrógeno y aluminio)

y los cationes básicos (calcio, magnesio, potasio y sodio). La fracción de los cationes básicos que ocupan posiciones en los coloides del suelo se refiere al porcentaje de saturación de bases. Cuando el pH del suelo indica 7 (estado neutral) su saturación de bases llega a un 100 por ciento y significa que no se encuentran iones de hidrógeno en los coloides. La saturación de bases se relaciona con el pH del suelo. Se utiliza únicamente para calcular la cantidad de limo requerida en un suelo ácido para neutralizarlo (FAO 2016).

2.3. PROPIEDADES BIOLÓGICAS.

2.3.1. Macrofauna edáfica.

Macrofauna, este grupo incluye a organismos de 2 o más mm de diámetro, por lo que son visibles sin utilizar lupas o microscopios. Esta clase de tamaño encontramos desde vertebrados como las serpientes, lagartijas, conejos, topos, zorros, tejones, etc. Entre los destacados por afectar muy positivamente a mejorar las propiedades físicas del suelo cabe mentar a las lombrices de tierra, termitas, muchas especies de hormigas, pero también los ciempiés, milpiés, larvas de otros artrópodos, escorpiones, caracoles, etc. Vamos, que se trata de una fauna bastante variada por ser reconocida y mejor estudiada que la meso y microfauna, lo cual no implica que sean más diversas taxonómicamente que las que albergan las mentadas clases de tamaño (Ibáñez 2007).

2.3.2. Carbono en el suelo.

Se designa como el proceso más importante del planeta al reciclar y reutilizar el elemento más abundante del planeta.

Los organismos que viven en el suelo son factores determinantes para la circulación de nutrientes y del carbono en el suelo. Una gran parte de la materia orgánica originada por la descomposición anual de los residuos vegetales se acumula en la superficie del suelo o en la zona radicular y se consume casi por completo por los organismos del suelo creando así una reserva de carbono con una rápida tasa de renovación, en muchos casos, entre 1 a 3 años. Los subproductos de este consumo microbiano resultan en emisiones de

dióxido de carbono, CO_2, y agua, H_2O, y una variedad de compuestos orgánicos designados como humus (FAO 2001).

2.3.3. Formas de carbono en el suelo.

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

2.3.4. Sistemas silvopastoriles.

En latín, silva significa 'bosque', es la práctica de la integración de árboles, forraje y el pastoreo de animales domesticados de una manera mutuamente beneficiosa. Utilizando los principios del pastoreo gestionado y es una de tantas formas distintas de agroforestería. Los sistemas silvopastoriles bien manejados adecuadamente puede aumentar la productividad general y los ingresos a largo plazo debido a la producción simultánea de cultivos de árboles, forrajes y ganado también puede proporcionar beneficios ambientales como la captura del carbono (Vela y Takuchi 2012).

2.3.5. Degradación de pastizales.

La ganadería vacuna en la región Ucayali tiene un carácter predominantemente extensivo – tradicional, acentuándose este manejo cuanto más alejado se encuentran los fundos de la ciudad de Pucallpa, ya que en estos predios son más especializados en la cría de ganado de carne y no ordeñan. Los fundos ganaderos ubicados en el eje de la Carretera Federico Basadre-CFB (Pucallpa – Lima) cercanos a Pucallpa, el manejo se vuelve 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).

El pasto, representa el más importante elemento en la producción ganadera de esta zona, ya que es el segundo componente principal de la base productiva de la actividad ganadera en la región. Existen aproximadamente 22837 ha de pasturas (poáceas), de los cuales el 77,26% corresponde a pastos cultivados donde hay predominancia casi absoluta de la *Brachiaria decumbes,* en segundo lugar, pero en pequeñas áreas de *Brachiaria brizantha* cultivar Marandú y en algunos fundos la *Brachiaria humidicola* y últimamente 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 poáceas se encuentran asociadas con kudzu (*Pueraria phaseoloides*), *Arachis pintoii*, Centrosema (*Centrosema macrocarpum*) 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 estados 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 ninguna práctica deliberadamente los sistemas silvopastoriles, solamente a nivel experimental (Vela 2013).

En Brasil, en gran parte de la Amazonia el fósforo disponible en el suelo, define en gran medida, la productividad y vida útil de los pastizales mejorados. En la mayoría de suelos de sábana del trópico americano y de otras regiones del planeta la ausencia del fósforo constituye una de las causas fundamentales del deterioro de los pastizales de gramíneas y leguminosas. (Padilla y Sardiña 2005).

2.4. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

Villacorta (2016), analizó la caracterización de suelos con relación al cambio de uso de la tierra en Aguaytía. Para ello, se evaluaron cinco unidades de estudio 1) purma, 2) bosque; 3) pasto, 4) cultivo y 5) en las principales propiedades físicas, los usos de suelos de pasto y cultivo mostraron una densidad de 1.64 g/cm^3 indicando compactación en estos suelos, los usos de suelos pasto y cultivo presentaron menor porosidad de 38.11%. Entre las propiedades químicas, el suelo degradado muestra un pH más alto con 4.33, pero mayor materia orgánica con un 2.04%, el uso de suelo cultivo presentó mayor capacidad de intercambio catiónico CIC (13.52 cmol/l).

Por su parte, Blanco (2009), indica que, la relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica del suelo ha originado resultados contrastantes en la literatura científica. El objetivo de este trabajo fue demostrar que existe una correlación significativa entre la densidad aparente y la resistencia mecánica del suelo, si el muestreo es efectuado con el contenido de humedad a la capacidad de campo y se controla la profundidad de muestreo en suelos con alto contenido en gravas. La ecuación de regresión obtenida permite explicar 60% de la variabilidad de la densidad aparente a partir de la resistencia mecánica y la plasticidad del suelo.

Por otro lado, Ingaramo et al. (2003), señala que la densidad aparente es un parámetro muy importante en la calidad de un suelo, como indicador de la estructura y la resistencia mecánica del mismo. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir. Los valores críticos de la densidad aparente varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate. Por ejemplo, para suelos arenosos una densidad aparente de 1.759 g cc^{-1} limita el crecimiento de las raíces de girasol, mientras que en suelos arcillosos, ese valor crítico es de 1.460 a 1630 g cc-^{1}, para la misma especie.

Rojas (2016), desarrolló una investigación en Campo Verde con el propósito de identificar los cambios que experimentan las propiedades físicas y químicas del suelo de pastizales y bosques secundarios por acción de la quema.

Los resultados muestran que el principal parámetro que experimenta cambios después de una quema es el pH para ambos ecosistemas; los elementos principales como el P, Mg, K y Ca, experimentan variaciones de aumento al igual que la materia orgánica y la Capacidad de Intercambio Catiónico.

Díaz (2008), en su investigación sobre recuperación de áreas degradadas mediante el empleo de modelos agroforestales en la zona de Campo Verde concluye que, después de tres años, el pH del suelo varió de 4,3 a 4,6 en el sistema guaba-cedro y shihuahuaco-copuazú a diferencia del sistema coco-capirona con pH de 4,32, respecto al fósforo disponible se observa que el sistema shihuahuaco-copuazú supera con 47 kg ha^{-1} de P2O5, en comparación a los sistemas coco-capirona y guaba-cedro con 28 y 21 Kg de P205 respectivamente.

Jiménez et al. (2007), realizó una investigación sobre el cambio de las propiedades del suelo por transformación de áreas boscosas en pastizales, concluyendo que, las texturas predominantes en los suelos del estudio realizado varían entre franco-areno-arcillosa y arcillosa (con valores superiores al 30% de arcilla). La habitual textura arcillosa de los suelos del área de estudio pertenece a los inceptisoles (Aquepts), en espesores de por lo menos un metro y por ello, estos suelos son relativamente compactos y cuando son cultivados aparecen problemas por el lento drenaje.

Sales (2006), en su trabajo sobre caracterización de la materia orgánica de suelos de Ucayali determinó que, para la zona de Campo Verde, en los primeros 20 cm, la clase textural fue franca, con predominancia de arena, en cambio en los siguientes 20 cm a 40 cm, la textura fue franco-arcillosa, con mayores porcentajes de arena y limo. Respecto al pH, los valores oscilaron entre 5.6 a 5.7, considerados fuertemente ácidos, en ambas profundidades, con mayor acidez en el nivel superficial (0.40 cmol/l) así como para la materia orgánica (2.43%). Por otro lado, los niveles de los nutrientes siempre fueron mayores en los primeros 20 cm del suelo, registrándose los siguientes contenidos: N (0.11%) Ca (1.95 $Cmol^{(+)}$/Lt)) Mg (0.99 $Cmol^{(+)}$/Lt) y K (0.40 $Cmol^{(+)}$/Lt). En el caso del P se reporta un valor muy alto (116.6 mg kg/ha).

Arévalo (2014), estudió un trabajo en Tarapoto sobre la dinámica de la comunidad microbiana y su relación con el cultivo de cacao manejado bajo dos sistemas de producción. Concluye que, la dinámica de algunas propiedades físicas como la textura del suelo no fue significativa por efecto de los sistemas comparados y los años evaluados, debido a que este indicador no está marcadamente influenciado por las prácticas de manejo y no cambian durante un corto periodo de tiempo o aún en décadas. Cuando se compararon las propiedades químicas iníciales del suelo con el estado inicial en sistemas de bosque secundario para cada una de los genotipos de cacao se encontró un aumento en la materia orgánica y saturación de bases. Otro resultado importante es que se encontraron una mayor abundancia de nematodos en la sección superficial del suelo (0-20 cm), debido a la mayor biomasa radicular que se encuentra en esta sección y por las características físico-químicas y biológicas prevalentes en la rizósfera de los genotipos de cacao y las demás especies de plantas presentes en los sistemas.

Cabrera (2012), desarrolló una investigación en la macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo en Cuba. Los resultados obtenidos destacan el comportamiento de las poblaciones de lombrices de tierra, a través de su riqueza de especies, su densidad ($ind.m^{-2}$) y su biomasa (gm^{-2}); así como la proporción que presenta la comunidad epigea con función detritívoro, tanto en la densidad como en la biomasa. También permiten identificar a las hormigas, debido a su habilidad para sobrevivir mayormente en suelos agrícolas, a pesar de los disturbios de dicho medio, lo que se evidenció por su prevalencia en abundancia y resistencia en sistemas que tenían algún nivel de intervención antrópica.

Rodríguez et al. (2002) citado por Cabrera (2012), compararon un sistema de pasto natural con otro de pasto natural más 100% de leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit), y encontraron mayor densidad y biomasa de la macrofauna en la mayoría de los años del estudio, en el segundo sistema. Los resultados confirmaron la influencia favorable de la leucaena como especie arbórea en el pastizal, al proporcionar hojarasca de mejor calidad y un microambiente más idóneo para la actividad de la macrofauna en el suelo.

Lok (2005) citado por Cabrera (2012), en su investigación sobre la selección de indicadores de estabilidad del sistema suelo-pasto en pastizales monocultivados con guinea (*Panicum maximum* Jacq.), en silvopastoreo con *Leucaena,* y en una mezcla múltiple de leguminosas rastreras (*Neonotonia wightii* (Arn.) Lackey, *Pueraria thumbergiana* (Siebold & Zucc.) Benth. y *Macroptilium atropurpureum* (Moc. & Sessé ex DC). Urb.), concluyó que los indicadores edáficos, entre ellos la densidad y la biomasa de la macrofauna del suelo (principalmente lombrices de tierra) tuvieron un progreso favorable solo en los pastizales con silvopastoreo y con leguminosas rastreras; mientras que en el pastizal con monocultivo de guinea se produjo, con el tiempo, una tendencia a la disminución de la actividad biológica del suelo.

Sánchez y Reyes (2003), citado por Cabrera (2012), al estudiar la morera *(Morus alba* L.) en monocultivo y asociada con diferentes leguminosas arbóreas (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp. y *Albizia lebbeck* (L.) Benth.), observaron una respuesta positiva en la colonización de los organismos en el suelo, sobre todo con la presencia de los árboles leguminosos. En estos últimos sistemas se obtuvieron densidades de más de 30 ind.m^{-2} para las lombrices de tierra, las cochinillas y los escarabajos, y de más de 100 ind.m^{-2} para los caracoles, valores superiores a los alcanzados en el monocultivo.

Pashanasi (2001), por su parte, realizó un estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en 22 sistemas de uso de la tierra en las zonas de Yurimaguas y Pucallpa. Concluye que, el bosque primario, no intervenido e intervenido, tiene una diversidad muy rica. Asimismo, su densidad (382 a 853 individuos/m^2) y su biomasa, dominada por oligochaetas, isópteras y miriápodos (57,8 a 91,1 g peso fresco/m^2), son bastante altas. Los cultivos de esta comunidad, cuya densidad fue de 362 a 574 individuos/m^2 y cuya biomasa es de 5,1 a 32,4 g peso fresco/m^2, se encuentran severamente agotados. Las pasturas tienen baja diversidad. La densidad de su población varía en un rango de 654 a 1 034 individuos/m^2. Su biomasa es tan alta como de 38,4 a 165,9 g peso fresco/m^2, debido a la colonización de la lombriz peregrina, Pontoscolex corethrurus. En las purmas, la densidad poblacional está en un rango de 334 a 838 individuos/m^2; mientras que la biomasa varía entra 4,2 y 102 g peso

fresco/m^2. Finalmente, los sistemas agroforestales con cobertura de leguminosas tienen la más alta diversidad y lo contrario ocurre en los sistemas con cobertura de malezas que están por debajo del bosque secundario. Su densidad poblacional se encuentra en un rango que va desde 557 hasta 2 896 individuos/m^2, mientras que su biomasa varía entre 18,5 y 170,5 g peso fresco/m^2, debido a la conservación de gran parte de la fauna del bosque primario que, además, es colonizada por especies oportunistas de terrenos disturbados (miriápodos, oligochaetas e isópteras).

Respecto a carbono, Lok et al. (2013), desarrolló un trabajo sobre el almacenamiento en el suelo (CAS) de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno en Cuba. Se concluye que los contenidos de CAS están en función del uso y manejo del suelo y directamente relacionados con el contenido de materia orgánica. En la profundidad de 0 a 45 cm, la mayor acumulación de CAS ocurrió en los primeros 15 cm. El sistema silvopastoril y el de mezcla de leguminosas rastreras tuvieron incremento paulatino en el CAS con el tiempo de explotación, lo que los convierte en alternativas viables para la captura de carbono en agroecosistemas de pastizales.

Navas (2017), realizó una investigación con el propósito de recopilar el conocimiento local de productores ganaderos sobre especies de árboles con potencial forrajero para diseñar sistemas silvopastoriles participativos que mejoren la conectividad y los sistemas ganaderos. Los resultados permitieron identificar 16 especies de árboles consumidas por animales domésticos y silvestres; los bovinos consumen las hojas durante todo el año y los frutos en la época seca. La calidad nutricional varió entre especies. Las hojas presentaron altas concentraciones de proteína, pero baja o media digestibilidad debido a la edad (forraje viejo).

Iglesias (2017), indica que, los Sistemas Silvopastoriles en Cuba (SSC) muestran resultados importantes como la ganancia en la producción de carne bovina (500-600 g/animal/día y producción de 800 kg de carne/ha/año, con carga cercana a 2 UGM/ha). En leche, producciones de 7-8 kg de leche/vaca/día o 14-16 kg/ha/día, sin suplementos energético-proteicos. En novillas para reemplazo,

ganancias diarias entre 400-500 g/animal/día, con peso de incorporación a la reproducción de 290-300 kg a edades entre 20 y 27 meses.

Fernández (2016), en su investigación en dos sistemas agroforestales, un monocultivo de café y un bosque de niebla en el municipio de Huatusco, Veracruz, concluye que, respecto al monocultivo, los suelos de cafetales y del bosque evidenciaron una disminución de la densidad aparente DAP y de la acidez del suelo; un aumento de las concentraciones de materia orgánica MO, nitrógeno N y de la capacidad de intercambio catiónico CIC. El valor de la CIC fue muy alto en todos los suelos y en los que se tuvo mayor concentración de MO, se incrementó. P y K fueron menores en el bosque en comparación con los cafetales, en oposición al N. La humedad aprovechable fue alta en todos los sitios y la DAP tuvo un comportamiento inverso a la MO. La concentración de los elementos en los suelos estudiados demostró que hay una buena disponibilidad de nutrimentos. Los sistemas agroforestales ofrecieron condiciones edáficas similares a las del bosque y una mejor fertilidad, con respecto al monocultivo.

Asimismo, Clavo (2015), ha desarrollado investigaciones de establecimiento y medición de la producción de leche en sistemas de pasto Brachiaria humidicola con la introducción de 3 330 arbustos de Eritryna como forrajera logrando elevar en más del 100% el tiempo de ocupación de la pastura comparado con una pastura en monocultivo, debido a la mayor cantidad de forraje y disponibilidad de forraje, y mejorando la carga animal y una ligera ventaja en la producción de leche.

Alberto (2013), realizó un trabajo cuyo objetivo fue generar una nueva tecnología para la instalación de un SSP con álamos orientado a la producción de madera para múltiples destinos. Los resultados indican que los mayores distanciamientos ensayados produjeron las mejores guías de uno, dos y tres años de edad, con mayor DAP, altura total, biomasa aérea, rectitud, conicidad y estabilidad del fuste. Se determinó además que es posible acelerar el ingreso del ganado de cría al SSP utilizando guías con un DAP igual o mayor a los 6 cm, con una respuesta positiva durante los primeros años de plantación.

Vela (2010), también desarrolló la tecnología de recuperación de pasturas mejoradas degradadas en la CFB. La tecnología consistió en la roturación del suelo, la incorporación de 200 kg de roca fosfórica y la siembra de las leguminosas *Stylosanthes guianensis,* los resultados mostraron un importante incremento en la biomasa de la pastura a los 4 meses de establecido, el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo y el incremento del fósforo en el tejido de la pastura hasta el año 3, mostrando un alto poder residual de la roca fosfórica.

Rojas (2009), trabajando en seis sistemas silvopastoriles con la combinación de *Brachiaria brizantha* e *Hyparrhenia rufa*, encontró que la biomasa aérea se realizó en *Dyphis robinoides* (4,4 t C/ha), y en la pastura, *Brachiaria brizantha* con *Pithecellobium saman* (5,8 t C/ha) Carbono en raíces finas (d < 2 mm) se encontró en árboles que crecieron con *B. Brizantha* (1,1 t C/ha) y en pasturas con la asociación *B. brizantha* y *D. robinioides* (1,5 t C/ha). El 55% de C en el suelo se encontró en los primeros 20 cm.

Oliva (2017), desarrolló una investigación que tuvo como objetivo determinar la reserva de carbono retenida bajo un sistema silvopastoril con Pinus pátula, localizado en Amazonas, Perú. Como resultado, se encontró 92.13 t/ha de carbono almacenado y 337.20 t/ha de carbono equivalente. Además, la investigación permitió establecer una ecuación que ayudó a estimar la cantidad de carbono y CO_2 en pino pátula: Biomasa seca = 0.6575*DAP1.1794 (r2 = 0.91).

Lizana (2014), en estudios realizados sobre captura de carbono orgánico en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Ucayali se obtuvo en el caserío de Valle Sagrado con 364,18 t C/ha y en el caserío de Pueblo Nuevo y Buenos Aires con 35,03 y 33,85 t C/ha.

Cañarí (2013), determinó en investigaciones realizadas de fijación y almacenamiento de carbono en plantaciones de palma aceitera de 10 años obtuvo un total de 74,19 t de C/ha. El suelo fue el mayor componente de carbono con un total de 43.63 t de C/ha. Representando 55,85% del total y seguido la biomasa viva con un promedio de 22,30 t C/ha (30,06%) y la herbácea 0,76 t C/ha.

Roca (2016), por su parte, efectuó un estudio sobre almacenamiento de carbono en plantas de palma aceitera de tres edades diferentes de 5,10 y 18 años el cual la fijación de carbono total en el suelo obtuvo 65,780 t C/ha en un perfil de suelo de 0 cm a 30 cm, el cual en la biomasa aérea se encontraba 38, 06 t de carbono y en el suelo 27,711 t C/ha.

Fernández (2012), efectuó un trabajo en las localidades de Neshuya y Curimaná con el propósito de determinar la influencia del cambio de uso de la tierra en el secuestro de carbono en tres sistemas de uso del suelo: bosque primario; pastizal y palma aceitera de 10 años. Se concluye que, la biomasa de raíces finas y el contenido de carbono en los sistemas de pasturas y palma aceitera son similares a las cantidades existentes en un bosque; con valores de 7.13, 9.54 y 9.65 t C/ha y de biomasa con 3.57, 4.77 y 4.82 t C/ha en pastos, palma aceitera y bosques primarios respectivamente. Por otro lado, los suelos del área evaluada, independientemente del sistema de uso almacenan mayor cantidad de carbono en los primeros 10 cm de profundidad, representando aproximadamente 58.3% del total de carbono existente.

Finalmente, Alegre (2012), concluye que el stock de carbono en los primeros 40 cm del suelo varia de 78.8 t C/ha en los bosques hasta 29.7 t C/ha en sistema de tumba y quema. Los sistemas agroforestales de multiestratos y caucho con cobertura de kudzu y el rebrote de tornillo presentaron los niveles más altos de carbono comparados con sistemas de barbechos, pastos y cultivo. El flujo de carbono fue mayor para los bosques secundarios de 15 y 20 años, así como los sistemas de rebrote con tornillo (10 t C/ha por año) y el multiestrato con cinco especies en la misma unidad de área fue de 9.2 t C/ha.

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. UBICACIÓN.

El experimento se desarrolló en tres lugares denominados módulos los cuales son considerados como repeticiones: El primer módulo está ubicado en el km 10 CFB margen derecha, interior 5 km. Geográficamente se encuentra localizado a 8°39”13.04; de Latitud Sur y a 74°56”36.43 de Longitud Oeste; a una altitud 150 msnm; el segundo módulo se encuentra en la Estación Experimental del INIA-Pucallpa, localizado en el km 44 CFB a 8°32“22.23 de Latitud Sur y a 74°52”59.31 de Longitud Oeste; a una altitud de 226 msnm, y el ultimo módulo se ubica en el km 59 CFB margen izquierda interior 2 km localizado a 8°39”12.98 de Latitud Sur y a 74°56”36.29, de Longitud Oeste; a una altitud de 230 msnm, Estación Experimental del Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura, IVITA – Pucallpa.

3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.

El lugar pertenece al ecosistema de Bosque Tropical semi siempre verde estacional; localizado a 8°39”13.04; de Latitud Sur y a 74°56”36.43 de Longitud Oeste; a una altitud 150 msnm y una precipitación promedio de 1750 mm (SENAMHI 2019).

3.3. VARIABLES EN ESTUDIO.

En estos tres lugares se instaló un experimento de Sistemas silvopastoriles cuyas variables como: características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como la captura de carbono en el sistema son evaluados y analizados en el presente trabajo de investigación.

3.3.1 Variables independientes.

- T1 *B. humidicola* como testigo.
- T2 *B. humidicola* + 2523 plantas ha^{-1} de erytrina + 400 plantas ha^{-1} de marupa + 25 plantas ha^{-1} de shihuahuaco.

- T3 *B. humidicola* + 2523 plantas ha^{-1} de huingo + 400 plantas ha^{-1} de marupa + 25 plantas ha^{-1} de shihuahuaco.
- T4 *B. humidicola* + 2523 plantas ha^{-1} de cratylia + 400 plantas ha^{-1} de marupa + 25 plantas ha^{-1} de shihuahuaco.
- T5 *B. humidicola* + 2523 plantas ha^{-1} de leucaena + 400 plantas ha^{-1} de marupa + 25 plantas ha^{-1} de shihuahuaco.

3.3.2. Variables dependientes.

- Características físicas: textura, densidad aparente y compactación.
- Características químicas: pH, MO; N; P; CIC y Sat Al.
- Características biológicas: macro fauna del Suelo.
- Contenido de carbono en el sistema (CS= CBA+CBI+CR+CS): carbono en la biomasa aérea, biomasa inerte, en las raíces del suelo y en el suelo.

3.4. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES.

3.4.1. Físicas.

3.4.1.1. Textura.

Se sacó muestras de suelo en dos profundidades de 0 cm a 20 cm y de 20 cm a 50 cm; 500 gramos, luego se secaron a temperatura ambiente y fueron enviados al laboratorio de suelos del INIA en Pucallpa. Se utilizaron un muestreador de suelo tipo berbiquí.

3.4.1.2. Densidad aparente.

En uno de los cuadrantes señalados para el muestreo de la biomasa herbácea, se abrió una calicata por tratamiento de 1m x 1m x 1.30m de profundidad en donde se midieron horizontes o capas entre: 0 cm a 10 cm; 10 cm a 20 cm; 20 cm a 40 cm; 40 cm a 100 cm. En cada uno de estos horizontes, usando cilindros de volumen conocido se sacó 2 muestras por cada profundidad. Luego estas muestras fueron colocadas en bolsas de papel. En el mismo campo se pesaron las muestras inmediatamente después de sacarlos por cada profundidad. Después en el laboratorio, estas muestras se colocaron en la estufa

a 75 °C durante 48 a 72 horas hasta obtener el peso constante para luego realizar los cálculos respectivos.

3.4.1.3. Compactación.

Se abrió una calicata de 1m x 1m x 1.30m de profundidad en donde se midieron horizontes o capas entre: 0 a 10 cm; 10 a 20 cm; 20 a 30 cm; 30 a 40 cm…100 cm de profundidad en cada tratamiento por módulo. En cada uno de estos horizontes, se utilizó un penetrómetro haciendo lectura de cuatro sitios (A, B, C, D) en cada horizonte.

3.4.2. Características químicas.

Se recolectó muestras de suelo en dos profundidades de 0 a 20 cm y de 20 a 50 cm; se tomó 500 gramos por tratamiento, luego se secó a temperatura ambiente y fue enviado al laboratorio de suelos del INIA en Pucallpa. Se utilizó un muestreador de suelo tipo berbiquí.

3.4.2.1. Macrofauna del suelo.

Se eligieron 3 sitios al azar por tratamiento para tomar las muestras de suelo, de cada sitio se sacaron 3 muestras de 25 cm x 25 cm x 10 cm de profundidad para cada muestra, 3 sitios de tratamiento por módulos por 3 profundidades hicimos un total de 45 muestras. El muestreo se realizó con un muestreador de suelo tipo cuadrado de acero inoxidable; estas muestras fueron llevadas al laboratorio del IVITA Pucallpa, donde fueron separadas manualmente para el conteo de la macrofauna, identificándose los individuos por cada especie. El número total de individuos fueron pesados y guardados en un frasco de vidrio para ser conservados en una mezcla de agua, alcohol y formol.

3.4.3. Contenido de carbono en el sistema.

3.4.3.1. Carbono en la biomasa aérea.

3.4.3.1.1. Biomasa arbustiva.

Se eligieron tres (3) plantas al azar de cada

tratamiento para ser cortadas al ras del suelo, 12 plantas por tratamiento. En total de los módulos se cortaron un número de 36 plantas, se cortó todo el material existente, luego se juntaron los tallos y ramas separando las hojas. Se tomó el peso fresco total de todo el material vivo, luego se sacó una sub muestra de tallos y hojas, se codificó y luego se pesó la sub muestra de 200 g para determinar el peso fresco. Estas muestras se llevaron a estufa de aire caliente a 75 °C, durante 48 a 72 horas hasta obtener los pesos constantes. Este peso se llevó a t/ha^{-1} y se multiplicó por el factor de 0.45 para obtener la cantidad carbono en esta biomasa (ICRAF 2003).

3.4.3.1.2. Biomasa herbácea.

En cada módulo se colectaron muestras de la biomasa viva de arbustos, malezas y otros. Se tomaron 3 muestras al azar de 1 m^2 por tratamiento, (15 m^2) por cada módulo. En total de los módulos se colectaron (45 m^2). Se cortó todo el material existente al ras del suelo, y luego se separó la biomasa viva.

Se tomó el peso fresco total de todo el material vivo, luego se sacó una sub muestra, se codificó y luego se pesó la sub muestra. Estas muestras se llevaron a estufa de aire caliente a 75 °C, durante 48 a 72 h hasta obtener los pesos constantes. Este peso se llevó a t/ha y se multiplicó por el factor de 0.45 para obtener la cantidad carbono en esta biomasa (ICRAF 2003).

3.4.3.2. Carbono en la biomasa inerte.

Se sacó 3 cuadrantes de 50 cm x 50 cm (0.25 m^2) por cada tratamiento sumando (7.5 m^2) por cada módulo. Área total muestreada de los tres módulos (22.5 m^2). En este cuadrante se colectó todo el material muerto (hojarascas, mantillo, ramas, ramillas y otros). Todo el material colectado se sometió a obtener el peso fresco total. Luego se sacó una sub muestra de 200 g para determinar el peso fresco. Todas las muestras codificadas correctamente para no confundir las muestras de un sitio a otra. Se colocaron en bolsas de papel, para ser secados en estufa de aire caliente a 75 °C, durante 48 a 72 h

hasta obtener los pesos constantes. Este peso se llevó a t hay se multiplicó por el factor de 0.45 para obtener la cantidad C/ha en la hojarasca.

3.4.3.3. Carbono en las raíces del suelo.

Esta variable se realizó sacando muestras de 5 calicatas de 1m x 1m x 1.30m de profundidad. Se sacaron 10 muestras de suelo con un marco de 20 cm x 20 cm x 10 cm de profundidad. En total se sacaron 50 muestras por módulo. Las muestras fueron codificadas con nombre del módulo, profundidad y la fecha de muestreo. Estas muestras de suelo fueron llevadas al laboratorio del INIA, para ser lavadas y tamizadas con un tamiz de 0.40 y 0.60 micras. Las muestras fueron pesadas y colocadas en bolsa de papel para ser secadas en la estufa a 75 °C durante 48 a 72 h para obtener el peso constante, para luego realizar los cálculos.

3.4.3.4. Carbono en el suelo.

En la misma calicata aperturada, por cada horizonte marcada se tomó una muestra de suelo de 500 g de peso fresco aproximadamente, teniendo mucho cuidado de no contaminar la primera profundidad con las demás profundidades. Las muestras fueron correctamente identificadas, ejemplo, número del módulo (M-1, M-2), fecha del muestreo, número de tratamiento (T1, T2, T3, T4, T5). La profundidad de la muestra fue (0 a 10 cm, 10 a 20 cm, 20 a 40 cm, 40 a 100 cm).

Luego, se colocó el nombre de la muestra, (análisis químico, carbono y densidad aparente). Estas muestras se secaron a temperatura del ambiente. Las muestras bien secas fueron molidas y tamizadas en un tamiz de 2 mm de diámetro, luego fueron entregadas al laboratorio para ser analizadas.

3.5. EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO.

3.5.1. Preparación del terreno.

Cada uno de los tratamientos y en cada módulo se establecieron en un área de media ha, con un perímetro de dimensiones irregulares, antes de la

siembra se hizo dos pasadas de rastra semipesado y antes de la segunda pasada de rastra se incorporó roca fosfórica a razón de 200 kg/ha.

3.5.2. Fertilización.

La roca fosfórica se incorporó 200 kg ha^{-1} en la preparación del terreno, antes de la segunda pasada de rastra. En todas las especies arbustivas y arbóreas se incorporó por cada hoyo 800 g de gallinaza, 100 g de roca fosfórica y 100 g de dolomita.

3.5.3. Siembra.

La pastura se sembró con material vegetativo a un distanciamiento de 1m x 1m en toda el área del experimento. La marupa se sembró en todo el experimento de la unidad experimental, tres filas a distanciamiento de 3m x 3m, lo que representa un total de 270 plantas por unidad experimental. El shihuahuaco se distribuyó en todo el experimento a un distanciamiento de 25m x 25m, haciendo un total de 15 plantas por unidad experimental. El huingo, amasisa, cratylia y leucaena, se establecieron en el centro de la unidad experimental, en hileras a distanciamiento de 3m x 1m haciendo un total de 924 plantas por unidad experimental. Todas las especies arbustivas y arbóreas se sembraron en hoyos de 40 cm x 40 cm x 40 cm.

3.5.4. Mantenimiento.

Se efectuó una nivelación del área dos veces por año, así como podas 2 veces por año y el respectivo control sanitario.

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Las variables dependientes fueron analizadas utilizando un modelo multivariado siendo las variables analizadas las siguientes: Tres módulos (sitios), cinco tratamientos, cuatro profundidades del suelo, y dos evaluaciones. Para la comparación de promedios se utilizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.01$).

3.6.1. Modelo Estadístico.

$$Y_{ijk} = \mu + Si, + T_j + P_k, + E_l + e_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Cualquier observación en estudio.

μ = Media general

S_i = Efecto de i - ésima sitio en estudio.

T_j = Efecto del j – ésima tratamiento en estudio.

$\mathbf{P_k =}$ Efecto de la K – ésima profundidad del suelo.

$\mathbf{E_l =}$ Efecto de la l – ésima fecha de evaluación.

E_{ijk} = Error o residual.

Cuadro 1. Esquema del análisis de varianza (ANVA).

Fuente de Variabilidad	Gl
Sitios	3 – 1 = 2
Tratamientos	5 – 1 = 4
Profundidad	4 – 1 = 3
Número de evaluación	2 – 1 = 1
Error	109
Total	**120 – 1 = 119**

3.6.2. Campo experimental.

- **Módulo 1 (Sitio 1): CFB. km 10 – Int. 5 km**
  Total, módulo: 25,000 m^2
  Tamaño de la parcela: 5,000 m^2

- **Módulo 2 (Sitio 2): CFB. km 44**
  Total, bloque: 25,000 m^2
  Tamaño de la parcela: 5,000 m^2

- **Módulo 3 (Sitio 3): CFB. km 59**

  Total, bloque: 25,000 m^2

  Tamaño de la parcela: 5,000 m^2

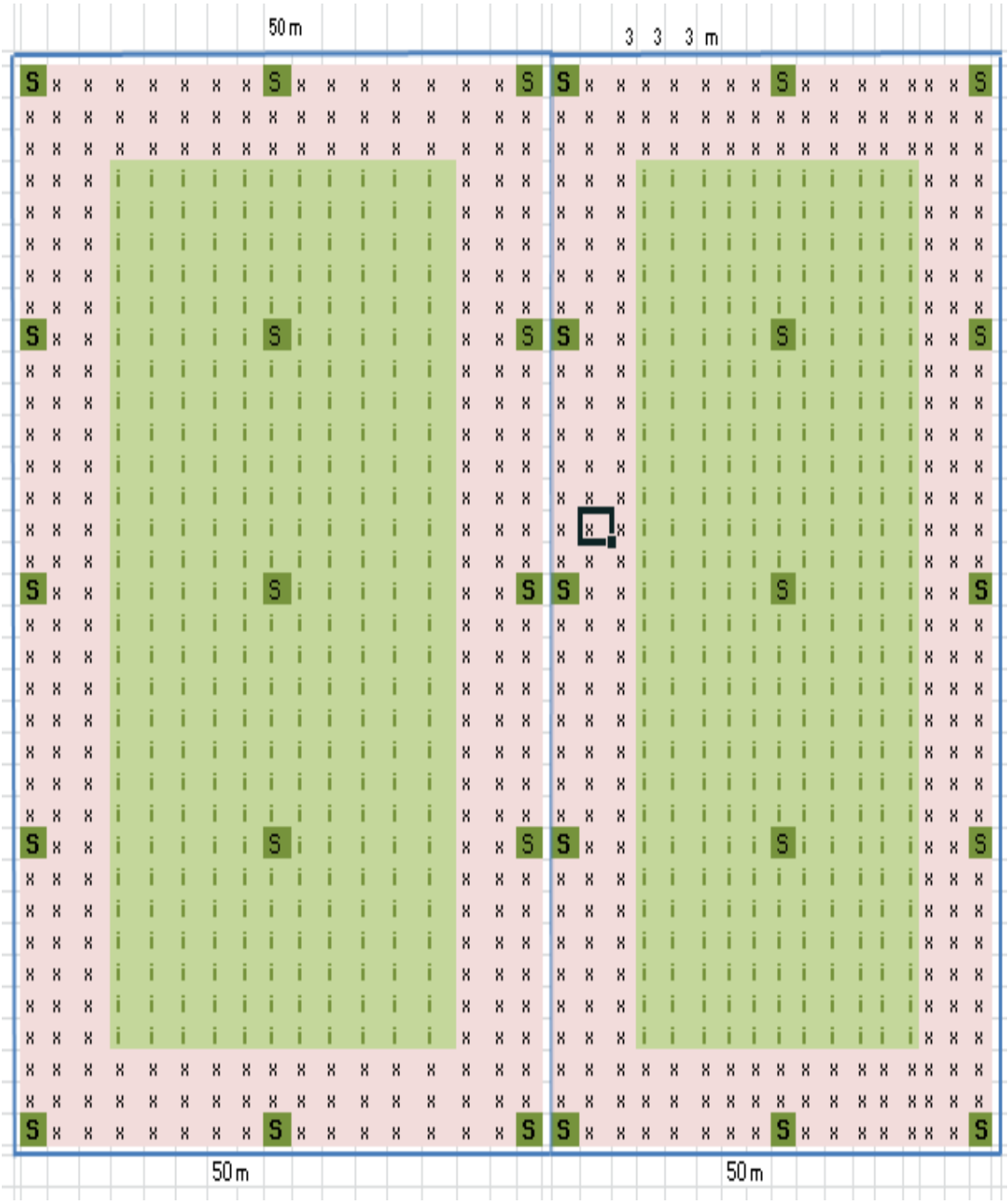


Figura 1. Croquis de campo y unidad experimental.

ÁRBOLES.

X = Árboles de marupa = 270 árboles por parcela x 4 tratamientos = 1080 árboles por experimento, 3240 por los 3 módulos: 3m x 3m por 3 filas de distanciamiento.

S = Árboles de shihuahuaco = 15 árboles por parcela x 4 tratamientos = 60 árboles por experimento, 180 por los 3 módulos: de 25m x 25m de distanciamiento.

Por cada parcela de huingo, amasisa, cratylia y leucaena = 946 plantas en cada unidad experimetal.

I = ARBUSTIVAS.

Huingo = 1717 estacas por parcelas: 3 x 1; 3 m entre fila y 1m entre planta. 3,333 Total.

Amasisa = 1717 estacas por parcela: 3 x 1; 3 m entre fila y 1m entre planta. 3,333 Total.

Crayilia = 1717 plantones / parcela: 3 x 1; 3 m entre fila y 1m entre planta.

3,333 Total.

Leucaena = 1717 plantones / parcela: 3 x 1; 3 m entre fila y 1m entre planta. 3,333 Total.

B. humidicola =1717 esqueje por parcela: 3 x 1;3 m entre fila y 1 m entre planta 3,333 Total.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO.

4.1.1. Textura.

Los resultados de la textura del suelo en promedio de los tres sitios, la línea base y a un año de establecido el experimento, para las profundidades de 0 cm a 20 cm y de 20 cm a 50 cm, se presentan en las Figuras 2 y 3 respectivamente; encontrándose que la textura predominante es la franco arcilloso en los primeros 20 cm, 36.8% arcilla, 33.4% limo y 29.9% de arena, y con una ligera tendencia a una textura arcillosa entre los 20 cm a 50 cm de profundidad 50.7% de arcilla, 27.8% de limo y 24.6% de arena. Realizado el análisis de varianza no se encontró diferencias significativas en todas las variables estudiadas.

Los resultados obtenidos son representativos de los suelos ácidos que abundan en la región; lo que coincide con el trabajo desarrollado por Jiménez et al. (2007), quien manifiesta que las texturas predominantes en este tipo de suelos varían entre franco-arenoso a arcillosa, los cuales tienen valores mayores a 30% de arcilla, que son típicos de los suelos inceptisoles (Aquepts), además son proclives a la compactación y con problemas de mal drenaje principalmente cuando son sembrados con cualquier cultivo. Por otro lado, al no encontrar cambios en el tiempo, coincidiría con el estudio realizado por Arévalo (2014), quien manifiesta que la textura es una característica física estática y no cambia durante un corto periodo de tiempo o aún en muchas décadas. El autor también expresa que, la textura, a diferencia de los demás indicadores, no está influenciada por el manejo, ya que es una propiedad inherente del suelo y, por tanto, puede ser considerada como una ventaja natural que afecta la calidad de un suelo. Sin embargo, la textura es muy importante porque afecta las variables físicas (porosidad, agregación, retención de agua), químicas (intercambio catiónico) y biológicas consecuentemente. En general, una textura franco arcillosa puede ser buena para cultivos en ambientes secos, y franco arenoso es mejor en ambientes húmedos.

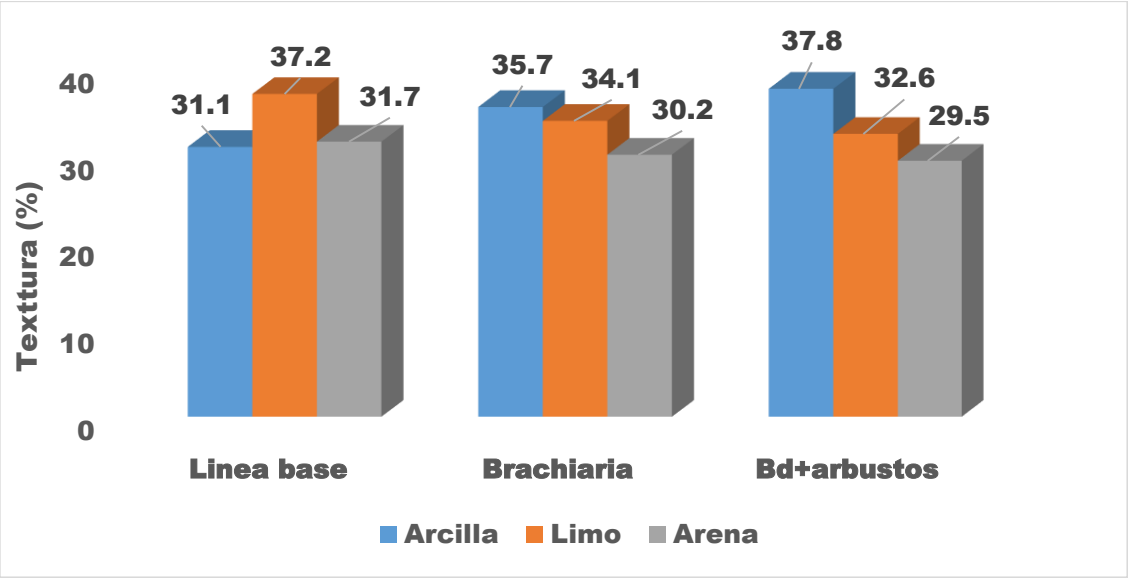


Figura 2. Textura, porcentaje de arena, arcilla y limo en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, medidos al inicio y al año de establecido el experimento, en los tres sitios estudiados. Pucallpa, Perú.

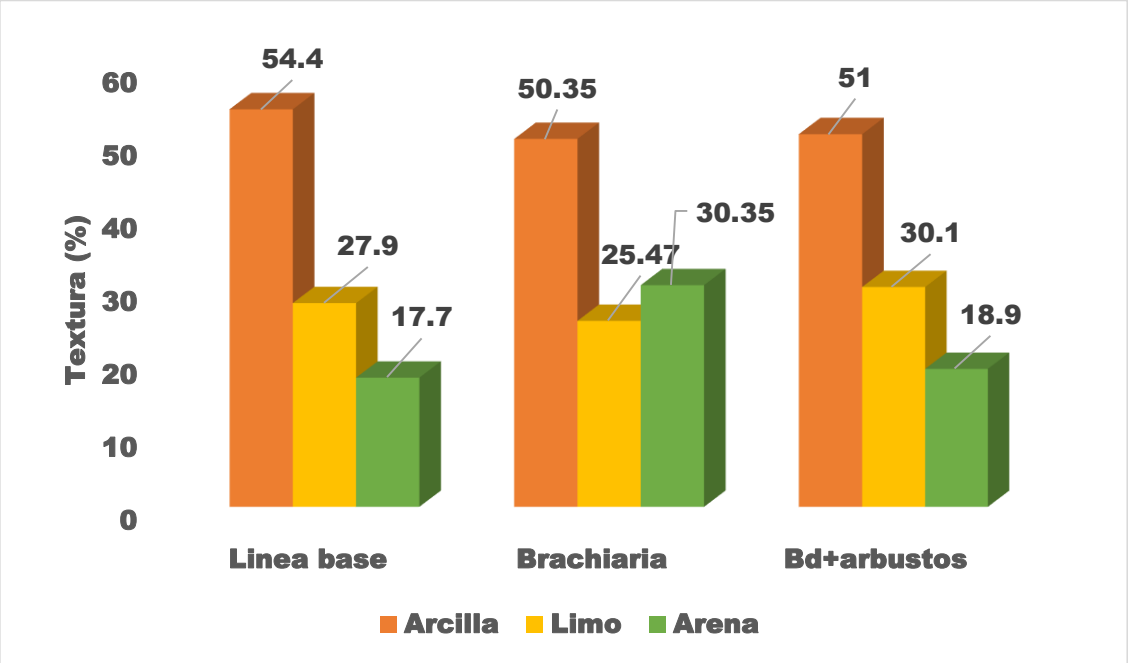


Figura 3. Textura, porcentaje de arena, arcilla y limo de 20 cm a 50 cm de profundidad del suelo, medidos al inicio y al año de establecido el experimento, en los tres sitios estudiados. Pucallpa, Perú.

4.1.2. Densidad aparente.

Los resultados de la densidad aparente del suelo en los primeros 10 cm de profundidad, medidos al inicio y al año de establecido el experimento, en los tres sitios estudiados se presentan en la Figura 4.

El análisis de varianza, nos muestra que existen diferencias significativas en los 4 niveles de profundidad estudiadas, en las dos épocas evaluadas, así como entre los 3 sitios estudiados; desarrollado la prueba de promedios de Tukey se puede observar que, de 0 cm a 10 cm de profundidad, la densidad aparente es 1.30 g cc^{-1}, muy por debajo significativamente que, de 10 cm a 20 cm; 20 cm a 40 cm y 40 cm a 100 cm de profundidad, de igual manera con respecto a las épocas de evaluación la prueba de Tukey, nos indica que la densidad aparente es mucho más alta al inicio del experimento con un 1.4 g cc^{-1} comparado al año de evaluación cuya densidad aparente tanto para Brachiaria como los tratamientos de Brachiaria + arbustos presentaron densidades aparentes mucho más bajos en promedio de 1.22 y 1.32 respectivamente, en lo que se refiere a los sitios estudiados la densidad aparente en el sitio uno fue más bajo significativamente 1.28 g cc^{-1}, comparado con los sitios 2 y 3 que tuvieron densidad aparente similares; pero inferiores al sitio 1, con 1.32 y 1.33 respectivamente.

La medida de la densidad aparente es considerada según Ingaramo et al. (2003), un parámetro muy importante para evaluar la calidad de un suelo, como indicador de la estructura y la resistencia mecánica del mismo. La densidad aparente afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces, por ello, los valores de densidad aparente al inicio y al año de establecimiento no muestran claras diferencias, debido al escaso desarrollo radicular de la brachiaria y a las asociaciones con leguminosas. De hecho, otros factores como la clase textural guarda relación con los valores de densidad aparente en los primeros 20 cm del suelo, así, para suelos franco arcillosos y franco limosos les corresponde valores de densidad aparente de 1.2 y 1.3 g cc^{-1}, respectivamente.

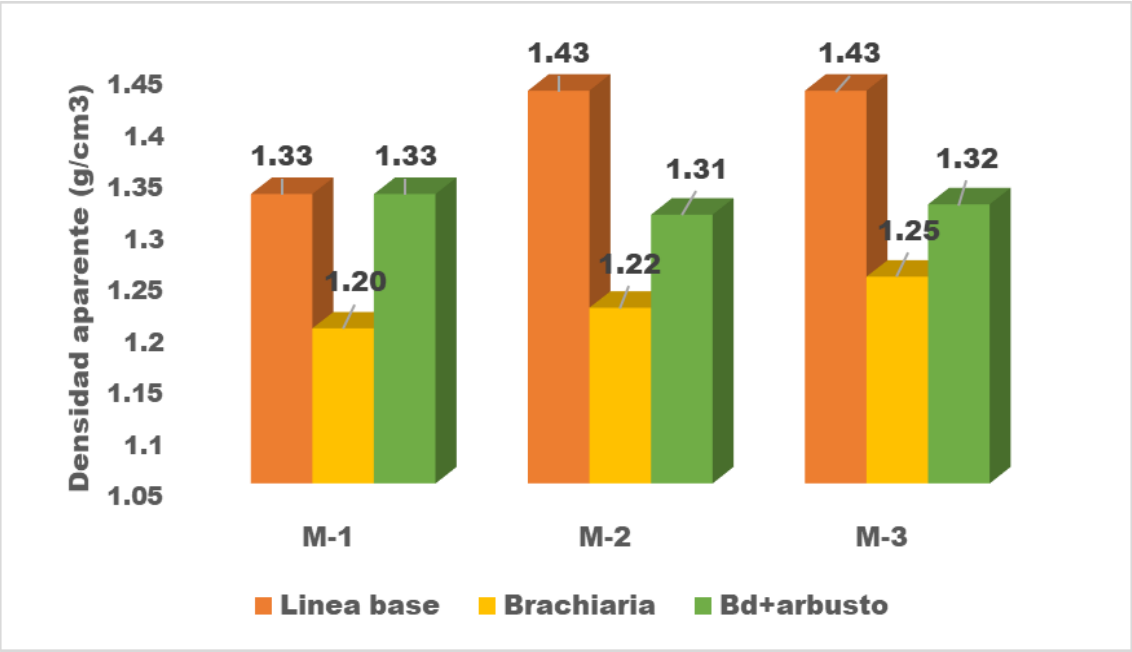


Figura 4. Densidad aparente en los primeros 10 cm de profundidad del suelo, medidos al inicio y al año de establecido el experimento, en los tres sitios estudiados. Pucallpa, Perú.

4.1.3. Compactación.

Respecto a esta variable, en los primeros 10 cm del suelo, los suelos son franco arcilloso y franco limoso, con un contenido medio de arcilla, y dado que esta partícula tiende a la compactación, los valores van en aumento conforme se profundiza el suelo a los 20 cm, 40 cm y 100 cm respectivamente.

El nivel de compactación tuvo diferentes respuestas al año de establecido el experimento, destacando los sistemas brachiaria con amasisa y brachiaria con leucaena, como se aprecia en la Figura 5, debido probablemente al mayor número y biomasa de raíces que presentaron las especies indicadas, especialmente en los primeros 20 cm.

Estos resultados coinciden con Blanco (2009), quien asegura que, conforme al aumentar la profundidad de muestreo en suelos con un alto contenido en arcillas, acercan los efectos atribuibles a la compactación del suelo.

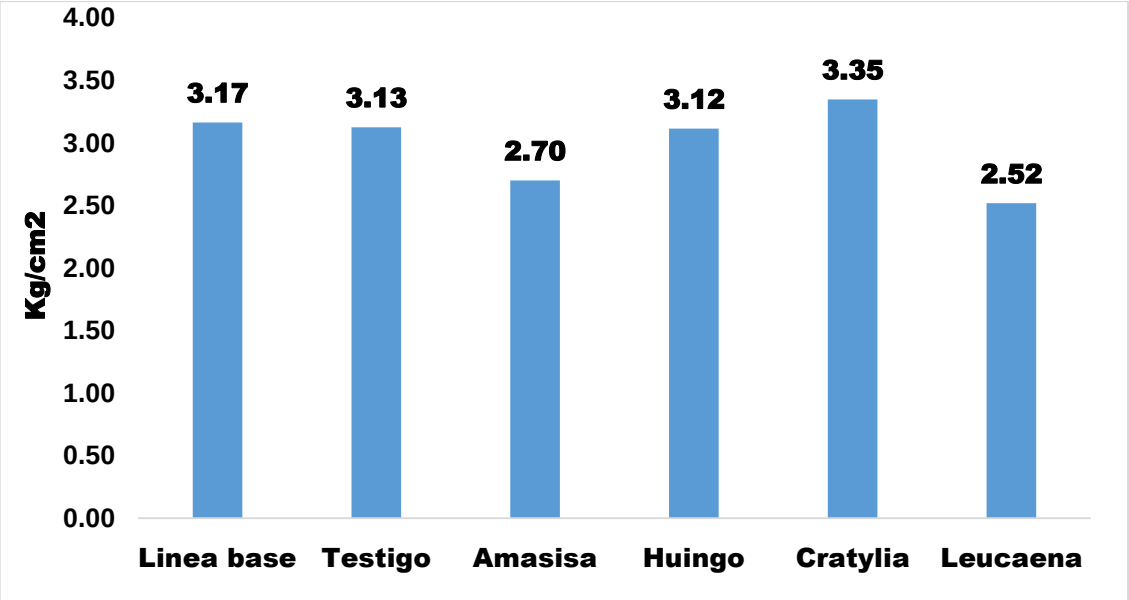


Figura 5. Compactación a 1 m de profundidad del suelo, medidos al inicio y al año de establecido el experimento, en los tres sitios estudiados. Pucallpa, Perú.

4.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DEL SUELO.

Los resultados de las características químicas del suelo se presentan en los cuadros 2, 3 y 4, para los diferentes sitios, tratamientos, profundidades y evaluaciones efectuadas en el experimento. El análisis multivariado realizado nos indica que existen diferencias altamente significativas entre los promedios de todas las variables estudiadas para las siguientes características químicas: pH, MO, N, P, CIC y Sat. Al.

El pH del suelo es extremadamente ácido en los tres sitios donde se estableció el experimento, no encontrándose diferencias significativas con valores que van desde 4.2 a 4.73; la misma tendencia se encontró entre los valores de pH cuando se comparó los promedios de los tratamientos, las dos profundidades analizadas, y al año de establecido el experimento comparado con la línea base.

Los valores de pH reportados en los análisis son característicos de este tipo de suelo como lo reportan Díaz (2016), con 4.35 de 0 cm a 20 cm y 4.26 de 20 cm a 50 cm y de Sales (2006), con 5.57 de 0 cm a 20 cm y 5.41 de 20 cm a 40 cm; quienes afirman que estos valores se consideran entre fuertemente a

extremadamente ácidos.

La materia orgánica del suelo de los sitios 1 y 3 fueron superiores con 2.19% y 1.99% comparado con el sitio 2 que solamente tuvo 1.73%. Tukey (P≤ 0.01), de igual modo, no se encontró diferencias significativas en el % de MO entre los tratamientos estudiados; hay un porcentaje superior de MO en los primeros 20 cm de profundidad del suelo que fue de 2.11% comparado con el porcentaje de MO de 20 cm a 50 cm de profundidad que fue de 1.82%; tampoco se encontró diferencias en el contenido de MO cuando se comparó los valores de la línea base con el primer año de establecido el experimento. Los valores encontrados pueden considerarse dentro de un rango normal tratándose de suelos con alto % de arcilla, como lo reporta (Bazán 2019; Díaz 2016; Sales 2006).

Para el caso de Nitrógeno total, el sitio 1 con 0.1% supera significativamente a los sitios 3 y 2 que obtuvieron sucesivamente 0.09 y 0.08%. Sin embargo, no sucede lo mismo entre los tratamientos evaluados. Por otro lado, tampoco se presentaron diferencias entre profundidades al inicio del ensayo, pero al año de establecido, se observa diferencias significativas. Estos resultados se corroboran con los encontrados por Díaz (2016) y Sales (2006) en los km 10 y 44 CFB, con 0.07 y 0.12% de N total, respectivamente.

Respecto a fósforo disponible, los valores encontrados para sitios y entre la línea base con 2.52 y al año de evaluado con 2.80 éstas no muestran diferencias significativas. En cambio, para las profundidades evaluadas el contenido de P de 0 cm a 20 cm es superior con 3.56 respecto al contenido de P de 20 cm a 50 cm de profundidad con 1.55. El valor de P disponible obtenido por (Díaz 2016) de 1.65 mg kg^{-1} es menor a los que se reporta en todos los tratamientos evaluados en este ensayo, y al mismo tiempo, mucho menor a lo que encontró (Sales 2006) con un promedio de 11.48 mg kg^{-1} de P disponible. (Ver Cuadro 2, 3 y 4).

Los valores encontrados de los CIC muestran diferencias entre sitios, siendo los sitios 1 y 3 de 7.69 y 7.97 ($Cmol^{(+)}$/Lt), superiores al sitio 2 con 7.03 ($Cmol^{(+)}$/Lt), lo que no sucede cuando es evaluada a nivel de tratamientos donde

todos se comportan de manera similar, y respecto a profundidades, de 20 cm a 50 cm se obtuvo el mayor valor de esta variable, debido probablemente al valor del aluminio, sucediendo lo contrario cuando se evalúa la línea base y al año de establecido, con 10.70 y 7.42 ($Cmol^{(+)}$/Lt), respectivamente, estos valores son considerados bajos aunque son característicos para este tipo de suelo como lo reporta Sales (2006) con 5.48 y 2.51 ($Cmol^{(+)}$/Lt) cada uno.

Los porcentajes de saturación de aluminio son muy altos, encontrándose diferencias altamente significativas entre sitios, siendo el más alto en sitio 3 con 81.31%, seguido del sitio 1 y 2 con 69.94 y 56.91% respectivamente. Por otro lado, no se expresa diferencias significativas entre tratamientos; pero si entre profundidades, siendo superior entre 20 cm a 50 cm, los valores coinciden con los reportados por Sales (2006) con 48.26%.

Cuadro 2. Características químicas del suelo por sitio de establecimiento del sistema silvopastoril.

Características químicas	Km 10 CFB	Km 44 CFB	Km 59 CFB
pH	4.74 a	4.80 a	4.91 b
MO (%)	2.19 a	1.73 b	1.99 a
N (%)	0.10 a	0.08 b	0.09 ab
P (ppm)	2.63 a	2.07 a	2.97 a
Al ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	5.51 b	4.24 c	6.50 a
K ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	0.07 b	0.24 a	0.06 b
Ca ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	1.62 b	1.94 a	1.24 c
Mg ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	0.50 a	0.61 a	0.17 b
CIC (meq/100 g)	7.69 a	7.03 b	7.97 a
Sat Al (%)	71.65 b	60.3 c	81.5 a

Cuadro 3. Características químicas del suelo por profundidad de establecimiento del sistema silvopastoril.

Características químicas	Línea base 0-20	Línea base 20-50	Al año 0-20	Al año 20-50
pH	4.24 a	4.59 a	4.73 a	4.27 a
MO (%)	1.74 a	1.77 a	2.11 a	1.82 b
N (%)	0.08 a	0.09 a	0.1 a	0.08 b
P (ppm)	3.42 a	1.61 b	3.56 a	1.55 b
Al ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	3.53 b	8.67 a	3.63 b	7.20 a
K ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	0.06 a	0.03 b	0.18 a	0.07 b
Ca ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	4.91 a	4.03 a	1.87 a	1.33 b
Mg ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	0.18 a	0.18 a	0.53 a	0.32 b
CIC (meq/100 g)	8.68 b	12.91 a	6.21 b	8.92 a
Sat Al (%)	40.67 b	66.3 a	57.88 b	80.90 a

Cuadro 4. Características químicas del suelo por evaluación.

Características químicas	Evaluación de Linea base	Evaluación a un año de establecido el SSP
pH	4.59 a	4.34 a
MO (%)	1.76 b	2.59 a
N total (%)	0.08 b	0.12 a
P disponible (ppm)	2.52 a	2.80 a
Al ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	6.1 a	5.62 a
K ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	0.04 b	0.20 a
Ca ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	4.47 a	1.12 b
Mg ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	0.18 b	0.48 a
CIC (meq/100 g)	10.70 a	7.42 b
Sat Al (%)	57.0 b	75.7a

Cuadro 5. Coeficiente de variabilidad, coeficiente de determinación y desviación estándar de las características químicas, producto del análisis de varianza realizadas en el experimento.

Características Químicas	CV (%)	R^2	S
pH	12.4	63.6	0.32
MO (%)	17.9	79.6	0.35
N (%)	18.3	78.9	0.02
P (ppm)	62.8	37.2	1.7
Al ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	22.50	77.40	1.22
K ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	95.6	58.0	0.12
Ca ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	0.0	100.0	0.0
Mg ($Cmol^{(+)}$/(Lt)	39.2	73.9	0.17
CIC (meq/100 g)	10.57	88.7	0.8
Sat Al (%)	8.63	90.7	5.98

4.3. PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO.

4.3.1. Macrofauna en el suelo.

Los resultados del análisis de la macrofauna en el suelo se puede observar en la Figura 6, en donde se presenta la biomasa total en kg/ha en los tres sitios donde se estableció el experimento, siendo estos de 470.3, 1754.0 y 1255 kg/ha para los sitios 1, 2 y 3 respectivamente; igualmente en la Figura 7, se presenta la biomasa total de la macrofauna (kg/ha) en las cuatro diferentes profundidades estudiadas siendo estos de 13.54, 1008.6, 124.3 y 14.7 kg/ha para las profundidades superficial, de 10, 20 y 30 cm de profundidad.

El análisis de varianza determinó que existen diferencias altamente significativas entre los promedios de los tres sitios estudiados, así como con respecto a la profundidad del suelo. La presencia de la macrofauna en los sitios 2 y 3 fueron superior al sitio 1, lo mismo pasó con la presencia de la macrofauna con respecto a la profundidad del suelo presentando alta cantidad de macrofauna

en los primeros 10 cm de profundidad comparado con la parte superficial del suelo y las profundidades de 10 a 20 cm y de 20 a 30 cm.

Los resultados obtenidos, nos muestran que la presencia de los árboles y arbustos en el sistema silvopastoril tiene una influencia muy importante en la presencia de la macrofauna ya que se ha podido determinar en los análisis de la macrofauna que los valores de la línea base siempre fueron inferiores en todos los casos. Las especies de macrofauna encontradas se observa en la Figura 8, donde observamos que existen alta cantidad de lombrices de tierra, seguido de las termitas y hormigas, y en pequeñas cantidades los escarabajos, arañas, ciempiés y otros no identificados, al ser comparadas con la línea base.

Estos resultados se asemejan a los encontrados por Pashanasi (2001), quien realizó un estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en 22 diferentes sistemas usos de la tierra en las zonas de Yurimaguas y Pucallpa. En las purmas, la densidad poblacional está en un rango de 334 a 838 individuos/m^2; mientras que la biomasa varía entra 4,2 y 102 g peso fresco/m^2.

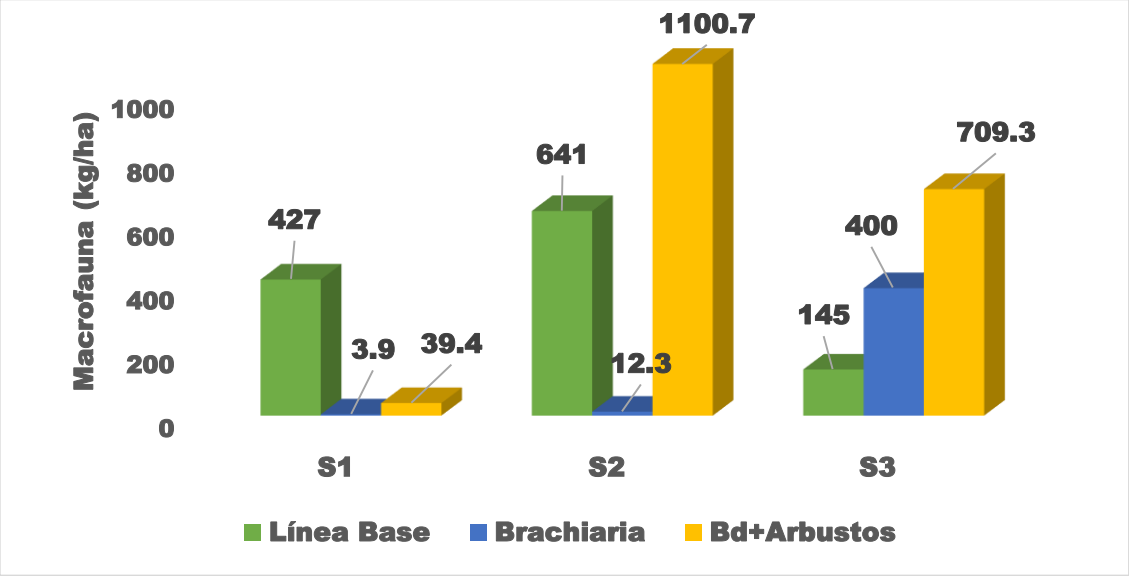


Figura 6. Biomasa total por sitio: línea base y a un año de establecido el Brachiaria en monocultivo y en el sistema Brachiaria más árboles.

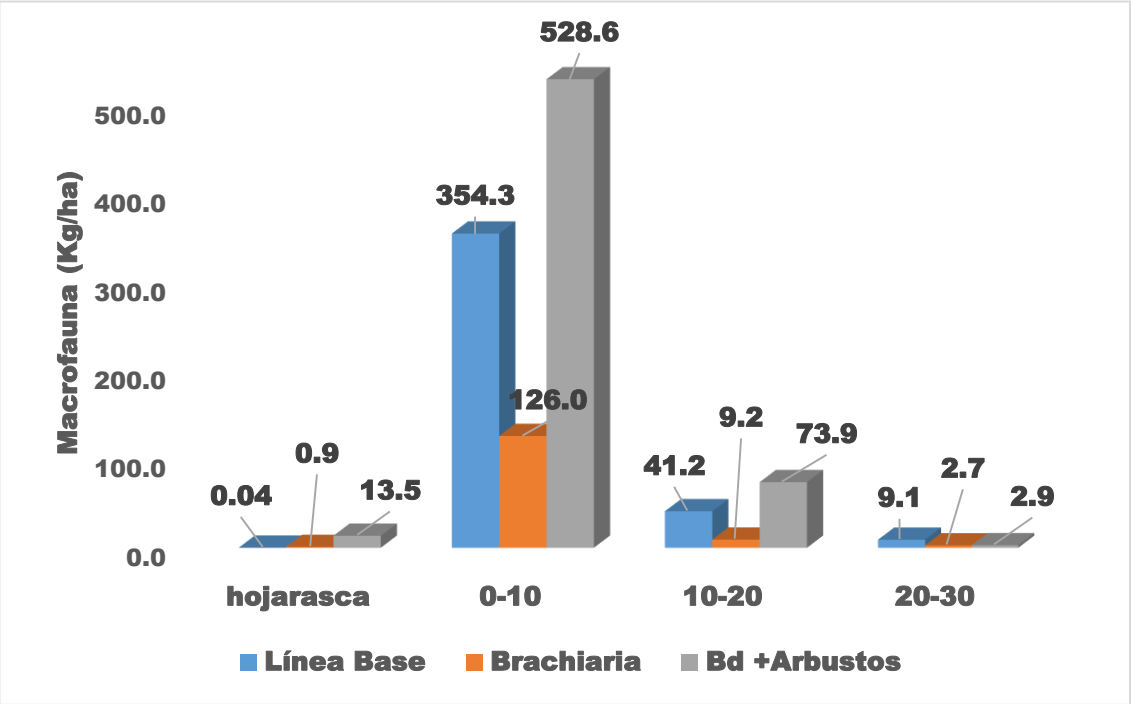


Figura 7. Biomasa total por profundidad: línea base y a un año de establecido el Brachiaria en monocultivo y en el sistema Brachiaria más árboles.

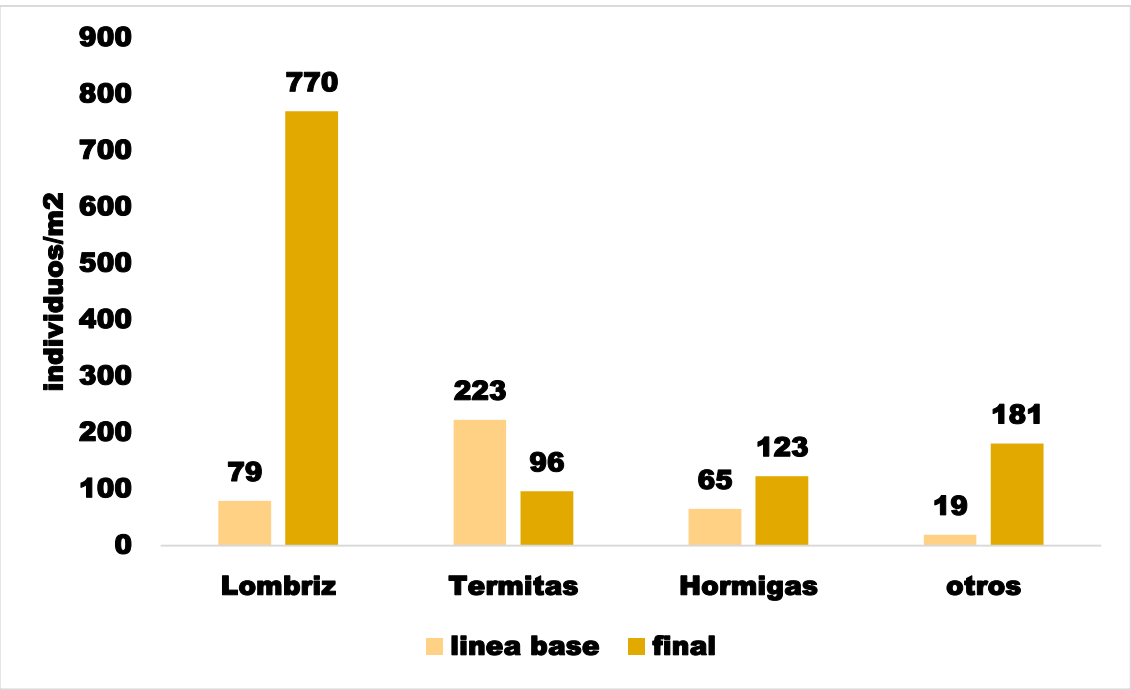


Figura 8. Número total por especies: línea base y a un año de establecido el Brachiaria en monocultivo y en el sistema Brachiaria más árboles.

4.4. CONTENIDO DE CARBONO TOTAL.

Al analizar el C total (C suelo + C biomasa) los resultados indican que los valores mayores se encuentran en el sitio 1 para los tratamientos Brachiaria y Brachiaria + arbustos (Figura 9).

Al año de establecido, los tratamientos Brachiaria con 162.3 y 124.2 t C/ha, así como Brachiaria + arbustos con 178.1 y 139.5 t C/ha, superan significativamente a la línea base que obtuvo 149.7 y 124.2 t C/ha en los sitios 2 y 3 respectivamente.

Estos valores resultan más altos a los reportados por Alegre (2012), quienes, evaluando el aporte de carbono de suelo a los 40 cm en varios sistemas de uso de la tierra en Pucallpa, registraron 78 t C/ha para el sistema foresta, seguido del barbecho de 15 años que acumula 68 t C/ha y del SAF rebrote de tornillo con 46 t C/ha. El sistema tumba y quema muestra los valores más bajos de C con 29 t/ha. Los autores mencionan que para el caso de Yurimaguas, la mayor acumulación de C se encuentra en la foresta con 38 t C/ha. El sistema barbecho de 15 años registra 46 t C/ha, seguido del SAF pijuayo-centrocema con 56 t C/ha a diferencia del SAF silvopastoril que acumula 75 t C/ha. El sistema tumba y quema y la pastura degradada muestran los valores más bajos de C en el suelo con 29 y 10 t C/ha, sucesivamente.

De forma similar, se comportan más altos a los obtenidos por Fernández (2012), en las localidades de Neshuya y Curimaná con el propósito de determinar la influencia del cambio de uso de la tierra en el secuestro de carbono en tres sistemas de usos del suelo: bosque primario; pastizal (*Brachiaria decumbens y Paspalum, conjugatum*); y palma aceitera mayor a 10 años de edad, lográndose determinar valores de 3.57; 4.77 y 4.82 t C/ha en los primeros 10 cm del suelo de los sistemas pastos, palma aceitera y bosques primarios respectivamente.

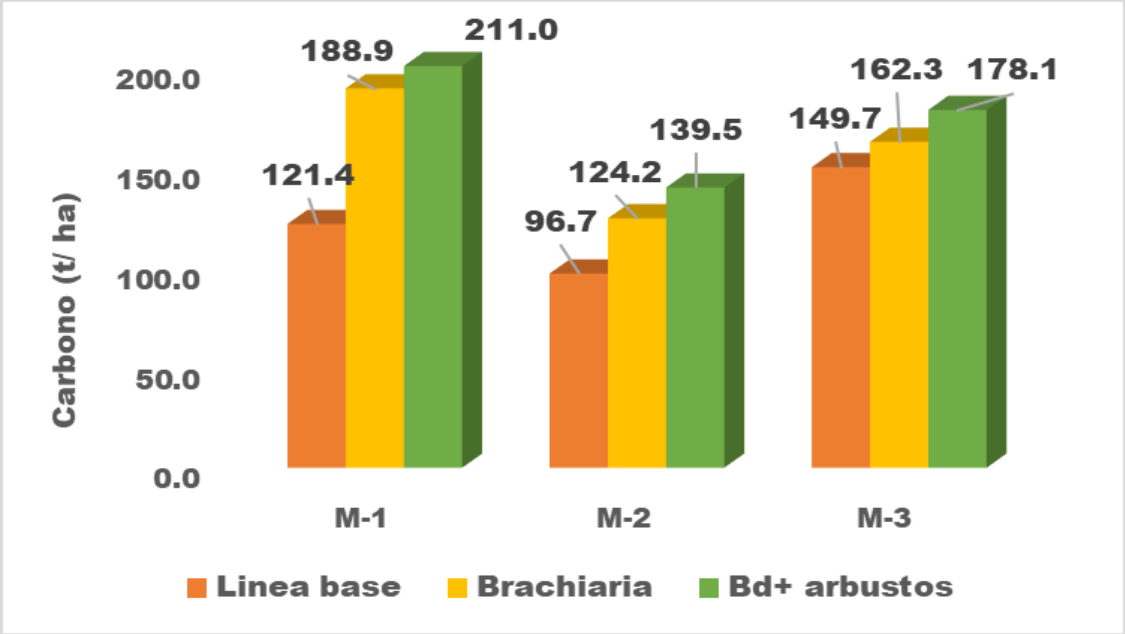


Figura 9. Carbono total almacenado: línea base y a un año de establecido el Brachiaria en monocultivo y en el sistema Brachiaria más árboles.

Timoteo et al. (2016) también determinaron una acumulación de carbono durante el primer año en la biomasa y necromasa aérea de 9.44 t C/ha en el SAF 1 (*Guazuma crinita* asociado a *Inga edulis*), 11.40 t C/ha en el SAF 2 (*Guazuma crinita* combinado con *Cajanus cajan*) y 11.37 t C/ha en SAF 3 (*Guazuma crinita* asociado a *Theobroma cacao*); y en el suelo de 23.98 t C/ha en el SAF 2, 125,39 t C/ha en el SAF 1 y 25,83 t C/ha en el SAF 3. El carbono orgánico en el suelo representa casi el 60% del carbono total almacenado en estos sistemas.

De igual forma, Roca (2016) encontró que la fijación de carbono total media en el sistema de cultivo palma aceitera en promedio (C en biomasa aérea + C en suelo) alcanzó 65.780 t C/ha (perfil de suelo 0 cm a 30 cm), de los cuales 38,06 t de C/ha, se encontraban en la biomasa aérea y el resto 27.711 t C/ha almacenados en el suelo. El suelo almacenó la mayor cantidad de C en las dos primeras edades de palma aceitera, mientras que el fuste o tallo almacenó más carbono en las palmas aceiteras del tercer estrato que es de 18 años.

V. CONCLUSIONES.

Teniendo en cuenta los objetivos del presente trabajo de investigación se concluye que:

1. La textura del suelo en los tres sitios fueron predominantemente franco arcilloso en los primeros 20 cm de profundidad del suelo y arcillosos entre los 20 cm y 50 cm de profundidad, esta característica es común en los suelos llamados de altura que predominan en la región que en su mayoría son del orden inceptisol y ultisols. La densidad aparente y la compactación están altamente relacionada con la textura arcillosa, por lo tanto, los valores encontrados son considerados de mediano a alta, además de tener esta misma tendencia cuando la profundidad del suelo iba incrementándose.

2. Los lugares donde se instaló el experimento presentan suelos fuertemente ácidos repercutiendo en un nivel bajo de la capacidad de intercambio catiónico y un alto nivel de saturación de aluminio: las diferentes especies sembrados no influenciaron en el contenido de MO, N, P, sin embargo, los elementos mencionados presentaron diferencias significativas superior en los primeros 20 cm de profundidad; en general el nivel nutricional del suelo fue de bajo a medio.

3. La siembra de árboles en el sistema influenció altamente significativa en la presencia de la macrofauna, tanto en la biomasa como en el número de especies, principalmente en los primeros 10 cm de profundidad del suelo.

4. A un año de sembrado las especies arbustivas no se detectó diferencias en el almacenamiento de carbono en el suelo.

VI. RECOMENDACIONES.

De acuerdo al trabajo de investigación realizado, se recomienda lo siguiente:

1. En lugares similares donde se desarrolló el presente estudio, es importante tomar en consideración las características físicas y químicas del suelo al momento de elegir los cultivos a establecerse llámese especies anuales, especies arbustivas y pasturas.

2. Para la siembra de árboles, se recomienda utilizar equipos de laboreo del suelo, más profundos que la rastra semipesado, debido a que la densidad aparente y la compactación del suelo es más alta a mayor profundidad del suelo la que va en desmedro del cultivo.

3. Las características físicas, químicas, biológicas y el almacenamiento de carbono encontrado en los sitios que se desarrolló el experimento sugiere la siembra de sistemas agroforestales, los que ayudarían a mejorar las condiciones del suelo y el ambiente.

VII. LITERATURA CONSULTADA.

Alberto, E. 2013. Establecimiento de Sistemas Silvopastoriles: Efecto de la edad del material de multiplicación y manejo del pastoreo con bovinos. Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de Buenos Aires, Área Recursos Naturales.

Alegre, J. 2012. La agroforestería en la Amazonía peruana para recuperar suelos degradados y mitigar efectos de cambio climático.

Arévalo, E. 2014. Dinámica de los indicadores de calidad del suelo en el manejo de sistemas agroforestales con cacao. Universidad Agraria La Molina.

Arévalo, L. J. Alegre, C. Palm. 2003. Determinación de las reservas totales de carbono en los diferentes sistemas de uso de la tierra en Perú. Manual ICRAF CODESU INIA INRENA. Lima Perú 24 p.

Bazán, R. 2019. Interpretación de análisis de suelo. In IX Congreso Internacional y XVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Pucallpa Perú.

Blanco, R. 2009. La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo, Departamento de Geografía. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos, s/n., 29071. Málaga, España.

Cabrera, G. 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Revista pastos y forrajes, vol. 35, No. 4, octubre-diciembre, 349-364.

Cabrera, A. 2012. Selección de indicadores de estabilidad del sistema suelo-pasto en pastizales monocultivados con guinea (Panicum maximum Jacq.), en silvopastoreo con leucaena, y en una mezcla múltiple de leguminosas rastreras.

Cañarí, A. 2013. Fijación y almacenamiento de carbono en plantaciones de palma aceitera en el eje carretera Neshuya-Curimaná. Ucayali-Perú.

Clavo, M. y Torre. 2015. Capacidad de propagación vegetativa de cinco especies arbóreas para cercos ganaderos con postes vivos en la zona de Pucallpa. Revista de Investigaciones Pecuarias - IVITA 8(1):69-73.

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

Díaz, W. 2016. 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. Tesis.

Duran, J. 2015. Propiedades del suelo, físicas químicas y biológicas. https://es.scribd.com/document/324436496/propiedades-del-suelo.

Fernández, P. 2016. Estado de los elementos químicos esenciales en suelos de los sistemas natural, agroforestal y monocultivo. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. México. Vol. 7 (35): 65-77.

Fernández, K. 2012. Efecto del cambio de uso de la tierra en la cantidad de raíces finas y la biomasa de carbono almacenado en Neshuya, Curimaná, Ucayali.

Ibáñez, J. 2007. Macrofauna (invertebrados), lombrices de tierra, termitas, muchas especies de hormigas, pero también los ciempiés, milpiés, larvas de otros artrópodos, caracoles y Microfauna edáfica (bacterias).

Iglesias, J. 2017. Sistemas silvopastoriles en el contexto cubano. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey (EEPFIH), Matanzas. Cuba. 75-82, 2017.

Ingaramo, P. y Dugo. 2003. Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el NO de la Península Ibérica. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.

Jiménez, L.; Mezquida, E.; Capa, M.; Sánchez, A. 2007**.** Cambio en las propiedades del suelo por transformación de áreas boscosas en pastizales en zamora-chinchipe (Ecuador), Instituto de investigación y Manejo Sustentable del Suelo. Universidad Técnica Particular de Loja. San Cayetano Alto. 1101608-LOJA (Ecuador).

Lizana, M. 2014. Captura de carbono orgánico en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el distrito de Irazola. Ucayali Perú.

Lok, S.; Fraga, S.; Noda, A. y García, M. 2013. Determinación del almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

Navas, A. 2017. Conocimiento local y diseño participativo de sistemas silvopastoriles como estrategia de conectividad en paisajes ganaderos. Centro de investigación CIMRA. Universidad de La Salle. Rev. Med. Vet. ISSN 0122-9354 ISSNe 2389-8526: Bogotá (Colombia).

Navas, A. 2010. Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. Docente Asistente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de La Salle.

Oliva, M. 2017. Reserva de carbono en un sistema silvopastoril compuesto de Pinus patula y herbáceas nativas. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Chachapoyas, Amazonas, Perú. 8(2): 149 – 157 (2017).

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) 2016. Propiedades del suelo, físicas químicas y biológicas. 50, p.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) 2001. El ciclo global del Carbono. Memorias divulgativas. 52 p.

Pashanasi, B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonía peruana. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. VOL. 12 (1-2).

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

Roca J, 2016. Estimación del stock de carbono en plantaciones de palma aceitera de la zona de Neshuya-Ucayali Tesis Universidad Nacional de Ucayali. Pucallpa Perú 2012.

Rojas, V. 2016. Evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo, antes y después de la quema en dos tipos de uso del suelo: pastizales y bosques secundarios en el distrito de campo verde, provincia de Coronel Portillo, región Ucayali. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Forestal.

Rojas, J.; Hernán, J. 2009. Secuestro de carbono y uso de agua en sistemas silvopastoriles con especies maderables nativas en el trópico seco de Costa Rica.

Rodríguez et al. 2002 citado por Cabrera 2012. Comparación de un sistema de pasto natural con otro de pasto natural más 100% de leucaena *(Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit).

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. Tesis doctoral Universidad de Sevilla. España. 165 p.

Timoteo, K. J. Remuzgo, L. Valdivia, F, Sales, D, Garcia, C, Abanto. 2016. Estimación del carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco. Folia Amazónica VOL. 25 (1) 2016: 45 – 54. Iquitos Perú.

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

Vela, J. y 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.

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

Venegas, A. 2008. Caracterización de la materia orgánica de suelos de praderas naturales y cultivadas de la IX región Santiago – Chile 2008.

Villacorta, A. 2016. Caracterización de suelos con relación al cambio de uso de la tierra de laderas en la zona de Aguaytía, provincia de Padre Abad, Ucayali - Perú.

VIII. ANEXO.

Cuadro 6A. Textura del suelo del experimento de SSP, evaluado en el módulo 1, Pucallpa, Perú.

Profundidad/ Tratamiento				Clase textural
	Arcilla	Limo	arena	
Línea base				
0-20	29.76	42.56	27.65	Fr. Ar
20 – 50	43.76	40.56	15.69	Ar. L.
B.dictyoneura				
0-20	37.92	40.56	21.52	Fr. Ar
20 – 50	57.92	28.56	13.52	Arcilla
B.d + amasisa				
0-20	37.92	40.56	21.52	Fr. Ar
20 – 50	55.92	32.56	11.52	Arcilla
B.d + huingo				
0-20	39.92	38.56	21.52	Fr. Ar
20 – 50	53.92	36.56	9.52	Arcilla
B.d + cratylia				
0-20	39.92	36.56	23.52	Fr. Ar
20 – 50	53.92	36.56	9.52	Arcilla
B.d + leucaena				
0-20	39.92	36.56	23.52	Fr. Ar
20 – 50	51.92	36.56	11.52	Arcilla

Cuadro 7A. Textura del suelo del experimento de SSP, evaluado en el módulo 2, Pucallpa, Perú.

Profundidad/ Tratamiento				Clase textural
	Arcilla	Limo	arena	
Línea base				
0-20	27.76	30.56	41.68	Fr. Ao
20 – 50	43.76	22.56	33.68	Arcilla
B.dictyoneura				
0-20	30.64	21.84	47.52	Fr Ar Ao
20 – 50	42.64	13.84	43.52	Arcilla
B.d + amasisa				
0-20	26.64	25.84	47.52	Fr Ar Ao
20 – 50	48.64	1784	33.52	Arcilla
B.d + huingo				
0-20	36.64	31.84	31.52	Fr Ar Ao
20 – 50	48.64	25.84	25.52	Arcilla
B.d + cratylia				
0-20	40.64	19.84	39.52	Arcilla
20 – 50	50.64	19.84	29.52	Arcilla
B.d + leucaena				
0-20	28.64	21.84	49.52	Fr Ar Ao
20 – 50				

Cuadro 8A. Textura del suelo del experimento de SSP, evaluado en el módulo 3, Pucallpa, Perú.

Profundidad/ Tratamiento	Un año de establecido			Clase textural
	Arcilla	Limo	arena	
Línea base				
0-20	35.76	38.56	25.68	Fr Ar
20 – 50	75.76	20.56	3.68	Arcilla
B. dictyoneura				
0-20	38.48	40.00	21.52	Fr. Ar
20 – 50	50.48	34.00	15.52	Arcilla
B.d + amasisa				
0-20	42.48	32.00	25.52	Arcilla
20 – 50	50.48	38.00	11.52	Arcilla
B.d + huingo				
0-20	40.48	38.00	21.52	Arcilla
20 – 50	48.48	38.00	13.52	Arcilla
B.d + cratylia				
0-20	44.48	32.00	23.52	Arcilla
20 – 50	56.48	34.00	9.52	Arcilla
B.d + leucaena				
0-20	36.48	38.00	25.52	Fr. Ar
20 – 50	48.48	32.00	19.52	Arcilla

Cuadro 9A. Densidad Aparente del suelo del experimento de SSP, evaluado en los módulos 1, 2, 3, Pucallpa, Perú.

Profundidad (cm)	Linea base	Testigo	Amasisa	Huingo	Cratylia	Leucaena
			Módulo 1			
0-10	1.33	1.20	1.38	1.40	1.29	1.26
10-20	1.42	1.31	1.51	1.42	1.43	1.39
20-40	1.52	1.34	1.45	1.43	1.42	1.51
40-100	1.51	1.40	1.50	1.45	1.47	1.51
			Módulo 2			
0-10	1.43	1.22	1.33	1.32	1.24	1.35
10-20	1.50	1.47	1.38	1.44	1.45	1.42
20-40	1.59	1.50	1.46	1.6	1.34	1.46
40-100	1.54	1.55	1.52	1.59	1.47	1.52
			Módulo 3			
0-10	1.43	1.25	1.43	1.27	1.14	1.45
10-20	1.51	1.45	1.51	1.49	1.39	1.57
20-40	1.59	1.43	1.44	1.57	1.38	1.57
40-100	1.61	1.49	1.55	1.56	1.36	1.55

Cuadro 10A. Compactación del suelo del experimento de SSP, evaluado en los módulos 1, 2, 3, Pucallpa, Perú.

Profundidad (cm)	Linea base	Testigo	Amasisa	Huingo	Cratylia	Leucaena
Módulo 1						
0-10	2.25	2.25	2.67	2.62	1.56	2.68
10-20	2.42	2.42	4.32	4.12	4.32	3.68
20-40	2.54	2.54	4.32	3.37	4.32	4.16
40-100	2.36	2.36	4.07	4.17	4.38	4.58
Módulo 2						
0-10	1.25	1.25	1.17	2.85	2.65	0.67
10-20	2.45	2.45	1.36	4.65	4.7	1.77
20-40	2.76	2.28	1.9	4.41	4.14	1.38
40-100	3.24	3.24	2.77	4.71	4.56	1.82
Módulo 3						
0-10	5.10	5.10	2.32	1.40	2.12	2.12
10-20	5.10	5.12	2.25	1.17	2.22	2.00
20-40	4.06	4.06	2.40	1.43	2.36	2.79
40-100	4.46	4.46	2.88	2.49	2.87	2.58

Cuadro 11A. Características químicas del suelo del experimento de SSP, evaluado en el módulo 1, Pucallpa, Perú.

Tratamiento/ Profundidad (cm)	pH	MO (%)	N (%)	P (ppm)	CIC (Cmol(+)/Lt)				CIC (meq/ 100 g)	Sat Al (%)
					Al	K	Ca	Mg		
Línea Base										
0-20	4.78	1.78	0.08	3.55	2.5	0.13	5.23	0.13	7.99	31.29
20 - 50	4.53	1.55	0.07	2.41	7.7	0.02	3.55	0.13	11.4	67.54
A un año de establecido										
B. dictyoneura										
0-20	5.18	2.89	0.13	5.07	5.00	0.19	1.89	0.83	7.91	63.24
20 - 50	4.43	3.24	0.15	1.01	8.40	0.05	0.70	0.75	9.90	84.84
B.d + amasisa										
0-20	5.13	3.92	0.18	4.19	4.20	0.19	1.85	0.59	6.83	61.47
20 - 50	3.71	2.37	0.11	1.52	5.60	0.02	0.60	0.40	6.62	84.56
B.d + huingo										
0-20	4.54	3.40	0.15	4.19	4.70	0.07	1.43	0.50	6.70	70.14
20 - 50	4.17	2.98	0.13	1.90	7.00	0.02	0.64	0.29	7.94	88.11
B.d + cratylia										
0-20	4.76	3.15	0.14	4.19	4.00	0.13	1.36	0.66	6.15	65.00
20 - 50	4.12	3.17	0.14	1.40	8.10	0.13	0.64	0.49	9.36	87.42
B.d + leucaena										
0-20	4.46	3.08	0.14	5.07	5.40	0.17	1.46	0.69	7.72	69.98
20 - 50	3.58	2.96	0.13	2.03	8.90	0.09	0.7	0.49	10.18	87.42

Cuadro 12A. Características químicas del suelo del experimento de SSP, evaluado en el módulo 2, Pucallpa, Perú.

Tratamiento/ Profundidad (cm)	pH	MO (%)	N (%)	P (ppm)	CIC (Cmol(+)/Lt)				CIC (meq/ 100 g)	Sat Al (%)
					Al	K	Ca	Mg		
Línea Base										
0-20	4.7	1.69	0.08	2.66	2.3	0.02	4.99	0.2	7.51	30.63
20 - 50	4.88	2.02	0.09	1.14	7.7	0.01	4.51	0.2	12.42	62
A un año de establecido										
B. dictyoneura										
0-20	4.79	2.32	0.10	1.52	2.00	0.86	2.15	0.73	5.74	34.84
20 - 50	4.29	2.07	0.09	1.14	4.60	0.42	1.01	0.26	6.29	73.18
B.d + amasisa										
0-20	3.87	2.58	0.12	2.54	2.70	0.37	2.24	1.00	6.30	42.84
20 - 50	3.46	2.00	0.09	0.89	6.80	0.21	1.01	0.64	8.67	78.45
B.d + huingo										
0-20	3.71	2.14	0.10	2.41	2.20	0.71	2.12	0.86	5.89	37.36
20 - 50	3.50	1.60	0.07	0.76	7.00	0.07	1.14	0.30	8.51	82.24
B.d + cratylia										
0-20	3.83	2.35	0.11	11.29	2.30	0.45	1.93	0.91	5.59	41.18
20 - 50	3.79	2.02	0.09	1.14	6.00	0.38	1.33	0.86	8.56	70.05
B.d + leucaena										
0-20	4.18	2.61	0.12	1.40	1.20	0.59	1.55	0.74	4.07	29.46
20 - 50	3.79	2.47	0.11	0.51	4.70	0.31	0.95	0.39	6.34	74.13

Cuadro 13A. Características químicas del suelo del experimento de SSP, evaluado en el módulo 3, Pucallpa, Perú.

Tratamiento/ Profundidad (cm)	pH	MO (%)	N (%)	P (ppm)	CIC (Cmol(+)/Lt)				Tot. CIC (meq/ 100 g)	Sat Al (%)
					Al	K	Ca	Mg		
Línea Base										
0-20	4.25	1.74	0.08	4.06	5.8	0.02	4.51	0.2	10.53	55.11
20 - 50	4.41	2.25	0.1	1.27	10.6	0.01	4.03	0.2	14.84	71.43
A un año de establecido										
B. dictyoneura										
0-20	4.62	2.65	0.12	4.44	4.20	0.05	0.72	0.16	5.14	81.76
20 - 50	4.80	2.02	0.09	2.19	7.80	0.03	0.36	0.27	8.46	92.16
B.d + amasisa										
0-20	4.58	2.63	0.12	4.06	5.80	0.08	1.11	0.32	7.31	79.34
20 - 50	4.88	2.30	0.10	1.78	9.10	0.02	0.49	0.01	9.61	94.67
B.d + huingo										
0-20	4.59	2.54	0.11	2.92	4.60	0.11	0.91	0.22	5.85	78.66
20 - 50	4.90	2.28	0.10	0.76	9.10	0.06	0.49	0.10	9.75	93.37
B.d + cratylia										
0-20	4.54	2.82	0.13	4.95	6.50	0.12	1.01	0.58	8.21	79.18
20 - 50	4.92	2.32	0.10	2.03	8.00	0.04	0.62	0.30	8.95	89.38
B.d + leucaena										
0-20	4.42	2.61	0.12	4.19	4.60	0.07	0.72	0.15	5.54	83.06
20 - 50	4.79	2.28	0.10	2.41	8.00	0.02	0.93	0.01	8.42	95.06

Cuadro 14A. Carbono en la biomasa aérea.

Lugar	Carbono biomasa arbustiva y herbácea (t/ha)				
	Testigo	Amasisa	Huingo	Cratylia	Leucaena
Módulo 1	1.01	1.50	1.50	1.31	1.66
Módulo 2	2.68	1.94	1.91	2.57	2.02
Módulo 3	2.52	5.81	2.49	4.57	3.14

Cuadro 15A. Carbono en la biomasa inerte.

Lugar	Carbono (hojarasca) (t/ha)				
	Testigo	Amasisa	Huingo	Cratylia	Leucaena
Módulo 1	1.68	4.02	3.53	1.01	1.74
Módulo 2	2.12	3.44	2.48	2.38	2.63
Módulo 3	0.52	0.45	0.68	1.58	0.46

Cuadro 16A. Carbono en las raíces del suelo.

Lugar	Carbono (t/ha)				
	Testigo	Amasisa	Huingo	Cratylia	Leucaena
Módulo 1	7.74	9.39	4.91	4.81	2.72
Módulo 2	23.79	9.81	29.79	19.78	16.54
Módulo 3	11.21	2.01	2.67	8.94	3.79

Cuadro 17A. Carbono en el suelo.

Lugar	Carbono (t/ha)				
	Testigo	Amasisa	Huingo	Cratylia	Leucaena
Módulo 1	188.91	202.14	233.58	159.48	248.69
Módulo 2	124.19	111.83	151.21	135.94	131.41
Módulo 3	162.28	186.18	173.06	165.75	195.61

Cuadro 18A. Carbono en el sistema: CS= CBA+CBI+CR+CS en el módulo 1, Pucallpa, Perú.

Tratamiento	**Carbono (t/ha)**				
	biomasa aerea	**biomasa Inerte**	**C en las raicillas**	**C en el suelo**	**Carbono Total**
Testigo	1.01	1.68	7.74	188.91	199.34
Amasisa	1.50	4.02	9.39	202.14	217.05
Huingo	1.50	3.53	4.91	233.58	243.52
Cratylia	1.31	1.01	4.81	159.48	166.61
Leucaena	1.66	1.74	2.72	248.69	254.81

Cuadro 19A. Carbono en el sistema: CS= CBA+CBI+CR+CS en el módulo 2, Pucallpa, Perú.

Tratamiento	Carbono (t/ha)				
	biomasa aerea	biomasa Inerte	C en las raicillas	C en el suelo	Carbono total
Testigo	2.68	2.12	23.79	124.19	152.78
Amasisa	1.94	3.44	9.81	111.83	127.02
Huingo	1.91	2.48	29.79	151.21	185.39
Cratylia	2.57	2.38	19.78	135.94	160.67
Leucaena	2.02	2.63	16.54	131.41	152.60

Cuadro 20A. Carbono en el sistema: CS= CBA+CBI+CR+CS en el módulo 3, Pucallpa, Perú.

Tratamiento	Carbono (t/ha)				
	biomasa aerea	biomasa inerte	C en las raicillas	C en el suelo	Carbono total
Testigo	2.52	0.52	11.21	162.28	176.53
Amasisa	5.81	0.45	2.01	186.18	194.45
Huingo	2.49	0.68	2.67	173.06	178.90
Cratylia	4.57	1.58	8.94	165.75	180.84
Leucaena	3.14	0.46	3.79	195.61	203.00



Figura 10A. Muestreo de suelos para análisis físicos químicos.



Figura 11A. Iniciando a extraer las muestras de suelo para densidad aparente.



Figura 12A. Pesado y codificando de las muestras de densidad aparente.



Figura 13A. Midiendo la compactación del suelo.



Figura 14A. Muestras de hojarasca, suelo para evaluar macrofauna.



Figura 15A. Conteo de macro invertebrados de muestras colectadas.



Figura 16A. Muestreo de suelo para cuantificar la biomasa radicular.



Figura 17A. Lavado y tamizado de las muestras para biomasa radicular.



Figura 18A. Separando las muestras de biomasa muerta.

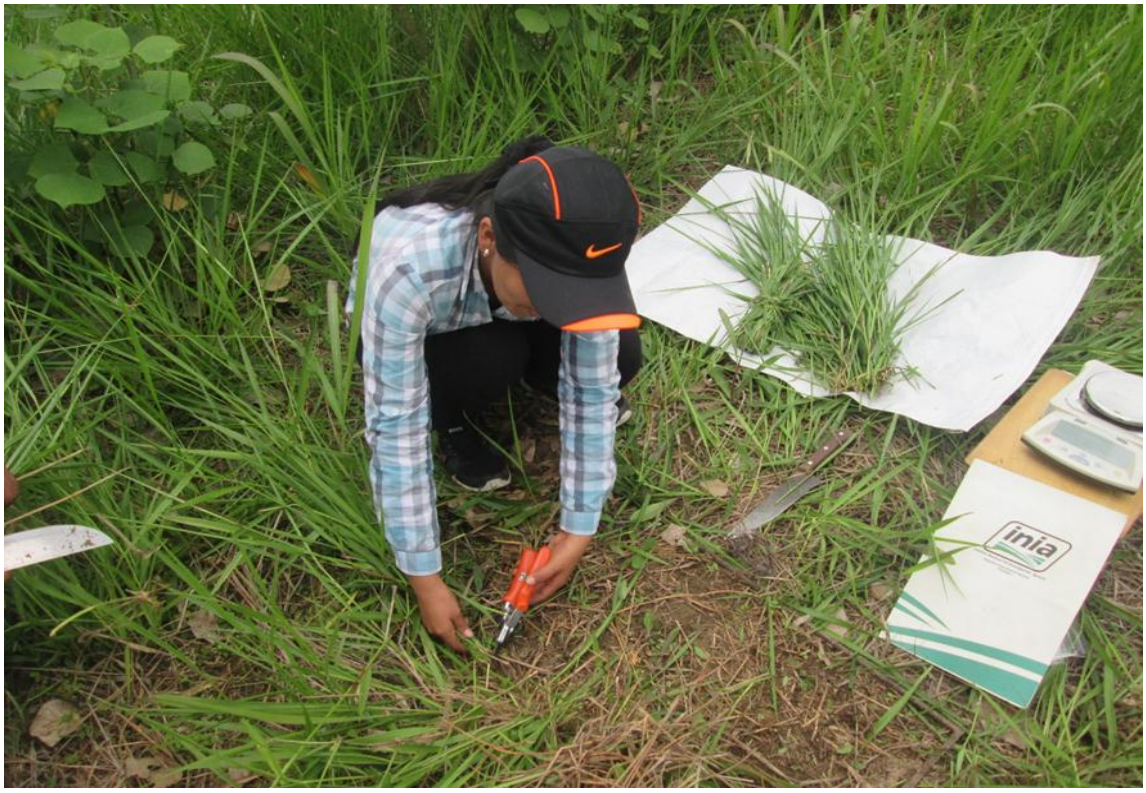


Figura 19A. Separando las muestras de biomasa viva.



Figura 20A. Muestras de biomasa viva de Leucaena.



Figura 21A. Leguminosa: Cratylia argéntea – cratilia.



Figura 22A. Simarouba amara – marupa.



Figura 23A. Visita de los miembros del Jurado Evaluador de tesis.