



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

**INFLUENCIA DE TRES MODELOS DE SISTEMAS
AGROFORESTALES CON COBERTURA EN LA
RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS EN
YURIMAGUAS, LORETO**

Tesis para optar al Título Profesional de:
INGENIERO AGROFORESTAL

Presentado por:
PAULA ALEJANDRA QUILCATE PEREZ

Asesor:
Julio César Alegre Orihuela, Ph.D.

Lima – Perú
2019

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 19 de julio de 2019.

Los integrantes del Jurado de Tesis:

Presidente: Dr. Brenton Mark Ladd
Miembro: MSc. Alfonso Diulio Lizárraga Travaglini
Miembro: Ing. Luis Paul Quirós Rossi

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

"INFLUENCIA DE TRES MODELOS DE SISTEMAS AGROFORESTALES CON COBERTURA EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS EN YURIMAGUAS, LORETO"

Presentada por la tesista:

- **PAULA ALEJANDRA QUILCATE PEREZ**

Para optar al Título Profesional de Ingeniera Agroforestal

Asesorada por:

- **Dr. Julio César Alegre Orihuela**

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de la tesista en la sustentación, concluyen de manera unánime (por mayoría simple ()) calificar a:

PAULA ALEJANDRA QUILCATE PEREZ			Nota (escrito): 15
Aprobado <input checked="" type="checkbox"/>	Aprobado - Muy buena ()	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Presidente del Jurado
Dr. Brenton Mark Ladd



Miembro del Jurado
MSc. Alfonso Diulio
Lizárraga Travaglini



Miembro del Jurado
Ing. Luis Paul Quirós Rossi



Asesor
Dr. Julio César Alegre
Orihuela

A mi madre, por la incomparable ternura y amor con la que ha sabido guiarme y acompañarme hasta aquí, por ser mi ejemplo y el regalo más bonito del cielo en mi vida.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a Dios por mostrarme una y otra vez lo bueno que es, por darme fuerzas para levantarme, seguir y no detenerme, por alegrar mi corazón.

A mi asesor, Julio Alegre, por ser fuente de sabiduría para el presente trabajo y para mi carrera, y por darme la oportunidad de hacer mi tesis en un proyecto que él maneja, permitiéndome aprender mucho y dándome todas las facilidades para las evaluaciones y las revisiones.

A mi mamá, Kattia, por sus atenciones, apoyo y ánimo invaluable, por esos abrazos que no se cambian por nada y esas palabras que son sabiduría pura, por su ejemplo y su amor tan capaz de mover el mundo.

A mi hermana, Carla, por sus consejos siempre precisos, por las sonrisas y risas que siempre fluyen de nuestras conversaciones y que hacen más divertida la vida, y con ella todo lo que fue el proceso de este trabajo.

A mis abuelos, Humberto y Evelina, por su constante cuidado, por alegrarse conmigo y por mí al mismo tiempo.

A mis tíos, Max y Cindy, por esas largas conversaciones liberadoras, por siempre escucharme y ayudarme en lo que podían.

A Kari, porque sin ser de mi familia es como una hermana para mí, con su amistad tan genuina y ese soporte que significó para mí durante toda esta etapa.

A mi papá, por alzarme la valla cada vez para que conformarme nunca fuera ni sea una opción.

A José Saucedo, por brindarme su ayuda tan desinteresadamente en momentos de apremio.

A William Garate, Wagner Manahuari, Santos Murayari, María Claudia Cruz y María Fernanda Moya, por su invaluable apoyo en campo.

A la Universidad Científica del Sur y a todos mis profesores, por abrir mi mente a explorar la ciencia desde su papel de mejorar el mundo.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Resumen.....	6
Abstract.....	7
I. Introducción.....	8
II. Planteamiento del problema.....	9
III. Marco teórico.....	12
1. Antecedentes.....	12
2. Marco teórico.....	17
2.1 Sistemas agroforestales.....	17
2.1.1 Parámetros de los sistemas agroforestales.....	17
2.1.2 Clasificación de los sistemas agroforestales.....	18
2.1.3 Biodiversidad en los sistemas agroforestales.....	19
2.1.4 Funciones ambientales de los sistemas agroforestales...21	21
2.1.5 Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes.....	25
2.1.6 Características de las especies arbóreas asociadas en los tres prototipos de SAF.....	26
2.1.7 Cultivos de cobertura.....	30
2.1.8 Características de <i>Centrosema macrocarpum</i>	31
2.2 Recuperación de suelos degradados.....	32
2.2.1 Degradación de suelos.....	32
2.2.2 Causas de la degradación de suelos amazónicos.....	33
2.2.3 Parámetros de la recuperación de suelos degradados....	36
2.2.4 Conservación de suelos y agroforestería.....	37
2.2.5 Árboles y suelos.....	40

IV.	Objetivos e hipótesis.....	42
	1. Objetivos.....	42
	1.1 Objetivo general.....	42
	1.2 Objetivos específicos.....	43
	2. Hipótesis.....	43
V.	Metodología.....	44
	1. Zona de estudio.....	44
	2. Diseño de investigación.....	44
	3. Materiales.....	44
	4. Métodos.....	45
	4.1 Propiedades químicas.....	48
	4.2 Propiedades físicas.....	50
	4.3 Biomasa de cobertura.....	52
	5. Diseño experimental.....	53
VI.	Resultados.....	54
	1. Propiedades químicas.....	54
	2. Propiedades físicas.....	55
	3. Biomasa de cobertura.....	57
VII.	Discusión.....	59
VIII.	Conclusiones.....	65
IX.	Recomendaciones.....	66
X.	Referencias bibliográficas	67
XI.	Abreviaturas.....	80
XII.	Anexos.....	81

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema de la dimensión de tratamiento y división del muestreo de suelos (subparcelas) en campo por cada agricultor.....	48
Figura 2. Muestreo de suelos para caracterización.....	50
Figura 3. Muestreo de suelos para determinación de densidad aparente.....	51
Figura 4. Evaluación de resistencia mecánica del suelo haciendo uso de un penetrómetro de bolsillo.....	51
Figura 5. Evaluación de biomasa de cobertura con el método del cuadrante de 1x1 m.....	52
Figura 6. Diseño de bloques completamente al azar según cada modelo de SAF. Donde: A1, Clays; A2, Roberto; y A3, Washington.....	53

Índice de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Especies que conforman los modelos agroforestales.....	47
Tabla 2. Propiedades químicas de los suelos presentes en los cuatro SAF.....	55
Tabla 3. Indicadores nutricionales de suelos a una profundidad de 0-15 cm de acuerdo a cada agricultor y en función de SAF 1, SAF 2 y SAF 3 en promedio.....	55
Tabla 4. Densidad aparente (Da) y humedad disponible (Hd) en las evaluaciones de 0 a 15 cm y 15 a 30 cm.....	56
Tabla 5. Porcentaje de arena, limo y arcilla en los suelos de los cuatro SAF...57	57
Tabla 6. Resistencia mecánica a diferentes profundidades en cada SAF.....	57
Tabla 7. Biomasa de cobertura fresca y materia seca promedio de la cobertura de los cuatro SAF.....	58
Tabla 8. Aporte de carbono y nitrógeno por hectárea a partir de la biomasa de materia seca de la cobertura.....	59

Índice de Anexos

	Pág.
Anexo 1. Caracterización de suelos.....	81
Anexo 2. Resultados de densidad aparente (Da) y humedad disponible (Hd) del suelo.....	84
Anexo 3. Resultados de biomasa y materia seca en t/ha.....	86
Anexo 4. Resistencia mecánica del suelo.....	87
Anexo 5. Panel fotográfico.....	89

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la influencia de tres modelos de sistemas agroforestales (SAF) con cobertura en la recuperación de suelos degradados en Yurimaguas, Loreto, vista desde sus propiedades químicas y físicas y el aporte de la biomasa. Para esto se evaluaron las parcelas de tres agricultores, las cuales contaban con cuatro tratamientos cada una, que incluían la combinación de especies como *Swietenia macrophylla*, *Calycophyllum spruceanum*, *Guazuma crinita*, *Simarouba amara*, *Cedrelinga catanaeformis*, *Bactris gasipaes*, *Inga edulis* y de *Centrosema macrocarpum* como parte de la cobertura. El diseño experimental es un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones. El análisis de varianza de las correlaciones múltiples se realizó con el Test de Tukey. A tres años y medio del establecimiento de los SAF, los indicadores de nutrición del suelo, como materia orgánica y potasio disponible, se han visto incrementados, siendo SAF 2 (arreglo de especies maderables y frutales) el que mejores resultados presentó al estar conformado por dos especies de la familia Fabaceae (*C. catanaeformis* e *I. edulis*). La densidad aparente se encontró en un rango ideal para el crecimiento de raíces (1.39 g/cm^3) para SAF 2. No se encontraron diferencias significativas entre los tres modelos de SAF respecto al aporte de carbono y nitrógeno de la biomasa de cobertura (1.03 t C/ha y 400 kg N/ha), pero sí respecto a SAF control, el cual presentó valores más bajos.

Palabras clave: agroforestería, cobertura, recuperación, propiedades físicas y químicas

Abstract

The objective of this research was to determine the influence of three models of agroforestry systems (AFS) with a cover crop in the recovery of degraded soils in Yurimaguas, Loreto, as seen from their chemical and physical properties and the contribution of biomass. For this, the plots of three farmers were evaluated, which had four treatments each, which included the combination of *Swietenia macrophylla*, *Calycophyllum spruceanum*, *Guazuma crinita*, *Simarouba amara*, *Cedrelinga catenaeformis*, *Bactris gasipaes*, *Inga edulis* and of *Centrosema macrocarpum* as the cover crop. The experimental design is a randomized complete block design (RCBD) with three repetitions, and the analysis of variance of the multiple correlations was performed with the Tukey test. Three and a half years after the establishment of the AFS, the soil nutrition indicators, such as organic matter and available potassium, have been increased. The best results were found in AFS 2 (with timber and fruit species), considering it is made up of two species of the Fabaceae family (*C. catanaeformis* and *I. edulis*). The apparent density was found in an ideal range for root growth (1.39 g/cm^3) for AFS 2. No significant differences were found between the three AFS models in relation to the contribution of carbon and nitrogen of the cover crop (1.03 t C/ha y 400 kg N/ha), however, AFS control had the lowest values.

Keywords: Agroforestry, cover crop, recovery, physical and chemical properties

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales más importantes en la actualidad es la degradación de suelos. El mundo cuenta con cada vez menos hectáreas para la producción sostenible de alimentos, lo cual constituye una seria amenaza para la seguridad alimentaria (UNCCD, 2014). De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2014), de mantenerse la tendencia actual de degradación de suelos en el Perú, al año 2100 el 64 % del territorio nacional se encontraría afectado.

En este sentido, los sistemas agroforestales pueden ser una alternativa importante de conservación y recuperación de suelos degradados, puesto que estos sistemas responden a las demandas de la población desde diversas perspectivas, proveyendo de alimentos y al mismo tiempo de servicios ecosistémicos (Beer et al., 2003). Las coberturas, por su parte, han mostrado ser un gran complemento a la agroforestería al ayudar a controlar la tasa de erosión del suelo, no obstante, aún existen vacíos de información que deben ser llenados (Pérez et al., 2012). Es por las razones mencionadas que el presente estudio busca generar un aporte a la información existente sobre los sistemas agroforestales con cobertura y la influencia que pueden tener estos y su manejo sobre la recuperación de suelos en la Amazonia peruana, además de ser una fuente de referencia para nuevas propuestas de manejo agroforestal.

El distrito de Yurimaguas se encuentra ubicado en el trópico húmedo del Perú y pertenece a la provincia de Alto Amazonas, Loreto. El suelo que presenta, por lo general, evidencia un bajo contenido de nitrógeno y de materia orgánica, y un alto nivel de acidez y de saturación de aluminio, siendo también bajo en fósforo

(Alegre, 2015). La recuperación de suelos en esta zona mediante la instalación de sistemas agroforestales con cobertura podría liderar una futura obtención de modelos de restauración de tierras degradadas para la selva amazónica del Perú, basados en una visión integral del uso y manejo de recursos.

En términos generales, el objetivo principal de esta investigación fue determinar la influencia de tres modelos de sistemas agroforestales con cobertura en la recuperación de suelos degradados en Yurimaguas, Loreto, vista desde sus propiedades químicas y físicas.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La degradación de los suelos, en la actualidad, constituye uno de los problemas más importantes en el sector productivo y de conservación en el Perú, pues el suelo es esencial para la provisión de alimentos y además cumple funciones referidas a los servicios ecosistémicos, indispensables para el bienestar de la humanidad (FAO, 2015). A nivel mundial, y de acuerdo con la UNCCD (2014), en la década del 60 “cada persona disponía de 0.45 hectáreas de tierra para su alimentación” (p.4), cuando el mínimo absoluto necesario para el abastecimiento sostenible de una persona son 0.5 hectáreas (Pimentel et al., 1995), no obstante, para el año 2015 dicha cifra se habría reducido a 0.19 ha por persona, y en Perú a 0.13 ha (World Bank, 2015). De este modo, se estima que la degradación del recurso suelo en los próximos 25 años reduciría la producción mundial de alimentos en más de un 12 %, lo que desencadenaría un aumento

del 30 % en los precios de los mismos (UNCCD, 2014); esto, sumado al incremento de la población mundial, traerá consigo mayores tasas de desnutrición, escasez de alimentos y una fuerte inestabilidad en los sistemas económicos y políticos.

Los suelos se están deteriorando en todo el mundo, y esto debido a la erosión, a la pérdida de nutrientes y de carbono orgánico, a la compactación del suelo, entre otras razones (FAO, 2015). Así pues, se conoce que aproximadamente 3600 millones de hectáreas se encuentran afectadas por distintos niveles de degradación de suelos a nivel mundial, lo que equivale al 25 % de las tierras en todo el planeta, de donde el 2.3 % del total ya ha perdido su capacidad productiva por completo (Sentís, 2010).

De acuerdo con cifras del INEI (2014), en las dos últimas décadas se degradó más del 15 % del territorio nacional y se calcula que, al año 2100, y de mantenerse dicha tendencia, el 64 % de las tierras en el Perú estarían afectadas. Asimismo, el Banco Mundial (2007) manifiesta que la degradación del suelo en el país (referida a erosión y salinidad) representa un costo de entre 0.3 y 0.4 % del PBI, lo cual se refleja en pérdidas de rentabilidad para los agricultores que suman entre 544 millones y 918 millones de soles al año.

La degradación del recurso suelo influye en forma negativa en el desarrollo de todos los países, siendo las poblaciones rurales las más afectadas. Es entonces que surge la necesidad de tomar acciones al respecto, tales como la prevención de la degradación de las tierras y la rehabilitación de aquellas que fueron degradadas previamente, promoviendo la gestión sostenible del suelo y las propuestas para su restablecimiento (UNCCD, 2014).

En la Amazonia peruana existen 10 millones de hectáreas degradadas como consecuencia del rozo, tumba y quema de la agricultura migratoria, de las malas prácticas agrícolas y del pastoreo intensivo (Alegre, 2015). Específicamente en esta zona del país, la ganadería extensiva se desarrolla en suelos con un alto grado de saturación de aluminio y deficiencia de nutrientes en el suelo (Ignacio, 2014), siendo los mismos ganaderos los que luego abandonan el territorio degradado por las consecuencias negativas sobre la productividad que logran percibir.

En lo que respecta al cambio climático, de acuerdo con el Primer Informe Bienal de Actualización del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (MINAM, 2014), la principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) en el país corresponde al sector uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura (USCUSS), con 43,518.14 GgCO_{2e}, en donde la deforestación de los bosques amazónicos para su posterior conversión en pasturas y tierras agrícolas es la que genera mayores emisiones.

El área de estudio de la presente investigación es Yurimaguas. Esta provincia se encuentra ubicada en el trópico húmedo del Perú. El suelo que presenta esta zona está categorizado como Ultisol, mostrando un bajo contenido de nitrógeno y de materia orgánica, y un alto nivel de acidez y de saturación de aluminio, bajo en fósforo y en las demás bases (Alegre, 2015). Esta zona es una muestra del panorama repetitivo del estado de muchos de los suelos del trópico húmedo en el país, y la recuperación de los mismos mediante la instalación de sistemas agroforestales podría llevar a una futura obtención de modelos de restauración

de tierras degradadas, basados en una visión integral de los recursos, su manejo y aporte a los ecosistemas.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

En la investigación realizada por Alegre, Lao, Silva & Schrevens (2017), "Recuperación de tierras degradadas en la Amazonia peruana por cultivos de cobertura y sistemas agroforestales sostenibles", se tuvo como objetivo recuperar tierras afectadas por la agricultura migratoria y el sobrepastoreo, en aras de lograr una agricultura sustentable. El estudio se llevó a cabo en Yurimaguas, Loreto, Perú en suelos clasificados como Udisols. En el lugar se fertilizaron las parcelas del experimento con 40 kg/ha de fósforo y se sembró *Centrosema macrocarpum* (5 kg/ha de semillas), y luego de un mes se instalaron los plántones que forman parte de los sistemas agroforestales, con especies nativas de la Amazonia. Los autores concluyeron que el cultivo agroforestal con más especies plantadas producía 9.77 t/ha de biomasa seca, significativamente mayor a los demás sistemas; además, se redujo la compactación a 20 cm de profundidad y los niveles de materia orgánica y potasio se incrementaron en poco tiempo luego del establecimiento de los árboles y la cobertura.

En la tesis "Recuperación de terrenos degradados por el cultivo de coca (*Erythroxylon coca*) en VRAEM, Perú, con aplicación de Tecnología Agroforestal", Villagaray (2014) tuvo como objetivo principal determinar el grado

de recuperación de suelos degradados por efecto de la plantación de *Ochroma pyramidale* (paloto), *Pueraria phaseoloides* (kudzu) y *Desmodium ovalifolium* en terrenos alpillales (*Pteridium aquilinum*). El estudio se realizó en una parcela demostrativa en Pichari Alta, en el valle de los ríos Apurímac, Ene y Marañón (VRAEM). Para dicho fin se empleó una tecnología agroforestal en pasturas. Se instalaron árboles de *Ochroma pyramidale* y, posteriormente y de manera secuencial, se plantaron las herbáceas *Pueraria phaseoloides* y *Desmodium ovalifolium*. Cabe resaltar que las parcelas se encontraban degradadas debido a la previa presencia de cultivos de coca en la zona. Para las evaluaciones, el autor determinó el poder germinativo de las leguminosas, el porcentaje de cobertura (usando la demarcación de un metro cuadrado por cada tratamiento y evaluando porcentajes de leguminosas y malezas en crecimiento) y el aporte de materia verde y materia seca, obteniendo una muestra por cada repetición. Villagaray concluyó que el uso de tecnologías agroforestales limpias en el VRAEM para la recuperación de suelos degradados, utilizando el árbol del paloto y herbáceas como el kudzu y el *Desmodium*, recuperan el suelo de manera acelerada sin la necesidad de insumos químicos (herbicidas) ni de realizar quemas para eliminar las plantas invasoras. Observó también que los sistemas agroforestales (SAF) tienen parte en el incremento de la materia orgánica, además de mejorar el pH del suelo, aumentar la fertilidad y restablecer los suelos degradados para su posterior utilización en actividades agropecuarias y forestales. El estudio tiene una importante relación con los objetivos de la presente investigación, lo cual permite tomarlo como referencia fundamental en la parte metodológica.

En la tesis “Leguminosas de cobertura y su efecto en el aporte de biomasa y macronutrientes en un suelo ácido”, Tarillo (2011) planteó como objetivo determinar el nivel de aporte de las leguminosas empleadas como cobertura en la biomasa y de macronutrientes en un suelo ácido en un cultivo agroindustrial en San Martín, Perú. El estudio se realizó en la Estación Experimental “El Choclino”, del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT) en la región San Martín. Se evaluó la biomasa aérea y la biomasa radicular en t/ha, y el aporte potencial de nutrientes en kg/ha. Para el análisis de la calidad de suelos se tomaron como base los indicadores físicos y químicos de los cinco sistemas en estudio considerados (*Centrosema macrocarpum*, *Arachis pintoii*, *Calopogonium mucunoides* y *Canavalia ensiformis*). El diseño experimental fue de bloques completos al azar, y se realizó la prueba de Duncan para el análisis de datos. *C. macrocarpum* y *A. pintoii* evidenciaron un mayor índice de cobertura del suelo y una buena competencia con las malezas. La mayor producción de biomasa tiene relación con un mayor aporte potencial de nitrógeno, fósforo, calcio, potasio y magnesio en distinta medida según la cobertura evaluada. Además, el autor concluye que las especies estudiadas poseen un gran potencial para aportar a los sistemas de agricultura sostenible.

En la investigación llevada a cabo por Razuri (2014), “Aplicación de coberturas vivas en la recuperación de suelos bajo sistemas agroforestales del CIPTALD-Tulumayo”, se planteó como objetivo evaluar el efecto que tienen las coberturas sobre la recuperación de suelos dentro de sistemas agroforestales del género *Helinia*, empleando *Pueraria phaseloides* (Roxb) Benth (kudzu), *Centrosema macrocarpum*, *Arachis pintoii* L. (maní forrajero) y *Cynodon dactylon* (pasto

chino). El estudio se llevó a cabo en el Centro de Investigación y Producción Tulumayo Anezo La Divisoria y Puerto Súngaro, provincia de Leoncio Prado, Huánuco. Cada especie representaba un tratamiento, y se contó con un testigo sin cobertura. Se siguió un diseño de bloques completamente al azar. La autora concluye que, con excepción del porcentaje de cobertura de *C. macrocarpum* a los 270 días (75.2 %), las demás especies estuvieron sobre el 90 %. Asimismo, afirma que las coberturas vegetales empleadas presentaron efectos positivos sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

En un trabajo de investigación realizado por Da Silva, Naves, Curi, Hoffman, Silva, Gualberto & Grisi (2011), "Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa", se presentó como objetivo evaluar y comparar las alteraciones en los atributos físicos y químicos del suelo para el manejo basado en sistemas agroforestales diversificados con especies arbóreas, frutícolas y productoras de tinte natural, cultivo convencional de papaya y bosque nativo en Bahía. El estudio se llevó a cabo en la comunidad agrícola "Riacho das Ostras", localizado en el sur del Estado de Bahía, en Brasil. Se evaluaron seis sistemas agroforestales, un cultivo de papaya y un bosque nativo, este último considerado como referencial de equilibrio. Las muestras de suelos se colectaron a distintas profundidades (0-20, 20-40, 40-60 cm) para determinaciones químicas; para las físicas, de 0-20 cm, con tres repeticiones. También se determinó la estabilidad de agregados y la resistencia del suelo a la penetración. Se usaron modelos en fajas para las muestras deformadas, y para las no deformadas se consideraron los sistemas de manejo. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza, con la prueba de Scott y Knott a un 5 % de

probabilidad. Para la comparación entre medias, se utilizó el programa SISVAR. En base a los indicadores químicos, los autores infirieron que la elevación de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales en relación al sistema nativo fue insignificante. Este aspecto está ligado a la extracción de nutrientes por medio de la cosecha de frutos y granos para la comercialización, pues van agotando las reservas naturales de nutrientes del suelo. El estudio muestra que existe, por ende, la necesidad permanente de implantar prácticas correctivas y de fertilización con el objetivo de brindar al sistema niveles adecuados de nutrientes, sea de forma orgánica o inorgánica. Los atributos físicos del suelo fueron indicadores favorables en la evaluación de su calidad, pues se observaron los efectos proporcionados por los sistemas agroforestales en relación al sistema en equilibrio, contribuyendo al monitoreo de un manejo sustentable en los suelos de la región. El aporte a la presente investigación está sujeto a la necesidad de realizar prácticas de fertilización y enmiendas al suelo, donde la forma orgánica podría ser abarcada por las coberturas, como complemento a una fertilización inicial.

3.2 Marco teórico

3.2.1. *Sistemas agroforestales*

Un sistema agroforestal es aquel en el que especies leñosas (árboles, arbustos) se encuentran asociadas con plantas herbáceas (cultivos o pastos), incluyendo o no animales, de forma simultánea en una misma unidad de terreno o separados (Escobar et al., 2007). Dentro de estos sistemas se presentan interacciones entre todos los componentes, todo con el fin de obtener una mayor producción. En este sentido, la agroforestería cumple con las siguientes condiciones básicas (Mendieta & Rocha, 2007):

- Cultivo múltiple
- Manejo de al menos dos especies
- Establecimiento de una especie leñosa perenne como mínimo
- Interacción biológica entre las especies

De acuerdo con Young (1990), las prácticas agroforestales son un arreglo distintivo de componentes en un mismo espacio y tiempo, existiendo cientos de posibilidades de sistemas agroforestales, pero solo unas 20 prácticas distintas aproximadamente, tales como: Sistema Taungya, cultivos en callejones, plantaciones multipropósito, cortinas rompevientos, etc.

3.2.1.1 *Parámetros de los sistemas agroforestales*

Los sistemas agroforestales poseen de manera teórica tres características fundamentales (Jiménez & Muschler, 1999), descritas a continuación:

a. Productividad

La productividad está referida a la capacidad de producción de bienes que los productores requieren, sean estos con fines de subsistencia o económicos. Las mejoras en la productividad mediante los sistemas agroforestales comprenden el aumento en los rendimientos de los cultivos que se encuentran asociados y de los productos obtenidos de las especies arbóreas, la disminución de la utilización de insumos externos y un aumento en la eficiencia de la mano de obra.

b. Sostenibilidad

La sostenibilidad está ligada a la permanencia de la productividad del sistema por un periodo largo de tiempo; esto depende de la conservación de los recursos naturales, siendo el control de la erosión del suelo y el mejoramiento o mantenimiento de su fertilidad los componentes principales.

c. Adoptabilidad

Este atributo, también mencionado como “adaptabilidad” en Altieri (1999), toma en cuenta la capacidad del agricultor de adoptar el sistema, aun dentro de las limitaciones que pueda encontrar, ya sean estas de disponibilidad de recursos, mano de obra, insumos, etc. Desde otra perspectiva, la adoptabilidad también está ligada a que las nuevas tecnologías o las mejoras a las mismas que se introducen en nuevas áreas deben adaptarse a las prácticas agrícolas de los habitantes locales (Alegre et al., 2016).

3.2.1.2. Clasificación de los sistemas agroforestales

En relación a la estructura, y según a Altieri (1999), estos sistemas pueden clasificarse de la siguiente manera:

a. Agrosilvicultura

Uso del suelo para la producción secuencial de cultivos agrícolas y de maderables.

b. Sistemas silvopastoriles

Sistemas en los que los bosques son manejados con fines de producción de madera, alimento y forraje y también para la crianza de animales.

c. Sistemas agrosilvopastoriles

Sistemas de manejo de cultivos agrícolas y maderables que incluyen un componente de crianza.

d. Sistemas de producción forestal de multipropósito

En estos sistemas las especies forestales se regeneran y manejan para producir, además de madera, frutas y/o hojas que resultan convenientes para alimento y/o forraje.

3.2.1.3. Biodiversidad en los sistemas agroforestales

De acuerdo con Jiménez et al. (2001), pueden mencionarse dos tipos distintivos de la biodiversidad presente en los sistemas agroforestales: la “biodiversidad planificada”, que consiste en especies y variedades de cultivos y árboles sembradas o retenidas por el agricultor de manera intencional dentro del

sistema, y la “biodiversidad asociada o espontánea”, relacionada con plantas, animales e insectos asociados a los componentes arbóreos y de cultivo y los hábitats que estos crean.

Es en este sentido que los sistemas agroforestales, de acuerdo con Montagnini et al. (2015), poseen un efecto importante sobre la biodiversidad en animales y plantas del bosque, pues favorecen la conservación de diversas especies, ya sean aves, polinizadores o controladores biológicos. En el caso del cultivo del café, por ejemplo, los autores señalan que las fincas que manejan café sin sombra han evidenciado que cuentan con la mitad de la diversidad de aves que se encuentra generalmente en doseles de bosque donde se maneja de forma tradicional el café bajo sombra. Asimismo, es clave señalar que los sistemas agroforestales actúan como corredores biológicos, pues permiten a las especies animales cruzar hábitats agrícolas, además promueven la conservación de la biodiversidad al actuar como espacios de dispersión de semillas (Jiménez et al., 2001). Estos sistemas también pueden servir como zonas de amortiguamiento alrededor de áreas naturales protegidas, ya que su presencia contribuye a disminuir el impacto de la transición entre la zona agrícola y el área protegida, permitiendo que una mayor diversidad de especies permanezca dentro de dichos paisajes.

Al hablar de los sistemas agroforestales y su distribución en el espacio, puede mencionarse que la estructura horizontal y la vertical muestran una relación estrecha en cuanto a las especies que los sistemas albergan. Montagnini et al. (2015) mencionan que los sistemas agroforestales con una adecuada estratificación tienen la probabilidad de ser más productivos por unidad de área,

y esto debido a que se produce una mayor captación de recursos y existe un ciclo de nutrientes más cerrado. En este sentido, una estructura vertical compleja resulta en un uso eficiente de la luz y del espacio, con especies ocupando un nicho ecológico específico (Raganathan et al., 2008).

En los sistemas agroforestales de América Latina se observa, de manera general, una combinación de especies nativas con especies exóticas por cada estrato, en función de las necesidades que tengan los agricultores. En cuanto a la estructura horizontal, las especies se encuentran distribuidas según el fin que los agricultores persigan. Para el caso de la conservación de agua y suelos, en zonas semiáridas donde es necesario el riego, los cultivos de consumo se encuentran en las partes bajas del terreno y cerca de las casas (para que puedan ser regadas con aguas recicladas de usos domésticos), y si se trata de zonas con pendientes, pueden encontrarse especies herbáceas en las laderas para evitar la erosión del suelo o posibles deslizamientos (Montagnini et al., 2015).

3.2.1.4. Funciones ambientales de los sistemas agroforestales

a. Mitigación y adaptación al cambio climático

Los sistemas agroforestales son considerados como un mecanismo de adaptación al cambio climático gracias al diseño que favorece un microclima moderado provisto por la sombra de los árboles, donde la temperatura puede disminuir en un promedio de 2 a 5 °C (Montagnini et al., 2015). Adicionalmente, estos sistemas también evitan la deforestación ya que proveen de productos maderables en tierras deforestadas, siendo una herramienta para llevar a cabo los programas de REDD+.

El problema actual del cambio climático radica en que las alteraciones en el clima afectan al sector agropecuario en diversas formas, y sus principales efectos son observados sobre los ciclos fenológicos de los cultivos. De manera indirecta, el cambio climático afectaría también la incidencia de plagas y enfermedades, la disponibilidad de nutrientes en el suelo y aumentaría los riesgos de incendios. Si bien algunos cultivos podrían verse beneficiados con incrementos en la producción, al analizar los cultivos en conjunto, las perspectivas son negativas (Cifuentes, 2010).

Los sistemas agroforestales bien implementados y manejados adecuadamente pueden tener altas tasas de acumulación de carbono, convirtiéndose en una herramienta efectiva para la mitigación del cambio climático (Montagnini et al., 2015; Cardinael et al., 2017). En este sentido, según el Primer Informe Bienal de Actualización del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (MINAM, 2014), la mayor remoción de GEI es llevada a cabo por incrementos en biomasa, atribuidos a cambios en la biomasa forestal y otras fuentes de almacenamiento leñosas, con un -31,061.41 GgCO₂e, con lo cual queda expuesta de forma más clara su importancia en este ámbito.

Del mismo modo, los SAF promueven la adaptación al CC reduciendo riesgos y dando mayor flexibilidad al cambio de especies o variedades a utilizar dentro del sistema productivo.

b. Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos se definen en base a las funciones que posee el ecosistema para proporcionar bienes y servicios capaces de satisfacer necesidades humanas, ya sea de forma directa o indirecta, siendo cada función el resultado de interacciones complejas entre componentes bióticos y abióticos (De Groot et al., 2002).

Los pagos por servicios ambientales se han convertido en un instrumento económico para la conservación, pues son una forma directa y efectiva para convertir valores ambientales (externalidades) en incentivos monetarios para los actores involucrados en la provisión de estos servicios (Moreno-Sánchez, 2012; Wunder et al., 2007).

Los principales servicios ecosistémicos que los sistemas agroforestales brindan son la conservación del suelo, la conservación de la calidad del agua, la captura de carbono y la conservación de la biodiversidad (Beer et al., 2003).

El mejoramiento del suelo en los sistemas agroforestales está relacionado con el crecimiento de árboles fijadores de nitrógeno (Ferrini & Wall, 2004) o de árboles o arbustos que poseen raíces profundas y que, gracias a ello, tienen la capacidad de aumentar la disponibilidad de nutrientes por medio de la fijación biológica desde las capas más profundas hacia las más superficiales y la acumulación de materia orgánica en el suelo (Beer et al., 2003). Se sabe también que para restaurar suelos degradados es necesario aumentar el contenido de materia orgánica (Benites, 2015).

Por otro lado, estudios de la FAO prevén que dentro de menos de 15 años uno de cada cinco países en desarrollo sufrirá de escasez de agua (Kourous, 2003). La conservación de la calidad del agua en los SAF viene dada por la captación de agua de lluvia y la modificación de la transpiración y la retención del agua en el suelo por parte de los árboles, disminuyendo la escorrentía y aumentando la infiltración (Beer et al., 2003). Del mismo modo, la presencia de árboles en el sistema previene la pérdida de nutrientes por lixiviación, reduciendo, por ende, la contaminación de las aguas subterráneas por nitratos u otras sustancias perjudiciales para el ambiente y la salud del hombre. Si bien los bosques y, en el presente caso, los sistemas agroforestales, generan un consumo de agua, al mismo tiempo incrementan la tasa de filtración, ayudando a restablecer los acuíferos (Kourous, 2003).

Los sistemas agroforestales también pueden desempeñar un rol importante en la captura de carbono en suelos y biomasa leñosa. Los sistemas agroforestales y forestales en general son capaces de acumular carbono en la biomasa que se encuentra sobre el suelo, en la hojarasca, en las raíces y también como carbono orgánico del suelo (Snowdon et al., 2002). En este sentido, Cardinael et al. (2017) observaron el potencial de los sistemas agroforestales en incrementar el stock de carbono en el suelo y en la biomasa de los árboles en distintas condiciones climáticas en un estudio en Francia, en donde el carbono orgánico del suelo (COS) se acumuló principalmente en la zona de árboles en hileras y en los primeros 30 cm de suelo, pero también en capas más profundas en dos sistemas que incluían cultivos y árboles dispuestos en hileras con callejones anchos. Asimismo, es importante destacar que la

materia orgánica en el suelo permite, además de captar carbono, mejorar la estructura del mismo y retener el agua (Valdés et al., 2015).

La conservación de la biodiversidad en los sistemas agroforestales, como se mencionó con anterioridad, está ligada a la provisión de hábitat y recursos para especies de flora y fauna. Sin embargo, los SAF no deben ser promovidos como una herramienta de conservación a expensas del mantenimiento del bosque original, puesto que no pueden proveer de los mismos nichos o hábitats provistos por los bosques naturales, sino como una herramienta complementaria de protección y conservación (Beer et al., 2003).

3.2.1.5 Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes

Es indispensable para la sostenibilidad de la fertilidad del suelo que el sistema tenga la capacidad de generar aportes de biomasa de forma constante (Alfonso & Monedero, 2004). En una experiencia de SAF, Romero (2006) observó un sobresaliente aporte total de biomasa en los tratamientos con especies arbóreas leguminosas en cultivo de cacao bajo sombra, además de la complementariedad de recursos derivada de la asociación de especies. Asimismo, Villagaray (2014) concluyó en una investigación sobre recuperación de suelos degradados por cultivos de coca que el uso de tecnologías agroforestales favorece el incremento de materia orgánica.

Por otro lado, Herrera et al. (2001) afirman que la vegetación herbácea y leñosa de pequeño porte representa un muy bajo porcentaje respecto a la biomasa aérea de los bosques, en especial de los bosques maduros, no

obstante, su acumulación puede resultar significativa en estados sucesionales en fase inicial, donde llega a constituir gran parte de la vegetación total.

Es importante considerar que el aumento de materia orgánica en el suelo genera beneficios directos al mismo, tales como: incremento de la estabilidad de los agregados de la superficie, mayor resistencia a la compactación, mayor capacidad de retención de humedad, y un aumento en la CIC (Moreira & Castro, 2016). Del mismo modo, determinados aportes de materia orgánica provenientes de raíces y pastos permiten la creación de una estructura de suelo ideal (Alfonso & Monedero, 2004). Buyer et al. (2017) mencionan que la combinación de sistemas de manejo agroforestal apropiados y cultivos de cobertura seleccionados pueden mejorar la salud del suelo y promover la sostenibilidad en los ecosistemas productivos de la zona tropical del Perú.

Para el caso de los cultivos de cobertura, de acuerdo a la especie empleada se obtienen distintos niveles de aporte de biomasa, tanto aérea como radicular. De acuerdo con Torrillo (2011), *Centrosema macrocarpum* evidencia una buena producción de biomasa, tanto fresca como seca; esto, a su vez, genera un aporte significativo en el potencial de nutrientes.

3.2.1.6. Características de las especies arbóreas asociadas en los tres prototipos de SAF

a. Caoba

La caoba (*Swietenia macrophylla*) es un árbol perteneciente a la familia Meliaceae. En condiciones ideales puede llegar hasta los 70 m de altura y a 3.5 m de dap (Cruz, 2003). Esta especie tiene un valor muy importante en el mercado

internacional, puesto que su madera presenta gran durabilidad y resistencia al ataque de termitas, lo que permite también su amplio uso en ebanistería y demás actividades de transformación (PROECEN, 2000).

En asociación con otras especies forestales, *S. macrophylla* muestra poca competitividad debido a que es una especie heliófita, y en general son los daños por *Hypsipyla grandella* durante los primeros cuatro años de su establecimiento los que afectan su crecimiento y desarrollo (Ramos, 2013). El incluir a la caoba dentro de un SAF previene el ataque del barrenador (May, 2013).

b. Capirona

La capirona (*Calycohyllum spruceanum*) es una especie perteneciente a la familia Rubiaceae, distribuida en la Amazonia de Perú, Brasil, Ecuador y Colombia. Alcanza alturas de hasta 35 m y dap de 80 cm y puede desarrollarse tanto en bosques primarios como secundarios (Amazonia, 2017a). La apariencia de su fuste es lisa y de color marrón verdusco, lo cual permite su fácil reconocimiento.

La madera de esta especie tiene una muy alta densidad y dureza, y es por ambas razones que en los últimos años viene comercializándose para su uso en pisos y carpintería en grandes volúmenes; en el ámbito local, es empleada como madera redonda para construcciones locales o como leña (Baluarte & Nebel, 2002).

c. Bolaina

La bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) pertenece a la familia Bombacaceae. Está presente en toda la cuenca amazónica, llegando a los 35 m de altura y 50 cm de dap (Amazonia, 2017b). Presenta corteza grisácea, fisurada, y muchas veces se puede observar la presencia de líquenes sobre la misma.

En los últimos años, *G. crinita* se ha convertido en una especie forestal de gran importancia económica debido a su acelerado crecimiento y a los diversos usos que puede darse a su madera; por lo que se viene promoviendo la instalación de plantaciones de esta especie en la Amazonia peruana (Ramos & Domínguez, 2016).

Además de tener un mercado nacional ya establecido, esta especie tiene un amplio potencial de manejo sostenible, lo cual permite que los pequeños productores de los sistemas locales se vean beneficiados (Putzel et al., 2013).

d. Marupa

La marupa (*Simarouba amara*) presenta una amplia capacidad de adaptación a gran variedad de suelos, pudiendo estos ser fértiles o moderadamente fértiles, por debajo de los 600 m s. n. m. en el trópico húmedo y muy húmedo. Esta especie puede llegar hasta los 35 m de altura, con 50 cm de dap, presentando un fuste recto y cilíndrico (Salazar & Casasola, 2000).

Por otro lado, de acuerdo con Vilcayauri (2009) y respecto a las propiedades físico-mecánicas de la madera de *S. amara*, su aptitud principal es para cajonería liviana y carpintería (zócalos, juguetería, persianas, etc.).

e. Tornillo

De acuerdo con López (1980), el tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) es una especie dominante en los bosques tropicales húmedos y muy húmedos, teniendo un comportamiento bueno en doseles poco o muy densos, puros o heterogéneos. Puede alcanzar alturas de 40 m y hasta 70 cm de diámetro, presentando un fuste recto y cilíndrico, con madera de muy buena aptitud para construcción y carpintería debido a su durabilidad (Amazonia, 2017c).

f. Pijuayo

El pijuayo (*Bactris gasipaes*) es una especie de palma que viene siendo cultivada desde hace siglos en Centroamérica y América del Sur. Morera (1981) señala que *B. gasipaes* presenta un tallo recto, de 10 a 20 cm de dap y entre 10 y 20 m de altura, con hojas pinnadas dispuestas en forma de corona en la parte superior, llegando a alcanzar longitudes de 2 a 4 m y un ancho de 30 a 50 cm.

g. Guaba

La guaba (*Inga edulis*), es una especie originaria de la Amazonia, empleada mayormente como árbol de sombra en plantaciones frutales (café y cacao). Presenta floración abundante que atrae gran diversidad de insectos y aves importantes para la polinización (Marín et al., 2012). Esta especie, al ser leguminosa de copa grande, produce grandes cantidades de hojarasca, reduce el impacto de la lluvia sobre el suelo y genera mayor sostenibilidad en el sistema

al reducir costos por fertilización y proveer de nutrientes al suelo (Villareyna, 2016).

3.2.1.7. Cultivos de cobertura

Se denomina cobertura a “cualquier material orgánico —hojas en descomposición, cortezas o compost— que, esparcido en el suelo, lo enriquece y protege del impacto directo de las gotas de lluvia erosivas” (Benites, 2015, p.11); esto resulta de especial importancia en la Amazonia peruana, donde la erosión de los suelos ocasiona la pérdida de la calidad de los mismos. La cobertura puede contribuir a la conservación del suelo al reducir la evaporación y frenar el crecimiento de malezas, al favorecer el reciclaje de nutrientes y la acumulación de materia orgánica y, por consiguiente, la captura de carbono.

Hall (2008) menciona que los efectos de los cultivos de cobertura dependerán de las especies empleadas, siendo frecuente que, mientras estos cultivos maduran, el horizonte superficial bajo el cual crecen irá acumulando residuos orgánicos. Las especies de cobertura con buen comportamiento en los sistemas pueden tomar velozmente los espacios que dejan las malezas, generando además un aporte importante de NPK al año (Romero, 2006).

Por su parte, Sánchez-Sáenz et al. (2010) afirman que las plantas utilizadas como cobertura deben, como requisito indispensable, proteger el suelo y mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, con la finalidad de proporcionar las condiciones ideales para el cultivo deseado. Si bien su investigación estuvo enfocada al mulching y no a cultivos de cobertura, debe resaltarse la acción de protección del suelo que realizan estos también y sus efectos sobre el mismo en

cuanto a aporte de nutrientes. De este modo, el empleo de abonos verdes y de cultivos de cobertura se han convertido en tecnologías alternativas a las prácticas de roza y quema del bosque, evidenciando resultados positivos en el mejoramiento de algunas propiedades del suelo y en el incremento del rendimiento de cultivos (Sanclemente, 2009).

3.2.1.8. Características de *Centrosema macrocarpum*

De acuerdo con Peters et al. (2011), *Centrosema macrocarpum* es una planta herbácea perenne, de hojas trifoliadas e inflorescencias en racimos axiales de color crema con centro púrpura. Crece muy bien en climas húmedos y subhúmedos, desde los 0 hasta los 1650 m s. n. m., adaptándose mejor a suelos arcillosos. Tolera suelos muy ácidos y con altos niveles de aluminio, cortes y pastoreo bien establecido, además de soportar sombra moderada.

Esta leguminosa presenta un alto valor nutritivo, tanto en términos de concentración de proteínas como de nutrientes digeribles (Villaquiran & Lascano, 1986), y también presenta gran eficiencia en su capacidad de fijar nitrógeno al ser un cultivo bien adaptado a la zona tropical y por tener mayor especificidad con las bacterias fijadoras de nitrógeno. Su aporte potencial respecto al fósforo es de 24.97 kg/ha, significativamente superior al de muchos otros cultivos; esto se debe a su gran producción de biomasa foliar y a la concentración de dicho elemento en sus tejidos (Puertas et al., 2008).

Tarrillo (2011), en un trabajo de investigación realizado en Tarapoto, San Martín, menciona que *C. macrocarpum* mostró una buena competencia con las malezas y un buen índice de cobertura del suelo a lo largo del ciclo de evaluación, dando como resultado una producción de biomasa de 62.41 g/ 200 g de muestra foliar y de 6.96 g/ 10 g de muestra fresca radicular.

Hall (2008), por su parte, menciona que *Centrosema macrocarpum*, más allá contribuir con aporte de materia orgánica al suelo, desempeña un papel importante al almacenarla.

3.2.2. Recuperación de suelos degradados

3.2.2.1. Degradación de suelos

La degradación del suelo está dada por la disminución en la capacidad productiva del mismo como resultado de cambios desfavorables en sus propiedades biológicas, químicas, físicas e hidrológicas (López, 2002), siendo una causa general la acción antrópica (Mataix, 1999). Las formas conocidas de la degradación de este recurso son la erosión, la degradación física, química y biológica, la salinización y la contaminación. Estos términos se encuentran estrechamente ligados entre sí (Young, 1990).

De acuerdo con Zavala-Cruz et al. (2011), la degradación de suelos, por lo general, se da como resultado del cambio de uso del suelo en pendientes ligeras a fuertes, de la explotación desmedida de los recursos naturales, y por el uso y manejo no sostenible de estos. En este sentido, puede decirse que el origen de los procesos de degradación de tierras en muchas partes de Latinoamérica y

África radica en factores tanto sociales como económicos y culturales, teniendo como consecuencia la disminución en la capacidad productiva de los suelos y, por consiguiente, de la disponibilidad de alimentos para una población en crecimiento (FAO, 2000). Según Peña-Venegas & Vanegas (2010), la degradación de suelos se da al no considerar el potencial físico, químico y biológico del mismo, los cuales definen su capacidad de ser utilizados.

López (2002) destaca que la degradación de este recurso no debe considerarse desde un punto de vista aislado, sino que deben tomarse en cuenta los demás componentes de los ecosistemas (como clima, vegetación, agricultura, agua), pues la degradación de alguno de ellos podría desencadenar un impacto negativo sobre los demás, resultando, ineludiblemente, en la degradación del suelo. En relación con el agua, Alfonso & Monedero (2004) afirman que es un factor determinante en la degradación de los suelos, siendo uno de los causantes y al mismo tiempo el recurso más afectado, debido a que con la degradación del suelo se pierde el régimen hídrico, afectando de manera negativa el suplemento de agua en cantidades adecuadas a lo largo de la cadena de usuarios.

En el Perú, de acuerdo con el INEI (2013), en las últimas dos décadas se degradó más del 15 % del territorio nacional, afectando a aproximadamente el 11 % de la población; de mantener las tendencias, al año 2100 la cifra ascendería al 64 % del territorio del país.

2.2.2. Causas de la degradación de suelos amazónicos

a. Deforestación

La deforestación es una causa importante de la degradación del suelo en el Perú, además de ser la principal causa de emisiones de GEI en el país (INEI, 2013). Los principales causantes de la deforestación en el país son: la agricultura de roza y quema, la extracción maderera, el sobrepastoreo, la agricultura a gran escala y las plantaciones forestales, y el desarrollo de carreteras (Banco Mundial, 2007), además del crecimiento demográfico, la pobreza en zonas rurales, la falta de políticas adecuadas y la escasa valoración dada a los servicios ecosistémicos de los bosques. La deforestación, por su parte, incrementa los niveles de CO₂ en la atmósfera y fragmenta los ecosistemas a tal punto que muchas especies no pueden adaptarse debidamente a los cambios y terminan muriendo (Dourojeanni et al., 2009).

b. Agricultura migratoria

La agricultura migratoria es considerada como la principal causa de degradación de suelos en la Amazonia (Cordero, 2012). Se le llama “migratoria” por basarse más en la rotación del campo que en la del cultivo en sí mismo (Rodríguez, 1995). Este tipo de agricultura está orientada a la satisfacción de las necesidades básicas e inmediatas de las poblaciones, llegando solo en algunas ocasiones a ser una fuente de ingreso monetario por la venta de excedentes de la producción (Mendieta & Rocha, 2009).

Gran parte de los agricultores realizan prácticas agrícolas de baja tecnología y emplean pocos insumos, contribuyendo con la degradación del bosque, medio

del cual dependen para su subsistencia. Ellos tienden a llegar a determinada zona de terreno boscoso y, mediante la práctica de tumba y quema, convierten la materia vegetal en una capa de ceniza que luego les facilita el establecimiento de diversos cultivos. Ferrari & Wall (2004) afirman que la acumulación de bases en el suelo producto de dicha ceniza fertiliza el suelo, pero este efecto es temporal, pues al poco tiempo se genera un declive importante en las propiedades químicas del mismo. López (2002) indica que esta actividad también tiene influencias negativas sobre las propiedades físicas.

Por otro lado, son los mismos agricultores que realizan este tipo de prácticas los que prefieren no expandir sus tierras de cultivo hasta que los suelos estén completamente agotados, dejando el área por unos años y, una vez recuperada la suficiente masa vegetal, el proceso vuelve a repetirse (Meza et al., 2006). Es en ese momento que la agricultura migratoria se vuelve una fuente de promoción de la erosión y degradación de los suelos, aunque, en aras de corregir las acciones negativas pasadas, también podría ser el punto de inicio para la adopción de nuevas y mejores prácticas productivas (Mendieta & Rocha, 2009).

c. Sobrepastoreo

El manejo ganadero desarrollado con prácticas tradicionales emplea monocultivos de pastos, y la literatura muestra que estos llegan a degradarse aproximadamente cinco años después de su establecimiento, liberando grandes cantidades de carbono a la atmósfera (Beer et al., 2003). Sin embargo, es importante destacar que existen casos de pasturas con buen rendimiento, como es el caso del kudzú en Colombia, produciendo de 200 a 300 kg de biomasa al año (Lascano & Spain, 1988), lo que evidencia que las pasturas en los trópicos

no necesariamente han de degradarse a corto plazo; esto coincide con lo afirmado por Hall (2008), quien hace énfasis en la importancia de la selección de especies idóneas con tal fin.

La degradación de las pasturas genera escorrentía y erosión de suelos, desencadenando un impacto negativo en las fincas productivas, en los reservorios de agua e incluso en las vías de acceso (Lascano & Spain, 1988). López (2002) indica que la carga excesiva de ganado y el pisoteo recurrente del suelo provoca la degradación del mismo y de la vegetación que lo cubre.

3.2.2.3. Parámetros de la recuperación de suelos degradados

De acuerdo con Villagaray (2014) y da Silva et al. (2011), se establecieron los siguientes parámetros:

a. Propiedades químicas

La composición química de los suelos varía según la naturaleza de la roca madre y los cambios producidos durante la meteorización, acumulación de materia orgánica y prácticas de manejo (Rucks et al., 2004). Según lo afirmado por Porta et al. (2008), los elementos químicos en los suelos pueden hallarse en la fase sólida, en la fase líquida y en la fase gaseosa, y dependiendo de la forma en la que se encuentren estará dada su reactividad, movilidad y biodisponibilidad.

b. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los suelos tienen un rol importante en la capacidad de estos de ser usados por los hombres. La condición física de un suelo

determina su estructura, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes (Rucks et al., 2004).

Alegre et al. (2016) mencionan que gran parte de los indicadores de la calidad del suelo están referidos a sus propiedades físicas, puesto que son fácilmente observables, de sencilla determinación e incluso terminan influenciando las propiedades químicas y biológicas de los suelos. Es necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra el conocer las propiedades físicas del suelo con el fin de comprender cómo y en qué medida influyen estas en el crecimiento de las plantas, y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, entendiendo así la importancia de mantener en el mejor estado posible las condiciones físicas del suelo (Rucks et al., 2004).

3.2.2.4. Conservación de suelos y agroforestería

Según lo referido por Zavala et al. (2011), la conservación de suelos es el conjunto de prácticas que buscan promover y mantener en el tiempo la calidad del suelo y su productividad natural, asegurando el recurso para futuras generaciones. Como menciona Young (1990), hablar de conservación de suelos es hablar del mantenimiento de la fertilidad del mismo, lo cual requiere de:

- Control de la erosión
- Mantenimiento de la materia orgánica
- Mantenimiento de las propiedades físicas del suelo
- Mantenimiento de los nutrientes

- Reducción de la toxicidad

El autor afirma, además, que la conservación del agua (en cuanto a la reducción de su pérdida por escorrentía) y el suelo forman parte de la conservación de muchos recursos más, implicando, a su vez, la permanencia de otros componentes del ecosistema, tales como: pasturas, bosques y vida silvestre. La degradación del suelo y la pérdida de agua solo pueden ser controlados mediante una estructura estable y viva del suelo (FAO, 2000).

Por otro lado, es importante destacar que, en el caso de los suelos degradados, las especies vegetales a emplearse con el fin de recuperarlos deben tener la capacidad de adaptarse a los mismos, tener una baja demanda de nutrientes y permitir un eficiente reciclaje de estos por medio de la descomposición de hojarasca y de raíces muertas (Ferrini & Wall, 2004). Debe considerarse también que una plantación forestal o un sistema agroforestal en suelos con pobres condiciones físicas puede fracasar de no contar con la disponibilidad necesaria de nutrientes (especialmente fósforo y nitrógeno).

Ante esto, la fijación biológica de nitrógeno (FBN) puede representar una alternativa de solución. Esta fijación ocurre en los nódulos de las raíces de algunas plantas. Aproximadamente se necesitan de 20 a 25 toneladas por hectárea al año de la biomasa de especies leguminosas para mantener la fertilidad del suelo a lo largo del tiempo (Bunch, 2015). Sin embargo, es casi imposible pensar que un agricultor podría contar con tales cantidades de compost o de estiércol animal anualmente, y es por ello que las especies fijadoras de nitrógeno resultan tan importantes en el manejo de la fertilidad de los suelos.

Una característica de las especies fijadoras de nitrógeno es que pueden captar el nitrógeno de la atmósfera en los nódulos de sus raíces y luego almacenarlo en su componente forrajero o en forma de proteína cruda, esto último les permite ser usados como fuente de proteínas y de energía para los animales (Botero et al., 1998). Y ya sea que se empleen árboles o arbustos fijadores de nitrógeno dentro del sistema, o que se trate de la cobertura, es importante considerar un componente con estas características con el fin de proporcionar una fuente permanente de nutrientes al suelo.

En cuanto a los sistemas agroforestales en general, Young (1990) afirma que los efectos de estos en el mantenimiento de la fertilidad de los suelos deben ser considerados juntamente con los efectos directos que la agroforestería tiene sobre el control de la erosión. Mendieta & Rocha (2007) coinciden en que la agroforestería puede mejorar y mantener la fertilidad del suelo. Del mismo modo, estos sistemas brindan un aporte constante de hojarasca que cubre el suelo, reduciendo el impacto de la lluvia, la velocidad de escorrentía y, por lo tanto, de la erosión (Beer et al., 2003).

Es fundamental hacer énfasis en que las prácticas más apropiadas para el manejo de suelos deben basarse en las condiciones socioeconómicas del agricultor, en sus necesidades, limitaciones, y en las prácticas con las que tradicionalmente maneja su predio, pues esto permitirá la rápida adopción de las técnicas de conservación de suelos (Arroyave & Cedeño, 1998).

3.2.2.5. Árboles y suelos

Los suelos desarrollados bajo bosques naturales evidencian un alto contenido de nutrientes, de materia orgánica y de carbono. En este sentido, y de acuerdo con Young (1990), los árboles involucran cinco procesos importantes:

a. Procesos que aumentan componentes al suelo

- Mantenimiento o incremento de la materia orgánica en el suelo a través de la fijación de carbono ocurrida en la fotosíntesis y su transferencia mediante la descomposición de hojarasca y raíces.
- La fijación de nitrógeno mediante algunos árboles leguminosos y no leguminosos.
- Toma de nutrientes, realizada por la degradación de la roca madre en las capas más profundas del suelo.
- Contribución atmosférica, referida a la provisión de condiciones favorables para el aporte de nutrientes a través de la lluvia y el polvo.
- Exudación de sustancias promotoras de crecimiento en la rizósfera.

b. Procesos que reducen la pérdida de suelo

- Protección de la erosión y, por ende, de la pérdida de materia orgánica y nutrientes.
- Recuperación de nutrientes: Reciclaje y captura de nutrientes que de otro modo se perderían por escorrentía, incluyendo la acción de los sistemas de micorrizas asociados con las raíces de los árboles y a través de la exudación de raíces.

- Reducción de la tasa de descomposición de materia orgánica a través de la sombra.

c. Procesos que afectan las condiciones físicas del suelo

- Mantenimiento o mejoramiento de las propiedades físicas del suelo (estructura, porosidad, capacidad de retención de humedad y permeabilidad) a través de la combinación del mantenimiento de la materia orgánica y los efectos de las raíces.
- Rompimiento de capas compactas de suelo por parte de las raíces.
- Modificación de los extremos de la temperatura del suelo por medio de la combinación de sombreado por el dosel de los árboles y cobertura de hojarasca.

d. Proceso que afecta las condiciones químicas del suelo

- Reducción de la acidez a través de la adición de bases por la hojarasca de los árboles.

e. Procesos y efectos biológicos del suelo

- Producción de un rango de hojarasca con distintas cualidades por medio del suplemento de una mezcla de material herbáceo y leñoso, incluyendo residuos de raíces.
- Momento de liberación de nutrientes, referido a que el potencial del control de descomposición de la hojarasca a través de la selección de especies de árboles y el manejo de poda llevan a una sincronización en la liberación de nutrientes de la descomposición de hojarasca con requerimientos de las plantas para la toma de nutrientes.
- Efectos sobre la fauna del suelo.
- Transferencia de la integración entre los sistemas de raíces.

IV. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

4.1. Objetivos

4.1.1. Objetivo General

- Determinar la influencia de tres modelos de sistemas agroforestales con cobertura en la recuperación de suelos degradados en Yurimaguas, Loreto.

4.1.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la influencia de los sistemas agroforestales con cobertura en la recuperación de las propiedades físicas y químicas de suelos degradados en Yurimaguas, Loreto.
- Determinar el aporte de la biomasa fresca y seca y el contenido de carbono y nitrógeno con la cobertura de *Centrosema macrocarpum* para mejorar el reciclaje de nutrientes de los suelos degradados.

4.2. Hipótesis

2.1. *Ha*

Al menos uno de los tres modelos de sistemas agroforestales con cobertura influye en la recuperación de los suelos degradados en Yurimaguas, Loreto.

2.2. *Ho*

Ninguno de los tres modelos de sistemas agroforestales con cobertura influye en la recuperación de los suelos degradados en Yurimaguas, Loreto.

VI. METODOLOGÍA

5.1 Zona de estudio

La investigación se llevó a cabo en el centro poblado Santo Tomás, ubicado en el distrito de Yurimaguas, provincia de Alto Amazonas, departamento de Loreto. El centro poblado se encuentra a 5°45' Latitud Sur y 76°05' Longitud Oeste y a una altitud de 182 m s. n. m. En la zona existe una precipitación anual promedio de 2400 mm, y la temperatura media anual es de 26 °C, siendo la máxima 31 °C y la mínima 22 °C, con poca variación mensual o diaria. La humedad relativa promedio anual es de 83 %.

5.2 Diseño de investigación

La presente investigación es cuantitativa, de muestreo transversal, y pretende establecer la relación causa-efecto entre las variables de estudio.

5.3. Materiales

Los materiales necesarios para efectuar la evaluación de los tres modelos de SAF fueron:

5.3.1. *Campo*

- Wincha de 50 m y de 3 m
- Palas rectas grandes y palas pequeñas

- Muestreador de densidad aparente con cilindros de un volumen determinado (cilindro N° 26 = 90.22 cm³; cilindro N° 33 = 92.65 cm³)
- Penetrómetro de bolsillo para medir resistencia mecánica
- Bolsas de plástico grandes y pequeñas
- Bolsas de papel pequeñas
- Costales de 30 kg
- Balanza de campo de dos fracciones
- Cámara fotográfica
- Masking tape
- Cuaderno de apuntes
- Lapicero

5.3.2. Gabinete

- Laptop

5.4. Métodos

Con motivo de un estudio previo a la presente tesis, un equipo de investigadores de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Alegre et al., 2017) llevó a cabo la instalación de tres modelos de sistemas agroforestales en Yurimaguas. Estos tres prototipos son los modelos presentados en esta

investigación. Los SAF se establecieron en áreas pertenecientes a tres agricultores de la zona, quienes antes del estudio poseían pastos degradados de *Brachiaria brizantha* y malezas.

Se tienen delimitadas tres parcelas de 70 m x 40 m, cada una para cada modelo, replicadas en terrenos de tres agricultores, los Sres. Roberto, Clays y Washington. Además, se cuenta con un área adyacente en cada campo considerada como testigo, delimitada de la misma manera, la cual está siendo reforestada por el proyecto especial PEDAMAALC (Proyecto Especial Datem de Maraón, Alto Amazonas, Loreto, Condorcanqui) del MINAGRI y Gobierno regional y se basa en el uso de diferentes especies forestales nativas sin cobertura y que sirve como referencia para el contraste de resultados <http://www.pedamaalc.gob.pe/>

La instalación de los tratamientos se realizó durante el mes de enero de 2015. Esta investigación le hace el seguimiento en la evaluación de la dinámica desde el periodo transcurrido durante tres años y medio desde su establecimiento hasta agosto del 2018. Los modelos evaluados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Especies que conforman los modelos agroforestales.

Modelo	Nombre científico	Nombre común
SAF 1	<i>Swietenia macrophylla</i>	Caoba
	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Capirona
	<i>Guazuma crinita</i>	Bolaina
	<i>Simarouba amara</i>	Marupa
	<i>Centrosema macrocarpum</i>	Centrosema
SAF 2	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	Tornillo
	<i>Bactris gasipaes</i>	Pijuayo
	<i>Inga edulis</i>	Guaba
	<i>Guazuma crinita</i>	Bolaina
	<i>Centrosema macrocarpum</i>	Centrosema
SAF 3	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Capirona
	<i>Guazuma crinita</i>	Bolaina
	<i>Simarouba amara</i>	Marupa
	<i>Centrosema macrocarpum</i>	Centrosema

El primer sistema corresponde a especies forestales de rápido y lento crecimiento (sistema multiestrato); el segundo, a especies de rápido y lento crecimiento y frutales (sistema multiestrato); y el tercero, a especies de rápido crecimiento (arreglo silvopastoril), donde todos los sistemas incluyen *Centrosema macrocarpum* como cultivo de cobertura. El cuarto modelo (SAF control) es considerado como el testigo o control, y es el diseño del programa de reforestación del Estado, el cual se ha trabajado con marupa, capirona, bolaina y caoba como especies maderables y con kudzu como cultivo de cobertura.

El muestreo del suelo se tomó en cada subparcela, que resulta de dividir cada parcela en tres partes, siendo un total de 12 parcelas al incluir todos los modelos y sus repeticiones. En la Figura 1 se presenta un esquema general del muestreo de acuerdo a las subparcelas.

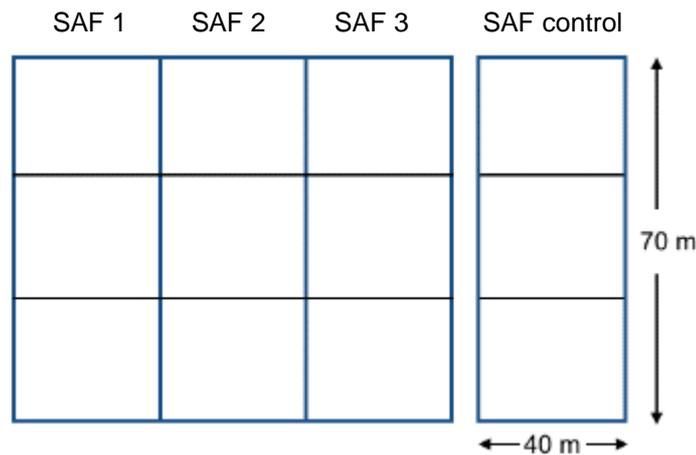


Figura 1. Esquema de la dimensión de tratamiento y división del muestreo de suelos (subparcelas) en campo por cada agricultor.

Las variables evaluadas fueron:

5.4.1. Propiedades químicas

Caracterización del suelo a una profundidad de 0-15 y 15-30 cm (Figura 2). Del análisis en laboratorio:

- pH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo, con una relación agua de 1:1 y de KCl, N en relación 1:2.5.
- Fósforo disponible: método de Olsen modificado, extracción con $\text{NaHCO}_3=0.05\text{M}$, pH 8.5.

- Potasio disponible: extracción con acetato de amonio ($\text{CH}_3 - \text{COONH}_4$)N. pH 7.0.
- MO: método de Walkley y Black, mediante oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. %M.O. = %C x 1.724.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio ($\text{CH}_3 - \text{COONH}_4$)N. pH 7.0.
- Saturación de bases.
- Saturación de aluminio: método de Yuan. Extracción con KCl, N.



Figura 2. Muestreo de suelos para caracterización.

5.4.2. Propiedades físicas

Cálculo de la densidad aparente con el método del cilindro y a su vez en la misma muestra se midió la humedad disponible del suelo que es muy importante para verificar si los valores de D_a son evaluados correctamente (Figura 3). La resistencia mecánica se midió con un penetrómetro de bolsillo, con mediciones a las profundidades de 5, 10, 15 y 20 cm (Figura 4); y la porosidad usando la fórmula ($\% \text{ porosidad} = \{[1 - (D_a/D_r)] \times 100\}$) en donde D_r es la densidad real del suelo (2.65 gr/cm^3).



Figura 3. Muestreo de suelos para determinación de densidad aparente.



Figura 4. Evaluación de resistencia mecánica de suelo con penetrómetro de bolsillo.

5.4.3. Biomasa de cobertura

La cobertura de *Centrosema macrocarpum* (centrosema) que se plantó al inicio del experimento en 2015 y que se evalúa anualmente y repetida 3 veces en cada parcela de cada modelo agroforestal se evaluó con el sistema de cuadrantes de 1 m². Para ello, se colocó en forma randomizada un cuadrante de 1 m x 1 m sobre la cobertura y se procedió a coleccionar toda la biomasa fresca de *Centrosema* que cabía dentro del cuadrante (Figura 5). Esta fue puesta en sacos y posteriormente pesada, como biomasa fresca total y de aquí se sacó una submuestra fresca en bolsas de papel y fue llevada a laboratorio para colocarla en una estufa de aire recirculante a 75 °C para obtener una submuestra seca . Con estos valores de submuestra fresca y seca se determinó el peso seco del cuadrante de 1 m² y se determinó la cantidad de biomasa de materia seca en tonelada por hectárea de cada tratamiento y se hicieron los análisis foliares respectivos para determinar el aporte de nutrientes (nitrógeno y carbono) en esta biomasa de la cobertura.



Figura 5. Evaluación de biomasa de cobertura con el método del cuadrante de 1x1 m.

5.5. Diseño experimental

El diseño experimental es un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con tres repeticiones (cada campo es un bloque o replicación), teniendo un total de 12 parcelas experimentales (Figura 6). Para los resultados que mostraron diferencias significativas entre las medias de los bloques, se aplicó un análisis de varianza, haciendo correlaciones múltiples para su comparación con el Test de Tukey con un 95 % de nivel de significancia en el programa estadístico Statistix 8.0.

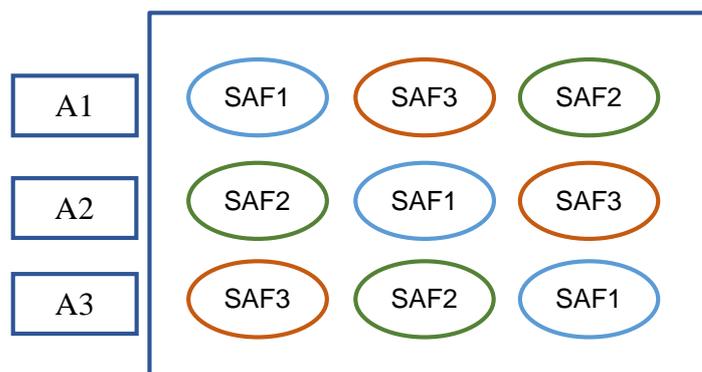


Figura 6. Diseño de bloques completamente al azar según cada modelo de SAF. Donde: A1, Clays; A2, Roberto; y A3, Washington.

VII. RESULTADOS

Los resultados de la investigación son presentados a continuación en función de los parámetros evaluados respecto a las propiedades químicas, las propiedades físicas y la cobertura de la biomasa.

6.1 Propiedades químicas

Como se observa en la Tabla 2, existen diferencias significativas entre los cuatro SAF respecto al pH, porcentaje de MO, K, CIC y aluminio intercambiable. El porcentaje de MO y el aluminio intercambiable, en relación con el pH, se muestran notoriamente más bajos en el SAF 3, lo cual se relaciona directamente con el valor del pH, más bajo también.

El contenido de MO en los suelos en SAF 1, SAF 2 y SAF control es medianamente pobre; mientras que para el SAF 3, se califica como pobre.

En cuanto al contenido de nutrientes en el suelo, es significativamente mayor en SAF 2, y resalta en especial el potasio disponible, no existiendo diferencias significativas entre los sistemas respecto al P.

En la Tabla 3 se observan algunas de las propiedades químicas más importantes que dan indicadores nutricionales de los suelos en base a los tres modelos del proyecto por cada agricultor. Los datos de la caracterización completa se encuentran recopilados en el Anexo 1.

Tabla 2. Propiedades químicas de los suelos presentes en los cuatro SAF.

	pH	MO %	P (ppm)	K (ppm)	CIC (meq.100/g)	Al ⁺³ + H ⁺
SAF 1	4.25±0.30a	1.24±0.56ab	2.92±1.09a	35.06±14.31b	4.25±1.21ab	1.05±0.97b
SAF 2	4.24±0.48a	1.72±0.86a	2.77±1.24a	79.50±65.34a	5.43±2.73a	2.72±3.00a
SAF 3	4.01±0.15b	1.12±0.55b	2.83±1.35a	33.22±10.10b	3.17±0.57b	1.17±1.01b
SAF control	4.20±0.25ab	1.28±0.62ab	3.40±2.61a	44.83±33.62b	3.34±0.46b	0.76±0.58b
p-valor	0.0224	0.0435	0.6612	0.0000	0.0000	0.0001

*Promedios seguidos de la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes
(p<0.05)

Tabla 3. Indicadores nutricionales de suelos a una profundidad de 0 - 15 cm, de acuerdo a cada agricultor y en función de SAF 1, SAF 2 Y SAF 3 en promedio.

Parcelas de los agricultores	pH	MO %	P (ppm)	K (ppm)	CIC (meq/100g)
Washington	4.22±0.28a	1.56±0.36a	3.83±1.09a	31.42±6.03a	3.32±0.54a
Roberto	4.54±0.30b	2.09±0.88a	4.70±2.64a	39.68±26.82a	4.56±2.2a
Clays	3.97±9.28a	1.80±0.43a	3.39±0.98a	98.33±66.07b	4.39±1.41a
p-valor	0	0.109	0.189	0.001	0.119

*Promedios seguidos de la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes
(p<0.05)

6.2 Propiedades físicas

Se observan en la Tabla 4 los valores para densidad aparente (Da) y de humedad disponible (Hd) a una profundidad de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm, y en la Tabla 5 el porcentaje de arena, limo y arcilla por cada SAF. En el primer caso, SAF 2 evidencia valores más bajos de densidad aparente, lo cual indica una

menor compactación del suelo. A una profundidad de 15 a 30 cm, donde nuevamente presenta valores más bajos de densidad aparente, dando mayor lugar para la humedad disponible en el suelo, la cual es significativamente diferente de los demás sistemas, al igual que la porosidad (Tabla 7).

Por otro lado, en la Tabla 6 se observan las variaciones de la resistencia mecánica al profundizar en el perfil del suelo para los cuatro SAF. No existen diferencias significativas entre cada sistema según la profundidad de evaluación. En los anexos 2 y 3 se muestran los datos totales.

Tabla 4. Densidad aparente (Da) y humedad disponible (Hd) en las evaluaciones de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm.

	Da		Hd	
	0-15 cm	15-30 cm	0-15 cm	15-30 cm
SAF 1	1.58±0.10a	1.62±0.17ab	16.88±4.48a	18.24±2.65ab
SAF 2	1.39±0.16b	1.47±0.16b	19.04±5.27a	21.26±4.58a
SAF 3	1.58±0.06a	1.68±0.10a	19.15±2.60a	18.51±2.25ab
SAF control	1.62±0.10a	1.68±0.10a	16.30±2.72a	17.10±1.04b
p-valor	0.0007	0.0101	0.2623	0.0236

*Promedios seguidos de la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes (p<0.05)

Tabla 5. Porcentaje de arena, limo y arcilla en los suelos de los cuatro SAF.

	% Arena	% Limo	% Arcilla
SAF 1	66.67±9.20a	20.44±5.47a	12.89±5.28b
SAF 2	58.22±13.46b	23.22±5.58a	18.56±8.99a
SAF 3	65.44±7.60a	20.79±5.00a	13.78±4.65ab
SAF control	68.11±6.56a	20.79±4.29a	11.11±4.71b
p-valor	0.0006	0.0553	0.0019

*Promedios seguidos de la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes (p<0.05)

Tabla 6. Resistencia mecánica a diferentes profundidades en cada SAF.

	RM (5 cm)	RM (10 cm)	RM (15 cm)	RM (20 cm)
SAF1	1.08±1.05a	2.00±0.43a	1.92±0.55a	2.06±0.34a
SAF2	0.80±0.05a	2.20±0.41a	2.22±0.30a	2.17±0.30a
SAF3	0.78±0.40a	1.78±0.39a	1.86±0.12a	1.67±0.34a
SAF control	1.11±0.48a	1.56±0.33a	1.89±0.38a	1.56±0.54a
p-valor	0.8552	0.2903	0.6162	0.2388

*Promedios seguidos de la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes (p<0.05)

Tabla 7. Porosidad del suelo de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm en cada SAF.

	% Porosidad	
	0-15 cm	15-30 cm
SAF1	40.38a	38.83ab
SAF2	47.67b	44.36b
SAF3	40.46a	44.36a
SAF control	38.91a	44.36a

*Promedios seguidos de la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes (p<0.05)

6.3 Biomasa de cobertura

En la Tabla 8 se presentan los resultados referidos a la biomasa, materia seca, carbono y nitrógeno en t/ha, en relación en los cuatro SAF. En la Tabla 9 se presentan los aportes de carbono en t/ha y de nitrógeno en kg/ha. El análisis mostró diferencias significativas para SAF control, donde los valores de biomasa en t/ha y de materia seca fueron menores, al igual que el aporte de nitrógeno y carbono.

Debido a la naturaleza invasora de *Pueraria phaseloides* (Roxb) Benth (kudzu), esta fue encontrada en los campos de los tres agricultores, en mayor y menor medida, creciendo junto a *C. macrocarpum.*, y afectando algunos árboles. Sin embargo, no había evidencia de otras especies (malezas) debido al crecimiento de *C. macrocarpum.* En el Anexo 4 se muestran los resultados totales.

Tabla 8. Biomasa de la cobertura fresca y materia seca promedio de la cobertura de los cuatro SAF.

	Biomasa (t/ha)	Materia seca (t/ha)
SAF1	47.19±8.91a	16.69±3.28a
SAF2	36.78±4.17a	13.65±2.06a
SAF3	43.53±8.33a	14.84±2.30a
SAF control	20.00±4.33b	8.39±4.32b
p-valor	0.000	0.000

*Promedios seguidos de la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

Tabla 9. Aporte de carbono y nitrógeno por hectárea a partir de la biomasa de materia seca de la cobertura.

	t C/ha	kg N/ha
SAF 1	1.25a	441.35a
SAF 2	0.84a	358.34a
SAF 3	0.99a	400.30a
SAF control	0.32b	146.51b

*Promedios seguidos de la misma letra en cada columna no son significativamente diferentes ($p < 0.05$)

VIII. DISCUSIÓN

De acuerdo con Alegre et al. (2017), al inicio del proyecto, la capa superficial del suelo presentaba un pH muy ácido (de 3.8 a 4.8), con bajo contenido de materia orgánica y de fósforo, un medio nivel de potasio, una baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), y una saturación de aluminio que fluctuaba de baja (8.77 %) a alta (72.44 %). Para la presente investigación, los valores de pH se encontraron al momento de la evaluación en un rango de 4.0 a 4.2 entre sistemas, permaneciendo en el rango de muy ácido. Especialmente en las zonas tropicales, las precipitaciones son una causa natural de acidificación del suelo al lixiviar los cationes intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio) del suelo, así como también lo es el contenido de materia orgánica, pues en general los residuos orgánicos se oxidan y se mineralizan, generando reacciones que liberan H^+ (Bernier & Alfaro, 2006). Asimismo, en cuanto a la acidez intercambiable, los hidróxidos de aluminio son otra de las principales fuentes de acidez en estas zonas, ya que la hidrólisis de Al^{+3} conlleva a que H^+ sea liberado hacia la solución suelo, produciendo una disminución del pH (Ramírez, 2002). Sin embargo, las plantas difieren en su habilidad de soportar la toxicidad por aluminio, por lo cual resulta complicado establecer un nivel preciso de pH en el cual el Al^{+3} soluble comience a causar daños al sistema de raíces, limitando la toma de calcio y fósforo (Hall, 2008).

Villagaray (2014) menciona que, en un ensayo de recuperación de suelos en el VRAEM, el potasio en el suelo incrementó. El escenario en el caso de Yurimaguas, evidencia que SAF 2 presenta concentraciones mayores de potasio disponible respecto a los demás sistemas evaluados. De acuerdo con Zubillaga

& Conti (1996), la calidad de la arcilla y su contenido influyen en la disponibilidad de K. En este sentido, es importante mencionar que el porcentaje de arcilla es significativamente mayor para dicho sistema. Por otro lado, Alegre et al. (2017) encontraron que las mejoras en el suelo luego de ocho meses de instalados los sistemas de la presente investigación fueron básicamente en cuanto a materia orgánica (MO) y potasio disponible, debido a la producción mayor de hojarasca por parte de *Centrosema macrocarpum* y a las rápidas tasas de descomposición que incorporaban MO de buena calidad al suelo en corto tiempo; de la misma manera, los árboles en el mediano y largo plazo van incorporando MO.

En base a los indicadores de nutrición de suelos presentados de modo general por cada agricultor, es posible determinar los cambios en las propiedades químicas de los suelos a partir de la instalación de las parcelas. Alegre et al. (2017) mencionan que los niveles iniciales de nutrientes a una profundidad de 0 a 15 cm variaban de 3.81 a 4.80 en el caso de pH; de 0.96 a 1.18 para el % MO, de 50 a 62 ppm para potasio disponible; de 2.3 a 3.0 ppm para P disponible y CIC de entre 5.94 y 11.38. Dichos indicadores, para agosto de 2018 (3 años y medio luego de la instalación de los SAF), se han visto incrementados y han decrecido en algunos casos. El pH aumentó ligeramente en las parcelas de Washington y Clays, pero disminuyó (volviéndose más ácido), en 0.26 en las parcelas de Roberto. Los posibles motivos han sido expuestos al inicio de esta sección. En cuanto al porcentaje de MO, ha incrementado en los tres casos, al igual que el P disponible.

La materia orgánica, pues, tiene una estrecha relación con la producción de hojarasca, los residuos vegetales y la descomposición de raíces de las

coberturas, teniendo impactos sobre el pH, CIC y la disponibilidad de nutrientes (Baligar et al., 2007).

Siendo notorias las diferencias en la caracterización de suelos del SAF 2 con respecto a los demás tratamientos, es clave indicar que dicho sistema está conformado por especies de rápido y lento crecimiento, así como frutales, como se mencionó en secciones anteriores, entre las que se encuentran *Cedrelinga catanaeformis* e *Inga edulis*, las cuales pertenecen a la familia Fabaceae; este es el único diseño que involucra forestales de dicha familia. En este sentido, es bien sabido que las leguminosas son capaces de fijar nitrógeno y extraer nutrientes de capas más profundas del suelo (Young, 1990). Las hojas y rastrojos provenientes de las especies de la familia Fabaceae conducen a un proceso de reciclaje de nutrientes, el cual ejerce un papel fundamental en la rehabilitación de áreas degradadas (Oliveira et al., 2012). Sin embargo, según mencionan Ferrari & Wall (2004), las especies forestales de esta familia no son suficientes muchas veces para la rehabilitación de suelos degradados en su totalidad, y son necesarias otras labores, además de la aplicación de enmiendas y fertilizantes. Esto podría relacionarse con la disponibilidad de otros nutrientes, que se mantiene baja. Por otro lado, de acuerdo con lo indicado por Pérez et al. (2017), los suelos con mayor porcentaje de arcillas tienen la capacidad de adsorber más iones que otros, y es el caso de SAF 2 nuevamente.

Respecto a las propiedades físicas, la densidad aparente se ve afectada por las partículas sólidas y la porosidad (a medida que aumenta la MO y la porosidad, disminuye la densidad aparente). Al aumentar la densidad aparente en el suelo, aumenta también el grado de compactación y se ven afectadas las condiciones

de retención de humedad, limitando a su vez el crecimiento de raíces (Salamanca & Sadeghian, 2005). Para el caso de SAF 2, se evidencia una Da menor, con una consecuente Hd mayor.

En cuanto a la resistencia mecánica (RM), no se encontraron diferencias significativas a nivel de las profundidades de evaluación entre los sistemas, lo cual puede estar relacionado con el efecto de la materia orgánica en el suelo y las raíces, capaces de romper capas compactas (Young, 1990). Del mismo modo, *C. macrocarpum* proporciona una biomasa radicular beneficiosa en SAF 1, SAF 2 y SAF 3 que, sumada a la hojarasca, mejora las condiciones del suelo. Sin embargo, de acuerdo con Salamanca & Sadeghian (2005), la densidad aparente está explicada por la retención de humedad a capacidad de campo, la distribución de agregados en seco y la MO, y en el estudio que realizaron notaron que la RM tiene una relación significativa con la densidad aparente a nivel de grupo total de evaluación, pero que a nivel individual no resulta relevante para todas las unidades.

Por otro lado, y en función al efecto que pudo tener la pendiente en algunas parcelas, la FAO (2000) indica que mientras mayor sea la pendiente y la longitud de esta, mayor será la erosión del suelo, en específico debido al aumento en la velocidad de escorrentía y al impacto y velocidad del agua; es por ello que, considerando la presencia de la cobertura, es posible afirmar que la pendiente no tuvo influencia sobre los resultados y las propiedades evaluadas, ya que el suelo fue cubierto muy rápidamente por *C. macrocarpum* luego de que fueran esparcidas las semillas (5 kg/ha) al inicio del proyecto, y el suelo, aun antes de la instalación de los sistemas, siempre estuvo cubierto con otro tipo de pastos.

En este periodo de evaluación la producción biomasa fresca y biomasa seca promedio de la cobertura no presentó diferencias significativas entre SAF 1, SAF 2 Y SAF 3, mas sí fueron encontradas por Alegre et al. (2017) en una evaluación inicial, en donde SAF 1 presentó mayor cantidad de biomasa de materia seca en t/ha, y se le atribuyó a que dicho sistema tenía más especies de árboles y algunos de ellos tenían autopoda, por lo que la hojarasca se veía incrementada. En lo que respecta a SAF control, este presentaba cobertura voluntaria (maleza) de *Pueraria phaseloides* (Roxb) Benth (kudzu), una especie agresiva en cuanto a su propagación; sin embargo, los aportes de biomasa seca en tn/ha son significativamente menores con respecto a los demás sistemas donde se encontraba centrosema. Esto puede deberse al manejo de la cobertura ya que se realizaban cortes y podas de forma periódica en SAF 1, SAF 2 Y SAF 3. El porcentaje de carbono y nitrógeno aportado es, por consiguiente, significativamente menor para SAF control. Los resultados concuerdan con los encontrados por Razuri (2014), donde los cultivos de cobertura presentaron diferencias significativas respecto al testigo.

Fageria et al. (2005) mencionan que el uso de cultivos de cobertura genera impactos positivos sobre el suelo, relacionados con el control de malezas, la capacidad de retención hídrica y el reciclaje de nitrógeno.

IX. CONCLUSIONES

A tres años y medio del establecimiento de los SAF, los indicadores de nutrición del suelo, como MO y P disponible, se han visto incrementados, siendo SAF 2 con especies maderables y frutales el que mejores resultados presentó probablemente debido a que está conformado por dos especies de la familia Fabaceae (*Cedrelinga catanaeformis* e *Inga edulis*), considerando el aporte que generan de hojarasca y su función en el suelo como fijadoras de nitrógeno. Esto hace que el suelo presente diferencias significativas respecto a los otros sistemas en cuanto a nutrientes.

La densidad aparente se encontró en un rango ideal para el crecimiento de raíces (1.39 g/cm^3) para SAF 2, mientras que para los demás SAF, Da mayores a 1.58 afectarían el crecimiento de raíces por efecto de la compactación.

La biomasa del cultivo de cobertura promedio en los tres sistemas fue 42.5 t/ha, como resultado de las hojas y rastrojos de los árboles y de la biomasa generada por la propia cobertura, de donde el aporte de C en promedio y de N es de 1.03 t/ha y 400 kg/ha respectivamente para los tres SAF. De todos ellos, SAF1 presentó mayores valores, aunque se mantienen significativamente iguales a los demás SAF, de donde SAF control tuvo el aporte estadísticamente diferente, siendo mucho más bajo (0.32 t C/ha y 146.51 kg N/ha).

Respecto a la acidez del suelo, esta permaneció con valores muy ácidos (de 4.2 en promedio). Sin embargo, es clave mencionar que aun así muchos cultivos se pueden adaptar a esas condiciones, propias del trópico húmedo, por lo cual no se considera como un problema en sí mismo.

X. RECOMENDACIONES

Se recomienda estudiar la naturaleza de las arcillas de los suelos en los que se vayan a llevar a cabo proyectos de recuperación de suelos para actividades productivas, a fin de poder precisar su relación con las propiedades nutricionales y la acidez intercambiable. Asimismo, se recomienda estudiar los efectos de los arreglos agroforestales con otras especies leguminosas sobre los suelos de la Amazonia peruana y en las zonas de montaña afectadas por diversas causas.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, J. (2015). Sistema agroforestal multiestrato. Recuperación de suelos degradados en la Amazonia. *Leisa. Revista de Agroecología*, 31.1, 28-30.
- Alegre, J., Vega, R. & Lao, C. (2016). *Manual Diseño de Sistemas Agroforestales (SAF) para recuperar áreas degradadas en la Amazonia*. Proyecto I, Sistemas Agrarios. Sub Proyecto 2, Sistemas Agroforestales, 28 pp.
- Alegre, J., Lao, C., Silva, C. & Schrevens, E. (2017). Recuperación de tierras degradadas en la Amazonia peruana por cultivos de cobertura y sistemas agroforestales sostenibles. *Peruvian Journal of Agronomy*, 1(1), 1-7.
- Alfonso, C. & Monedero, M. (2004). *Uso, manejo y conservación de suelos*. Asociación Cubana de técnicos agrícolas y forestales, La Habana, Cuba, 71 pp.
- Altieri, M. (1999). *Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan-Comunidad, Montevideo, Uruguay, 325 pp.
- Amazonia. (2017a). *Capirona*. Recuperado de <http://amazonia.iiap.org.pe/especies/ver/470>.
- Amazonia. (2017b). *Bolaina blanca*. Recuperado de <http://amazonia.iiap.org.pe/especies/ver/449>.
- Amazonia. (2017c). *Tornillo*. Recuperado de <http://amazonia.iiap.org.pe/especies/ver/402>.

- Arroyave, J. & Cedeño, J. (1998). *Prácticas de manejo y conservación de suelos y agua para áreas cafetaleras*. Manual Técnico-Divulgativo. Proyecto Integral Cafetalero "Manabí", Manabí, Ecuador, 49 pp.
- Baligar, V. & Fageria, N. (2007). Agronomy and physiology of tropical cover crops. *Journal of Plant Nutrition*, 30, 1287-1339.
- Baluarte, J. & Nebel, G. (2002). Incremento diamétrico de *Guarea macrophylla* Vahl. y *Clycophyllum spruceanum* (Benth) Hooker F. Ex. Schumann en bosques inundables de la Amazonia Peruana. *Folia Amazónica*, 13(1-2), 109-120.
- Banco Mundial. (2007). *Análisis ambiental del Perú: Retos para un desarrollo sostenible. Resumen Ejecutivo*. Recuperado de http://siteresources.worldbank.org/INTPERUINSPANISH/Resources/Resumen_Ejecutivo_FINAL_publicado_corregido_Junio_11.pdf.
- Beer, J., Harvey, C., Ibrahim, M., Harmand, J., Somarriba, E. & Jiménez, F. (2003). Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas*, 10(37-28), 80-87.
- Benites, J. (2015). Suelos vivos y materia orgánica. Seguridad alimentaria y mitigación del cambio climático. *Leisa. Revista de Agroecología*. 31(1), 10-12.
- Bernier, R. & Alfaro, M. (2006). Acidez de los suelos y efectos del encalado. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Osorno, Chile. Boletín INIA N° 151, 47 pp.

- Buyer, J., Virupax, C., Zhenli, H. & Arévalo, E. (2017). Soil microbial communities under cacao agroforestry and cover crop systems in Peru. *Applied Soil Ecology*, 120, 273-280.
- Botero, R., Russo, R. O., Rosales, M., Osorio, H., Sánchez, M. D., & Speedy, A. (1998). Utilización de árboles y arbustos fijadores de nitrógeno en sistemas sostenibles de producción animal en suelos ácidos tropicales. *Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica (electronic conference)*. 171-192.
- Bunch, R. (2015). Aprender de la historia para restaurar nuestros suelos. *Leisa. Revista de Agroecología* (31), 6.
- Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Dupraz, C., Durand, C., Kouakoua, E., Chenu, C. (2017). Increased soil organic carbon stocks under Agroforestry: a survey of six different sites in France. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 243-255.
- Cordero, D. (Ed.). (2012). *Una mirada integral a los bosques del Perú*. UICN. Quito, Ecuador. 50 pp.
- Cifuentes, M. (2010). *ABC del cambio climático en Mesoamérica*. Serie Técnica. Informe Técnico del CATIE No. 383. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 84 pp.
- Cruz, M. (2003). *La caoba, una alternativa para áreas deforestadas de La Huasteca Potosina*. Folleto para productores N°4. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 24 pp.

- Da Silva, D., Naves, M., Curi, N., Hoffman, A., Silva, F., Gualberto, S. & Grisi, R. (2011). Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. *REA - Revista de estudos ambientais (Online)*, 13 pp.
- De Groot, R., Wilson, M. & Boumans R. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, (41), 393-408.
- Dourojeanni, M. (1976). Una nueva estrategia para el desarrollo de la Amazonia Peruana. *Revista Forestal del Perú*, 6(1-2), 1-22.
- Dourojeanni, M., Brandirán, A. & Dourojeanni, D. (2009). *Amazonia Peruana en 2021. Explotación de recursos naturales e infraestructuras: ¿Qué está pasando? ¿Qué es lo que significan para el futuro?* ProNaturaleza, Lima, Perú, 160 pp.
- Escobar, M., Díaz, A., Leal, A. & Angarita, M. (2007). *Principios de sistemas agroforestales y avances en la protección fitosanitaria en el Departamento de Santander, Colombia*. ICA, CDMB. Bucaramanga, Santander, Colombia, 48 pp.
- Fageria, N., Baligar, V. & Bayley, B. (2005). Role of cover crops in improving soil and row crop productivity. *Communications in soil science and Plant Analysis*, 36, 2733-2757.
- FAO. (2000). *Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos*. Boletín de Tierras y Aguas de la FAO, Roma, Italia, 234 pp.

- FAO. (2015a). *Carta Mundial de los Suelos revisada*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/b-i4965s.pdf>.
- FAO. (2015b). *Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse*. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>.
- FAO. (2016). *Los bosques y el cambio climático en el Perú*. Documento de trabajo 14. Roma. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i5184s.pdf>.
- Ferrari, A. & Wall, L. (2004). *Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados*. Revista de la Facultad de Agronomía, UNLP, La Plata, Argentina, 63-87.
- Hall, H. (2008). *Influence of Cover Crop Cultivation on Phosphorus Fractions and Soil Fertility in a Peruvian Cacao Agroforestry System*. (Doctoral dissertation, University of Florida), 114 pp.
- Ignacio, R. (2014). *Efecto de la aplicación de diferentes tipos de abonos orgánicos en la fase de establecimiento de Centrosema macrocarpum en suelos degradados de Yurimaguas*. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Loreto, Perú, 81 pp.
- INEI. (2014). *Anuario de estadísticas ambientales 2013*. Lima, Perú, 639 pp.
- Jiménez, F., Muschler, R. & Köpsell, E. (2001). *Funciones y aplicaciones de sistemas agroforestales*. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica, 1-26.

- Kourous, G. (2003). *Los bosques y el agua dulce: conexiones vitales*. Recuperado de <http://www.fao.org/spanish/newsroom/focus/2003/wfc2.htm>.
- Lascano, C. & Spain, J. (1988). *Establecimiento y renovación de pasturas: Conceptos, experiencias y enfoque de la investigación*. Sexta Reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Veracruz, México.
- Ley N° 30215. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 29 de junio de 2014.
- López, R. (2002). *Degradación del Suelo: causas, procesos, evaluación e investigación*. 280 pp.
- López, R. (1980). Estudio silvicultural del tornillo (*Cedrelinga catenaeformis* Ducke). *Revista Forestal del Perú*. 10(1-2), 1-7.
- Marín, O., Castaño, A. & Gómez, G. (2012). Fenología del guamo *Inga edulis* (Fabales: Mimosoideae) en dos agroecosistemas del Quindío, Colombia. *Revista de Investigación Universidad Quindío*. 23(2), 127-133.
- Mataix, J. (1999). *Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración* (tesis de doctorado). Universidad de Alicante, Alicante, España, 321 pp.
- May, T. (2013). *Sistemas agroforestales de colonos como alternativa de uso ecológicamente sustentable en el oeste de Pará, Brasil. Adopción y propuestas para su desarrollo*. *Ambiente y Desarrollo*, 17(32), pp. 67-78.

- Mendieta, M. & Rocha, L. (2007). *Sistemas agroforestales*. Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua, 117 pp.
- Meza, A., Sabogal, C. & de Jong, W. (2006). *Rehabilitación de áreas degradadas en la Amazonia peruana. Revisión de experiencias y lecciones aprendidas*. CIFOR. Bogor, Indonesia. 136 pp.
- MINAM. (2014). *Primer Informe Bienal de Actualización del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Recuperado de <http://unfccc.int/resource/docs/natc/perbur1.pdf>.
- Montagnini, F. Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H. & Eibl, B. (2015). *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Serie técnica. Informe técnico N° 402*. CATIE, Turrialba, Costa Rica. Editorial CIPAV, Cali, Colombia.
- Moreira, D. & Castro, C. (2016). *Suelos vivos y sanos para la adaptación al cambio climático*. Proyecto EUROCLIMA-IICA, 12 pp.
- Moreno-Sánchez, R. (2012). *Incentivos económicos para la conservación. Un marco conceptual*. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. 1era Ed., 41 pp.
- Morera, J. (1981). *Descripción sistemática de la Colección Panamá de pejibaye (Bactris gasipaes H.B.K.) del CATIE* (tesis de posgrado). CATIE, Turrialba, Costa Rica, 139 pp.

- Oliveira, N., Mendes de Oliveira, O., da Silva, C. & de Oliveira. (2012). Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 8(14), 2121-2131.
- Pashanasi, B. (2001). Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana. *Folia Amazónica*, 12(2), 75-102.
- Peña-Venegas, C. & Vanegas, G. (2010). *Dinámica de los suelos amazónicos: Procesos de degradación y alternativas para su recuperación*. Instituto Sinchi, Bogotá, Colombia, 122 pp.
- Pérez, J., Valdés, E. & Ordaz, V. (2012). *Cobertura vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra*. Tierra Latinoamericana, Chapingo, México, 30, 249-259.
- Pérez, A., Galvis, A., Bugarín, R., Hernández, T., Vázquez, A. & Rodríguez, A. (2017). Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 171-177.
- Peters, M., Franco, L., Schmidt, A. & Hincapié, B. (2011). *Especies forrajeras multipropósito. Opciones para productores del Trópico Americano*. CIAT, Cali, Colombia, 212 pp.
- Pimentel, D., Harvey, P. Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, B. & Blair, R. (1995). *Environmental and Economic Costs of soil erosion and conservation benefits*. Science: Washington, 267, 117-1123.

- Porta, J., López-Acevedo, M. & Poch, R. (2008). *Introducción a la edafología: uso y protección del suelo*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa, 16(2), 289-293.
- PROECEN. (2000). *Caoba. Swietenia macrophylla G. King. Colección Maderas Tropicales de Honduras*. Ficha Técnica N°25. Proyecto Estudio de crecimiento de especies nativas de interés comercial en Honduras (PROECEN), Lantecilla, Honduras, 8 pp.
- Puertas, F., Arévalo, E., Zúñiga, L., et al. (2008). Establecimiento de cultivos de cobertura y extracción total de nutrientes en un suelo de trópico hiedo en la Amazonia Peruana. *Ecología Aplicada*, 7(1,2).
- Putzel, L., Cronkleton, P., Larson, A., Pinedo-Vásquez, M., Salazar, O. & Sears, R. (2013). *Producción y comercialización de bolaina (Guazuma crinita), una especie amazónica de rápido crecimiento*. CIFOR. Brief N°25, 6 pp.
- Raganathan, J., Ranjit, R., Subash, M., Ehrlich, P. & Daily, G. (2008). Sustaining biodiversity in ancient tropical countryside. *PNAS*. 105(46), 17852-17854. Recuperado de www.pnas.org.
- Ramírez, F. (2002). Variación de la capacidad tampón en suelos derivados de cenizas volcánicas del sur de Chile (tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, 104 pp.
- Ramos, A. & Domínguez, G. (2016). Selección de árboles de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) como candidatos a árboles “plus” para ensayos de rejuvenecimiento y brotación. *Ecología Aplicada*, 15(2), 115-123.

- Ramos, C. (2013). *Encalado en un sistema agroforestal (SAF) caoba (Swietenia macrophylla King.)-limón persa (Citrus latifolia T.) en un acrisol de la sabana de Huimanguillo, Tabasco* (Tesis de grado). Tabasco, México, 75 pp.
- Razuri, H. (2014). *Aplicación de coberturas vivas en la recuperación de suelos bajo sistemas agroforestales del CIPTALD - Tulumayo*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva, 99 pp.
- Rodríguez, F. (1995). *El recurso del suelo en la Amazonia Peruana, diagnóstico para su investigación (segunda aproximación)*. IIAP, Iquitos, Perú, 59 pp.
- Romero, S. (2006). *Aporte de biomasa y reciclaje de nutrientes en seis sistemas agroforestales de café (Coffea arabica var. Caturra), con tres niveles de manejo (tesis de posgrado)*. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 128 pp.
- Salamanca, A. & Sadeghian, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *CENICAFÉ*, 56(4), 381-397.
- Salazar, R. & Casasola, F. (2000). *Cuándo recolectar los frutos de Simarouba amara*. Revista Forestal Centroamericana N°30, 9-11.
- Sánchez-Sáenz, C., Menezes, Z., Eiji, E. & Salomão, N. (2010). Efecto de la cobertura en las propiedades del suelo y en la producción de frijol irrigado. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 13(2), 41-50.
- Sanclemente, O. (2009). *Efecto del cultivo de cobertura: Mucuna pruriens, en algunas propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo Typic*

- Haplustalfts, cultivado con maíz (Zea mays L.) en zona de ladera del Municipio de Palmira, Valle* (tesis de posgrado). Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia, 79 pp.
- Sawadogo, H. (2011). Using soil and water techniques to rehabilitate degraded lands in northwestern Burkina Faso. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9(1), 120-128.
- Sentís, I. (2010). *Problemas de degradación de suelos en el mundo: causas y consecuencias*. X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Congreso llevado a cabo en Quito, Ecuador. Recuperado de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/1.-Problemas-de-Degradacion.pdf>.
- Smith, J. & Schwartz, J. (2015). *La deforestación en el Perú. Cómo las comunidades indígenas, agencias gubernamentales, organizaciones sin fines de lucro y negocios trabajan juntos para detener la tala de los bosques*. WWF. Recuperado de http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/la_deforestacion_en_el_peru.pdf.
- Snowdon, P., Raison, J., Keith, H., Ritson, P., Grierson, P., Adams, M., Montagu, K., Hui-quan, B., Burrows, W. & Emaus, D. (2002). *Protocol for sampling tree and stand biomass*. National Carbon Accounting System. Technical Report N° 31. Australian Greenhouse Office, 76 pp.
- Tarrillo, F. (2011). *Leguminosas de cobertura y su efecto en el aporte de biomasa y macronutrientes en un suelo ácido. Tarapoto - San Martín* (tesis de

- pregrado). Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Iquitos, Perú, 100 pp.
- UNCCD. (2014). *La Tierra en cifras. Los medios de subsistencia en su punto de inflexión.* Recuperado de http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/Land_in_%20numbers_SP.pdf.
- Valdés, N., Pimentel, A., Pimentel, R. & Valido, M. (2015). Producción de materia orgánica. Prácticas campesinas innovadoras en Cuba. *Leisa. Revista de Agroecología.* (31.1),16-18.
- Vilcayauri, E. (2009). *Propiedades físico-mecánicas de Simarouba amara Aubl. (Marupá) proveniente de las plantaciones de la Estación Experimental Alexander Von Humboldt* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.inia.gob.pe>
- Villagaray, S. (2014). Recuperación de terrenos degradados por el cultivo de coca (*Erythroxylon coca*) en VRAEM, Perú, con aplicación de Tecnología Agroforestal. *Revista Acta Nova*, 6(3), 210-224.
- Villaquiran, M. & Lascano, C. (1986). Caracterización nutritiva de *Centrosema macrocarpum*, *Stylosanthes guianensis* "tardío", *Stylosanthes macrocephala* y *Zornia brasiliensis*. *Acta Agronómica*, 36 (4), 69-79.
- Villareyna, R. (2016). *Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la enología y fisiología de los cafetos.* Recuperado de <https://www.researchgate.net>.

- World Bank. (2015). *3.1 World Development Indicators: Rural environment and land use*. Recuperado de <http://wdi.worldbank.org/table/3.1>.
- Wunder, S., Wertz, S. & Moreno, R. (2007). Pago por servicios ambientales: una nueva forma de conservar la biodiversidad. *Gaceta Ecológica*. Distrito Federal, México, (84-85), 39-52.
- Young, A. (1990). *Agroforestry for soil conservation*. C A B International. International Council for Research in Agroforestry, 318 pp.
- Zavala, J., Palma, D., Fernández, C., López, A. y Shirma, E. (2011). *Degradación y conservación de suelos en la cuenca del Río Grijalva, Tabasco*. Colegio de Postgraduados, Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental y PEMEX. Villahermosa, Tabasco, México, 106 pp.
- Zavaleta, E., Cruz-Jiménez, H. & Márquez, J. (2012). Potencial de infiltración de agua a partir de la retención de una plantación forestal. *Foresta Veracruzana*, 14, 23-28.
- Zubillaga, M. & Conti, M. (1996). Availability of exchangeable and nonexchangeable K in Argentine soils with different mineralogies. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 159, 149-153.

XII. ABREVIATURAS

CC: Cambio climático

FAO: Food and Agricultural Organization

GEI: Gases de efecto invernadero

PBI: Producto bruto interno

SAF: Sistemas agroforestales

UNCCD: United Nations Convention to Combat Desertification

VRAEM: Valle de los ríos Apurímac, Ene y Mantaro

XIII. ANEXOS

Anexo 1. Caracterización de los suelos

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION																					
Solicitante :		PR OY E C T O V L I R																			
Departamento :		LO R E T O														Provincia :		ALTO AMAZONAS			
Distrito :		YU R I M A G U A S																			
Referencia :		H.R. . 645 48- 116 C- 18										Fact.: Pendiente				Fecha :		17/08/18			
Número de Muestra		C.E.		Análisis Mecánico							CIC	Cationes Cambiables					Suma	Suma	%		
Lab	Claves	pH	(1:1)	CaCO ₃	M.O.	P	K	Are na	Limo	Arcil la		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	de	de	Sat.		
		(1:1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	%	%	%		meq/100g					cationes	Bas es	Bas es		
10051	SCA1, 0-15cm	3.59	0.12	0.00	2.01	4.3	56	60	24	16	4.80	0.86	0.10	0.16	0.09	2.60	3.81	1.21	25		
10052	SCA1, 15-30cm	3.77	0.05	0.00	0.78	1.1	39	50	30	20	6.40	0.69	0.08	0.11	0.08	2.80	3.76	0.96	15		
10053	SCA2, 0-15cm	3.98	0.06	0.00	1.01	2.7	57	58	24	18	6.40	0.85	0.15	0.18	0.09	2.40	3.67	1.27	20		
10054	SCA2, 15-30cm	4.02	0.04	0.00	0.78	2.4	50	64	24	12	4.80	0.66	0.08	0.15	0.09	2.50	3.48	0.98	20		
10055	SCA3, 0-15cm	4.20	0.14	0.00	2.13	3.7	65	62	26	12	5.60	1.98	0.32	0.20	0.09	0.45	3.03	2.58	46		
10056	SCA3, 15-30cm	4.16	0.05	0.00	1.10	1.7	48	54	32	14	5.60	1.61	0.17	0.14	0.10	1.95	3.96	2.01	36		
10057	SCB1, 0-15cm	3.60	0.12	0.00	2.25	2.3	242	50	32	18	4.48	0.92	0.28	0.64	0.10	5.85	7.79	1.94	43		
10058	SCB1, 15-30cm	3.69	0.04	0.00	1.10	1.9	130	48	26	26	4.00	0.67	0.12	0.39	0.10	6.95	8.22	1.27	32		
10059	SCB2, 0-15cm	3.69	0.14	0.00	1.79	3.9	169	38	32	30	4.16	0.98	0.30	0.49	0.22	5.95	7.94	1.99	48		
10060	SCB2, 15-30cm	3.77	0.07	0.00	1.10	2.0	108	36	32	32	8.00	0.75	0.17	0.31	0.09	7.30	8.61	1.31	16		
10061	SCB3, 0-15cm	3.82	0.08	0.00	2.25	2.7	163	50	26	24	7.04	1.63	0.40	0.45	0.10	6.40	8.97	2.57	37		
10062	SCB3, 15-30cm	3.77	0.04	0.00	1.20	1.0	66	42	28	30	5.44	0.78	0.13	0.21	0.11	7.85	9.08	1.23	23		
10063	SCC1, 0-15cm	4.03	0.11	0.00	2.00	5.8	48	66	24	10	4.16	1.42	0.15	0.13	0.09	0.80	2.59	1.79	43		
10064	SCC1, 15-30cm	3.90	0.05	0.00	0.74	1.7	43	56	32	12	2.56	1.09	0.08	0.09	0.10	1.50	2.86	1.36	53		
10065	SCC2, 0-15cm	3.95	0.11	0.00	1.80	2.5	52	54	28	18	3.52	1.21	0.23	0.14	0.09	2.60	4.27	1.67	48		
10066	SCC2, 15-30cm	4.00	0.04	0.00	0.94	2.1	42	56	26	18	4.48	0.93	0.13	0.10	0.08	3.95	5.19	1.24	28		
10067	SCC3, 0-15cm	3.82	0.04	0.00	0.97	2.7	22	68	22	10	2.56	0.71	0.08	0.06	0.07	1.20	2.12	0.92	36		

10068	SCC3, 15-30cm	3.73	0.06	0.00	0.60	1.6	41	54	28	18	3.20	0.88	0.10	0.12	0.08	2.80	3.98	1.18	37
10069	SC1, 0-15cm	4.20	0.15	0.00	1.69	3.7	102	68	24	8	2.40	1.10	0.20	0.25	0.09	0.30	1.93	1.63	68
10070	SC1, 15-30cm	4.16	0.03	0.00	0.60	1.4	44	60	22	18	2.88	0.98	0.12	0.13	0.09	1.10	2.41	1.31	46
10071	SC2, 0-15cm	4.16	0.13	0.00	1.67	3.5	63	66	26	8	4.00	1.21	0.20	0.16	0.09	0.40	2.06	1.66	42
10072	SC2, 15-30cm	4.00	0.04	0.00	0.64	1.6	37	56	26	18	3.52	0.92	0.10	0.11	0.10	2.00	3.22	1.22	35
10073	SC3, 0-15cm	4.55	0.09	0.00	2.07	2.9	141	68	24	8	3.52	1.83	0.58	0.39	0.10	0.20	3.10	2.90	82
10074	SC3, 15-30cm	4.12	0.04	0.00	0.64	1.7	86	60	22	18	2.88	1.07	0.17	0.25	0.09	1.75	3.32	1.57	55
10027	SRA1, 0-15cm	4.59	0.13	0.00	2.22	3.8	37	70	18	12	4.16	1.69	0.30	0.12	0.14	0.30	2.55	2.25	54
10028	SRA1, 15-30cm	4.07	0.05	0.00	0.92	2.1	25	62	18	20	4.80	1.20	0.12	0.14	0.10	1.50	3.06	1.56	33
10029	SRA2, 0-15cm	4.76	0.12	0.00	1.97	3.8	29	76	16	8	4.00	1.68	0.15	0.09	0.10	0.20	2.22	2.02	51
10030	SRA2, 15-30cm	4.42	0.07	0.00	1.32	2.8	26	68	18	14	4.48	1.58	0.10	0.09	0.15	0.25	2.17	1.92	43
10031	SRA3, 0-15cm	4.46	0.09	0.00	1.44	5.3	28	76	18	6	3.20	1.31	0.13	0.08	0.10	0.10	1.72	1.62	51
10032	SRA3, 15-30cm	4.33	0.03	0.00	0.41	2.4	21	68	22	10	3.20	1.08	0.10	0.08	0.13	0.55	1.94	1.39	43
10033	SRB1, 0-15cm	4.89	0.12	0.00	2.85	3.0	52	70	20	10	6.40	4.19	0.45	0.13	0.11	0.20	5.09	4.89	76
10034	SRB1, 15-30cm	4.72	0.04	0.00	0.94	1.3	34	58	24	18	6.72	3.88	0.57	0.12	0.13	0.40	5.10	4.70	70
10035	SRB2, 0-15cm	5.19	0.22	0.00	4.28	5.0	121	54	28	18	10.7 2	7.32	1.63	0.35	0.15	0.15	9.60	9.45	88
10036	SRB2, 15-30cm	4.50	0.02	0.00	1.29	1.0	121	46	22	32	12.3 2	4.11	0.87	0.37	0.12	3.05	8.52	5.47	44
10037	SRB3, 0-15cm	4.37	0.09	0.00	2.07	3.5	29	72	20	8	5.60	1.39	0.17	0.11	0.15	0.35	2.16	1.81	32
10038	SRB3, 15-30cm	4.20	0.04	0.00	0.87	1.7	24	62	20	18	4.00	1.08	0.10	0.06	0.07	0.60	1.91	1.31	33
10039	SRC1, 0-15cm	4.16	0.09	0.00	1.57	5.0	27	78	16	6	2.88	0.78	0.08	0.08	0.10	0.35	1.39	1.04	36
10040	SRC1, 15-30cm	4.07	0.02	0.00	0.46	1.1	21	62	20	18	2.72	0.74	0.08	0.06	0.16	0.55	1.59	1.04	38
10041	SRC2, 0-15cm	4.36	0.11	0.00	2.07	4.0	36	74	16	10	4.16	1.05	0.12	0.12	0.14	0.40	1.82	1.42	34
10042	SRC2, 15-30cm	3.98	0.03	0.00	0.60	1.6	21	68	14	18	3.20	0.82	0.08	0.07	0.14	0.50	1.61	1.11	35
10043	SRC3, 0-15cm	4.11	0.03	0.00	0.55	1.5	21	64	18	18	2.88	0.78	0.08	0.06	0.11	0.90	1.94	1.04	36
10044	SRC3, 15-30cm	4.20	0.06	0.00	1.55	3.8	32	76	16	8	3.20	0.84	0.10	0.10	0.15	0.35	1.54	1.19	37
10045	SR1, 0-15cm	4.59	0.05	0.00	2.03	5.9	38	76	16	8	3.52	1.46	0.12	0.09	0.11	0.25	2.03	1.78	51
10046	SR1, 15-30cm	4.41	0.02	0.00	0.55	1.3	22	62	20	18	3.84	1.18	0.10	0.07	0.10	0.40	1.84	1.44	38
10047	SR2, 0-15cm	4.46	0.05	0.00	1.86	12.2	29	76	18	6	3.68	1.12	0.10	0.08	0.09	0.30	1.69	1.39	38
10048	SR2, 15-30cm	4.50	0.02	0.00	0.69	2.5	19	72	16	12	3.52	1.08	0.10	0.06	0.10	0.25	1.59	1.34	38
10049	SR3, 0-15cm	4.54	0.05	0.00	2.28	3.4	28	76	20	4	3.52	1.51	0.13	0.09	0.10	0.25	2.08	1.83	52
10050	SR3, 15-30cm	4.28	0.02	0.00	0.55	1.4	24	66	16	18	2.72	1.02	0.10	0.06	0.08	0.60	1.85	1.25	46
10003	SWA1, 0-15cm	4.67	0.12	0.00	1.15	3.5	36	82	12	6	4.16	1.36	0.25	0.13	0.20	0.20	2.14	1.94	47
10004	SWA1, 15-30cm	4.20	0.03	0.00	0.74	2.1	22	66	16	18	3.20	1.07	0.13	0.08	0.45	0.80	2.54	1.74	54
10005	SWA2, 0-15cm	4.16	0.08	0.00	1.63	4.0	22	78	18	4	3.52	1.14	0.15	0.10	0.24	0.50	2.13	1.63	46
10006	SWA2, 15-30cm	4.33	0.04	0.00	0.74	2.1	21	82	12	6	2.72	0.95	0.10	0.08	0.12	0.80	2.05	1.25	46

10007	SWA3, 0-15cm	4.50	0.07	0.00	1.38	3.0	28	62	20	18	2.56	1.33	0.18	0.08	0.13	0.15	1.88	1.73	67
10008	SWA3, 15-30cm	4.29	0.03	0.00	0.55	1.7	21	62	20	18	2.88	0.86	0.10	0.06	0.09	0.85	1.96	1.11	38
10009	SWB1, 0-15cm	4.97	0.09	0.00	2.16	3.5	32	80	14	6	4.00	2.18	0.38	0.09	0.08	0.20	2.93	2.73	68
10010	SWB1, 15-30cm	4.46	0.05	0.00	1.10	2.8	23	62	20	18	2.72	1.18	0.18	0.08	0.10	0.70	2.24	1.54	57
10011	SWB2, 0-15cm	4.20	0.11	0.00	1.69	3.6	32	72	22	6	2.88	1.06	0.12	0.10	0.11	0.40	1.79	1.39	48
10012	SWB2, 15-30cm	4.16	0.05	0.00	1.01	2.2	22	66	18	16	2.88	0.87	0.08	0.09	0.13	0.80	1.97	1.17	41
10013	SWB3, 0-15m	4.21	0.10	0.00	1.93	5.3	39	78	16	6	3.52	0.90	0.13	0.12	0.11	0.60	1.87	1.27	36
10014	SWB3, 15-30cm	4.07	0.04	0.00	1.10	3.1	24	64	18	18	2.88	0.76	0.10	0.08	0.10	1.25	2.28	1.03	36
10015	SWC1, 0-15cm	3.90	0.10	0.00	1.76	3.5	27	72	20	8	3.20	0.80	0.10	0.10	0.10	0.90	2.00	1.10	34
10016	SWC1, 15-30cm	3.94	0.03	0.00	0.74	2.4	20	62	20	18	2.56	0.61	0.08	0.10	0.50	1.20	2.49	1.29	50
10017	SWC2, 0-15cm	4.20	0.09	0.00	0.82	3.3	38	74	18	8	2.88	0.85	0.13	1.30	0.11	0.35	2.75	2.40	83
10018	SWC2, 15-30cm	3.90	0.03	0.00	0.60	1.4	37	62	20	18	3.20	0.64	0.10	0.08	0.08	0.20	1.10	0.90	28
10019	SWC3, 0-15cm	3.98	0.10	0.00	1.44	4.4	40	70	16	14	2.88	0.94	0.17	0.13	0.21	0.90	2.35	1.45	50
10020	SWC3, 15-30cm	4.03	0.03	0.00	0.92	2.5	30	62	20	18	2.88	0.65	0.10	0.10	0.15	1.60	2.60	1.00	35
10021	SW1, 0-15cm	3.85	0.07	0.00	1.32	6.3	25	76	14	10	2.72	0.65	0.08	0.08	0.13	0.65	1.60	0.95	35
10022	SW1, 15-30cm	4.11	0.03	0.00	0.60	2.4	16	68	22	10	3.52	0.57	0.08	0.06	0.11	0.75	1.57	0.82	23
10023	SW2, 0-15cm	3.98	0.10	0.00	1.80	3.4	25	76	16	8	3.52	0.85	0.10	0.08	0.15	0.70	1.88	1.18	34
10024	SW2, 15-30cm	3.73	0.13	0.00	1.43	2.9	54	60	30	10	3.20	0.93	0.13	0.16	0.12	1.80	3.14	1.34	42
10025	SW3, 0-15cm	4.03	0.07	0.00	1.68	2.1	33	72	20	8	4.00	0.75	0.08	0.10	0.12	1.00	2.05	1.05	26
10026	SW3, 15-30cm	4.00	0.04	0.00	1.01	2.6	21	68	22	10	3.20	0.58	0.08	0.09	0.10	1.05	1.91	0.86	27

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso;

Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

*Dr. Sady García Bendejú
Jefe del Laboratorio*

Anexo 2. Resultados de densidad aparente (Da) y humedad disponible (Hd) del suelo.

Códigos	Profundidad (cm)	Bloque	Tratamiento	Da	Hd
DaCA1	0 - 15	1	1	1.36	20.04
DaCA2	0 - 15	1	1	1.58	19.11
DaCA3	0 - 15	1	1	1.68	14.02
DaCB1	0 - 15	1	2	1.37	21.68
DaCB2	0 - 15	1	2	1.49	20.08
DaCB3	0 - 15	1	2	0.98	26.63
DaCC1	0 - 15	1	3	1.57	18.76
DaCC2	0 - 15	1	3	1.68	21.95
DaCC3	0 - 15	1	3	1.62	17.88
DaC1	0 - 15	1	4	1.61	19.49
DaC2	0 - 15	1	4	1.73	18.93
DaC3	0 - 15	1	4	1.60	11.99
DaRA1	0 - 15	2	1	1.60	25.50
DaRA2	0 - 15	2	1	1.61	19.53
DaRA3	0 - 15	2	1	1.63	15.41
DaRB1	0 - 15	2	2	1.47	16.65
DaRB2	0 - 15	2	2	1.40	25.64
DaRB3	0 - 15	2	2	1.46	20.72
DaRC1	0 - 15	2	3	1.54	18.97
DaRC2	0 - 15	2	3	1.65	16.76
DaRC3	0 - 15	2	3	1.52	14.42
DaR1	0 - 15	2	4	1.69	15.87
DaR2	0 - 15	2	4	1.39	19.29
DaR3	0 - 15	2	4	1.56	13.72
DaWA1	0 - 15	3	1	1.60	13.41
DaWA2	0 - 15	3	1	1.47	13.56
DaWA3	0 - 15	3	1	1.69	11.30
DaWB1	0 - 15	3	2	1.51	13.18
DaWB2	0 - 15	3	2	1.42	11.60
DaWB3	0 - 15	3	2	1.38	15.17
DaWC1	0 - 15	3	3	1.54	21.59
DaWC2	0 - 15	3	3	1.59	22.30
DaWC3	0 - 15	3	3	1.49	19.72
DaW1	0 - 15	3	4	1.67	13.87
DaW2	0 - 15	3	4	1.67	15.93
DaW3	0 - 15	3	4	1.65	17.57

DaCA1	15 - 30	1	1	1.52	21.27
DaCA2	15 - 30	1	1	1.56	20.82
DaCA3	15 - 30	1	1	1.68	17.74
DaCB1	15 - 30	1	2	1.45	22.08
DaCB2	15 - 30	1	2	1.48	25.06
DaCB3	15 - 30	1	2	1.08	22.12
DaCC1	15 - 30	1	3	1.77	18.10
DaCC2	15 - 30	1	3	1.58	23.30
DaCC3	15 - 30	1	3	1.74	18.38
DaC1	15 - 30	1	4	1.76	17.18
DaC2	15 - 30	1	4	1.79	18.23
DaC3	15 - 30	1	4	1.75	15.26
DaRA1	15 - 30	2	1	1.62	22.37
DaRA2	15 - 30	2	1	1.70	17.13
DaRA3	15 - 30	2	1	1.82	14.61
DaRB1	15 - 30	2	2	1.60	18.35
DaRB2	15 - 30	2	2	1.41	30.63
DaRB3	15 - 30	2	2	1.60	19.37
DaRC1	15 - 30	2	3	1.70	17.69
DaRC2	15 - 30	2	3	1.74	16.96
DaRC3	15 - 30	2	3	1.75	15.22
DaR1	15 - 30	2	4	1.71	18.05
DaR2	15 - 30	2	4	1.76	17.90
DaR3	15 - 30	2	4	1.52	17.81
DaWA1	15 - 30	3	1	1.69	17.66
DaWA2	15 - 30	3	1	1.23	16.85
DaWA3	15 - 30	3	1	1.77	15.72
DaWB1	15 - 30	3	2	1.61	18.52
DaWB2	15 - 30	3	2	1.48	15.32
DaWB3	15 - 30	3	2	1.56	19.88
DaWC1	15 - 30	3	3	1.69	17.55
DaWC2	15 - 30	3	3	1.66	19.72
DaWC3	15 - 30	3	3	1.46	19.63
DaW1	15 - 30	3	4	1.62	17.04
DaW2	15 - 30	3	4	1.59	16.70
DaW3	15 - 30	3	4	1.66	15.75

Anexo 3. Resultados de biomasa y materia seca en t/ha

Código	Bloque	Tratamiento	N %	Biomasa (t/ha)	Materia seca (t/ha)
BCA1	1	1	3.08	40500.00	15759.07
BCA2	1	1	2.74	43250.00	15848.26
BCA3	1	1	2.63	53500.00	20378.57
BCB1	1	2	2.83	36000.00	14827.10
BCB2	1	2	2.74	41500.00	16555.15
BCB3	1	2	2.44	32500.00	13515.95
BCC1	1	3	2.58	41500.00	13299.71
BCC2	1	3	2.91	47500.00	11769.15
BCC3	1	3	3.08	44500.00	12460.63
BC1	1	4	2.38	43000.00	15483.47
BC2	1	4	1.88	35500.00	14232.31
BC3	1	4	2.83	30000.00	9003.04
BRA1	2	1	2.10	33250.00	11724.56
BRA2	2	1	2.77	62030.00	20625.11
BRA3	2	1	3.00	47280.00	13600.11
BRB1	2	2	2.69	38280.00	13784.23
BRB2	2	2	2.83	34030.00	10245.63
BRB3	2	2	2.46	36030.00	14390.47
BRC1	2	3	2.18	32780.00	16957.25
BRC2	2	3	2.52	32030.00	14556.02
BRC3	2	3	2.94	41530.00	14731.61
BR1	2	4	1.40	9780.00	3861.20
BR2	2	4	1.12	12030.00	5715.87
BR3	2	4	1.57	23530.00	10343.87
BWA1	3	1	2.41	57044.00	21024.80
BWA2	3	1	2.44	45044.00	15335.24
BWA3	3	1	2.63	42794.00	15910.26
BWB1	3	2	2.52	38544.00	12199.67
BWB2	3	2	2.77	43544.00	15892.26
BWB3	3	2	2.35	30544.00	11420.93
BWC1	3	3	2.97	54544.00	18824.06
BWC2	3	3	2.02	56044.00	16874.85
BWC3	3	3	3.08	41294.00	14069.25
BW1	3	4	1.48	5557.00	3541.21
BW2	3	4	1.51	12557.00	8141.25
BW3	3	4	1.54	8057.00	5213.59

Anexo 4. Resistencia mecánica del suelo

Profundidad (cm)	Tratamiento	Bloque	Resistencia Mecánica
5	1	1	2.17
	1	2	1.00
	1	3	0.08
	2	1	0.75
	2	2	0.83
	2	3	0.83
	3	1	0.33
	3	2	1.08
	3	3	0.92
	4	1	0.58
	4	2	1.50
	4	3	1.25
10	1	1	2.25
	1	2	1.50
	1	3	2.25
	2	1	2.00
	2	2	1.92
	2	3	2.67
	3	1	2.00
	3	2	1.33
	3	3	2.00
	4	1	1.17
	4	2	1.75
	4	3	1.75
15	1	1	2.50
	1	2	1.42
	1	3	1.83
	2	1	2.00
	2	2	1.92
	2	3	2.67
	3	1	2.00
	3	2	1.33
	3	3	2.00
	4	1	1.17
	4	2	1.75
	4	3	1.75
20	1	1	2.42
	1	2	1.75
	1	3	2.00
	2	1	1.83
	2	2	2.25
	2	3	2.42
	3	1	1.33
	3	2	2.00
	3	3	1.67
	4	1	1.17
	4	2	1.33

	4	3	2.17
--	---	---	------

Anexo 5. Panel fotográfico



A. Vista de *Centrosema macrocarpum* en campo.



B. Paisaje degradado, sin cobertura arbórea



C. Evaluación de la resistencia mecánica del suelo.



D. Muestras de suelo a ser enviadas a laboratorio para caracterización química, debidamente rotuladas.