



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

**“CAMBIOS EN LA CALIDAD DEL SUELO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL COMPARADO CON
UN PASTIZAL EN MADRE DE DIOS”**

Tesis para optar al Título Profesional de:

INGENIERO AGROFORESTAL

Presentado por:

Talia Maria Schwartzmann Roggero

Asesor:

PhD Julio Alegre Orihuela

Lima – Perú

2019

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 24 de julio de 2019.

Los integrantes del Jurado de Tesis:

Presidente: Dr. Jorge Leonardo Jave Nakayo
Miembro: MSc. Javier Francisco Alvarado Llerena
Miembro: Ing. Luis Paul Quirós Rossi

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

“CAMBIOS EN LA CALIDAD DEL SUELO EN UN SISTEMA AGROFORESTAL COMPARADO CON UN PASTIZAL EN MADRE DE DIOS”

Presentada por la tesista:

- **TALIA MARIA SCHWARTZMANN ROGGERO**

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:

TALIA MARIA SCHWARTZMANN ROGGERO			Nota (escrito): <i>Dieciséis</i>
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena ()	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

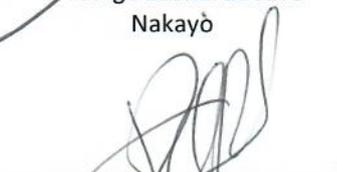
Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Presidente del Jurado
Dr. Jorge Leonardo Jave
Nakayo



Miembro del Jurado
MSc. Javier Francisco
Alvarado Llerena



Miembro del Jurado
Ing. Luis Paul Quirós Rossi



Asesor
Dr. Julio César Alegre
Orihuela

Dedicatoria

Para mi familia por el gran apoyo que me dieron siempre, para mis profesores que me permitieron descubrir todo lo que nos da la naturaleza para aprender a manejarla, cuidarla y respetarla, y a mis compañeros por compartir este hermoso proceso conmigo.

Agradecimientos

Agradezco de todo corazón por el apoyo brindado en todas las etapas de la investigación a mi asesor Julio Alegre y a Inkaterra Asociación por darme la gran oportunidad de investigar con ellos y para ellos.

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
3. MARCO TEÓRICO	15
3.1 SISTEMAS DE USO DEL SUELO	15
3.1.1 SISTEMA AGROFORESTAL.....	15
3.1.2 PASTIZAL.....	16
3.2 SUELO.....	16
3.2.1 CALIDAD DEL SUELO.....	16
3.2.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.....	17
3.2.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO.....	20
3.2.1.3 PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO.....	23
3.2.2 DEGRADACIÓN DEL SUELO.....	23
3.3 DEFORESTACIÓN.....	24
3.4 MADRE DE DIOS.....	25
3.4.1 CONCESIÓN RESERVA AMAZÓNICA – INKATERRA ASOCIACIÓN	26
4. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	28
5. METODOLOGÍA.....	29
5.1 MÉTODO	29
5.2 ZONA DE ESTUDIO	29
5.3 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	31
5.3.1 ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS.....	31
5.3.2 TOMA DE MUESTRAS	35
5.3.3 EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES.....	37
5.3.3.1 SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	37
5.3.3.2 CALIDAD DEL SUELO	40
5.3.3.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	40
5.3.3.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO	44
5.3.3.2.3 PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO	49
5.3.4 PROCESAMIENTO DE MUESTRAS.....	50
5.4 MATERIALES	51
6. RESULTADOS.....	52
6.1 ESTADÍSTICA.....	52
6.1.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	52
6.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO.....	53
6.1.3 PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO	54
6.2 CALIDAD DEL SUELO	56
6.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	56
6.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO.....	63
6.2.3 PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO	71
7. DISCUSIÓN.....	74
8. CONCLUSIONES.....	78
9. RECOMENDACIONES	80
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
11. ABREVIATURAS	87
12. ANEXOS.....	88

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. UBICACIÓN GEOREFERENCIADA DE LAS PARCELAS DE MUESTREO	34
TABLA 2. ESPECIES VEGETALES PRESENTES EN EL SISTEMA AGROFORESTAL.	37
TABLA 3. CLASIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DEL SUELO	41
TABLA 4. RESISTENCIA MECÁNICA DEL SUELO	44
TABLA 5. CLASIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (Cic)	45
TABLA 6. CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)	46
TABLA 7. CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)	46
TABLA 8. CLASIFICACIÓN DEL PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO.....	47
TABLA 9. CLASIFICACIÓN DEL FÓSFORO DISPONIBLE EN EL SUELO.....	48
TABLA 10. CLASIFICACIÓN DEL POTASIO DISPONIBLE EN EL SUELO	48
TABLA 11. CLASIFICACIÓN DEL PORCENTAJE DE LA SATURACIÓN DE BASES.....	48
TABLA 12. RESUMEN DE PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	52
TABLA 13. RESUMEN DEL PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO	53
TABLA 14. PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO	55

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE INKATERRA GUIDES FIELD STATION.....	27
FIGURA 2. ZONA DE ESTUDIO.....	30
FIGURA 3. TEMPERATURA Y LLUVIA DE PUERTO MALDONADO AÑO 2018.	31
FIGURA 4. ZONA DEL SISTEMA AGROFORESTAL.....	31
FIGURA 5. ZONA DEL PASTIZAL.....	31
FIGURA 6. SISTEMA AGROFORESTAL - CHACRA GAMITANA.....	32
FIGURA 7. PASTIZAL DEL SEÑOR AMILCAR HERRERA.....	32
FIGURA 8. ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS DE MUESTREO.....	33
FIGURA 9. ESTABLECIMIENTO DE PARCELA DE MUESTREO EN SISTEMA AGROFORESTAL.....	33
FIGURA 10. ESTABLECIMIENTO DE PARCELA DE MUESTREO EN PASTIZAL.....	33
FIGURA 11. GPS GARMIN 64S, CINTA MÉTRICA CON CINTILLO ROJO.....	34
FIGURA 12. DIVISIÓN DE PARCELAS EN SUB PARCELAS.....	35
FIGURA 13. SELECCIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO.....	35
FIGURA 14. CALICATA EN SISTEMA AGROFORESTAL.....	36
FIGURA 15. CALICATA EN PASTIZAL.....	36
FIGURA 16. SUELO RETIRADO DE LA CALICATA DISPUESTO EN PLÁSTICO CLARO.....	36
FIGURA 17. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL SUELO.....	44
FIGURA 18. CANTIDAD DE SUELO SEGÚN LA GRANULOMETRÍA EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	56
FIGURA 19. CLASIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE AGREGADOS POR PUNTOS DE MUESTREO EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	57
FIGURA 20. PORCENTAJE DE TEXTURAS PRESENTES EN EL SUELO EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	58
FIGURA 21. PORCENTAJE DE POROSIDAD MEDIA DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	59
FIGURA 22. DENSIDAD APARENTE MEDIA DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	59
FIGURA 23. RESISTENCIA MECÁNICA DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	60
FIGURA 24. TEMPERATURA MEDIA DEL SUELO EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	61
FIGURA 25. PORCENTAJE MEDIO DE HUMEDAD GRAVIMÉTRICA (HG) EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	62
FIGURA 26. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC) MEDIO DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	63
FIGURA 27. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH) MEDIO DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	64
FIGURA 28. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE) MEDIA DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	64
FIGURA 29. PORCENTAJE MEDIO DE MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO (MOS) EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO ...	65
FIGURA 30. CANTIDAD MEDIA DE FÓSFORO (P) EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	66
FIGURA 31. CANTIDAD MEDIA DE POTASIO (K) EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	66
FIGURA 32. CANTIDAD MEDIA DE Ca^{+2} EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	67
FIGURA 33. CANTIDAD MEDIA DE Mg^{+2} EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	67
FIGURA 34. CANTIDAD MEDIA DE K^{+} EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	68
FIGURA 35. CANTIDAD MEDIA DE Na^{+} EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	68
FIGURA 36. CANTIDAD MEDIA DE $Al^{+3} + H^{+}$ EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	69
FIGURA 37. MEDIA DE SUMA DE CATIONES EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	69
FIGURA 38. MEDIA DE SUMA DE BASES EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	70
FIGURA 39. MEDIA DE SATURACIÓN DE BASES EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	70
FIGURA 40. SISTEMA AGROFORESTAL – GRUPOS TAXONÓMICOS PRESENTES EN MUESTRAS DE SUELO.....	71
FIGURA 41. SISTEMA AGROFORESTAL – FAMILIAS PRESENTES DENTRO DEL ORDEN COLEOPTERA.....	72
FIGURA 42. PASTIZAL – GRUPOS TAXONÓMICOS PRESENTES EN MUESTRAS DE SUELO.....	72
FIGURA 43. MACROFAUNA PRESENTE EN MUESTRAS DE SUELO EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO.....	73

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADOS DE PROPIEDADES QUÍMICAS DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO	88
ANEXO 2. RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE	89
ANEXO 3. RESULTADOS DE POROSIDAD.....	90
ANEXO 4. RESULTADOS DE HUMEDAD GRAVIMÉTRICA	91
ANEXO 5. RESULTADOS ESTABILIDAD DE AGREGADOS	92
ANEXO 6. RESULTADOS TEMPERATURA DEL SUELO	93
ANEXO 7. RESULTADOS RESISTENCIA MECÁNICA	94
ANEXO 8. RESULTADOS DE LA TEXTURA DEL SUELO.....	95
ANEXO 9. FIGURA DE LA PÉRDIDA DE LA COBERTURA VEGETAL EN MADRE DE DIOS ENTRE LOS AÑOS 2011 Y 2018.	95
ANEXO 10. TABLA DE PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	96
ANEXO 11. TABLA DE PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO	97

Resumen

La presente investigación se llevó a cabo en terrenos pertenecientes y anexados a Inkaterra Asociación, en el departamento de Madre de Dios, con la finalidad de medir los cambios en la calidad del suelo por efecto de la recuperación de estas tierras mediante el establecimiento de un sistema agroforestal con múltiples especies maderables y no maderables de diez años, donde se buscó cuantificar las propiedades químicas, físicas y biológicas para compararlo con un sistema de pastos degradados a base de *Brachiaria sp* y mostrar si es que existen diferencias significativas. Para esto se realizaron medidas de las propiedades físicas, químicas y biológicas en el campo y se tomaron muestras para analizarlas en el laboratorio. Las áreas de muestreo fueron parcelas de 90 metros por 30 metros para cada uno de los dos sistemas de uso del suelo y se tomaron 12 puntos de muestreo. Los resultados mostraron que el sistema agroforestal (SAF) mejoró las propiedades químicas del suelo comparado con el pastizal que mostró mayor pH que en el SAF, donde fue ligeramente ácido mientras que el pastizal fue extremadamente ácido debido a la menor cobertura y el sobrepastoreo. Debido a esto, los suelos están más expuestos a los factores climáticos como las lluvias que afectan la humedad del suelo y lavan las bases dejando espacios para que el hidrógeno aumente y así aumente la acidez, esto se corroboró por la menor cantidad de calcio, magnesio y potasio.

En el SAF la estabilidad de agregados fue mayor que el pastizal, que se manifestó en un mayor porcentaje de agregados de menor diámetro que son los que dan mayor estabilidad estructural y demuestran que el suelo no está siendo usado intensivamente. Las diferencias con las evaluaciones de otras propiedades físicas del suelo como densidad aparente y resistencia mecánica no fueron significativas y se puede deber a la gran variabilidad de estas medidas y los cambios de humedad por las lluvias intensas.

Sumado a este mejoramiento de las propiedades físicas y químicas en el SAF, la macrofauna del suelo fue mucho mayor en los SAF por la mayor cantidad de individuos evaluados ya que es un sistema manejado con diversidad de especies forestales maderables y no maderables en forma racional con mucho reciclaje de hojarasca y cobertura del suelo el cual recupera los suelos.

Así se comprobó la hipótesis alternativa, la cual asegura que los sistemas agroforestales mejoran algunos componentes de la calidad del suelo comparado con aquellos suelos degradados por los pastizales.

Abstract

The present investigation was carried out in lands belonging to and annexed to the Inkaterra Association, in the department of Madre de Dios, with the purpose of measuring the changes in soil quality due to the recovery of these lands through the establishment of an agroforestry system with multiple ten-year-old timber and non-timber species and where we sought to quantify the chemical, physical and biological properties to compare it with a system of degraded grasses based on *Brachiaria sp.* and show if there are significant differences. For this, measurements of the physical, chemical and biological properties were made in the field and samples were taken to analyze them in the laboratory. The sampling areas were plots of 90 meters by 30 meters for each of the two soil use systems and 12 sampling points were taken. The results showed that the agroforestry system (AFS) improved the chemical properties of the soil compared to the pasture that showed a higher pH, than in the AFS that was slightly acidic, while the pasture was extremely acidic due to the lower coverage and overgrazing. Due to this, soils are more exposed to climatic factors such as rainfall that affect soil moisture and wash the bases, leaving spaces for hydrogen to increase and thus increasing acidity. This was corroborated by the lower amount of calcium, magnesium and potassium.

In the AFS, the stability of aggregates was greater than the pasture that was demonstrated by a greater percentage of aggregates of smaller diameter that give greater structural stability and show that the soil is not being used intensively. The differences with the evaluations of other physical properties of the soil such as bulk density and mechanical resistance were not significant and may be due to the great variability of these measurements and the changes of humidity due to heavy rains.

In addition to this improvement of the physical and chemical properties of the AFS, the soil macro fauna was much higher in the AFS because of the greater number of individuals

evaluated since it is a system managed with a diversity of timber and non-timber forest species in a rational manner with a lot of recycling of litter and soil cover which recuperates the soil. This proved the alternative hypothesis, which ensures that agroforestry systems improve some components of soil quality compared to those soils degraded by pastures.

1. Introducción

“A nivel mundial, la ganadería representa el 40% del producto interno bruto agrícola y además genera empleo para mil trescientos millones de personas y medios de subsistencia para mil millones de pobres en todo el mundo” (FAO, 2009). Además, a nivel nacional, la ganadería representa el sustento económico de muchas familias que son parte de la llamada “agricultura migratoria”, los cuales migran a la Amazonía para buscar nuevos terrenos para desarrollar actividades agropecuarias, sin considerar los impactos medio ambientales que esto significa por consecuencia de la deforestación (WWF, 2015).

Por lo antes mencionado, sólo entre el año 2001 y el 2015, se han perdido 1.8 millones de hectáreas de bosques amazónicos y entre enero y julio del año 2017 se han deforestado 15 mil hectáreas (MAAP, 2017). Lo que tiene como consecuencias directas la degradación de los bosques, degradación del suelo, pérdida de biodiversidad, desequilibrio hídrico, emisión de gases de efecto invernadero, entre otros (WWF, 2015). Además, un informe presentado en cooperación del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre afirma que los principales impulsores de la deforestación en la Amazonía peruana son la agricultura y la ganadería siendo ésta representada por el 90% del total de impulsores de deforestación (SERFOR et al, 2015).

Debido a este panorama, a nivel mundial se promueven los sistemas agroforestales ya que contribuyen a la seguridad alimentaria y nutricional, sostienen económicamente a muchas familias, reducen la pobreza y promueve ambientes productivos sostenibles. También es un medio para la conservación de los ecosistemas, incrementando la biodiversidad, aumentando la disponibilidad de aguas limpias, reducción de la erosión y almacenamiento de carbono en las plantas y en el suelo. Además, ayuda a los suelos a soportar el cambio climático, eventos

adversos como sequías e inundaciones y también a la recuperación de los mismos mediante la implementación de sistemas agroforestales en suelos degradados (FAO, 2015).

Sumado a esto, a nivel nacional, “se plantean los sistemas agroforestales como de interés nacional por contribuir al desarrollo industrial, a la seguridad alimentaria y nutricional, a la protección de suelos, a la regulación hídrica, a la provisión de servicios eco sistémicos y a la recuperación y restauración de ecosistemas” (D.S - 020 – 2015. MINAGRI).

Por lo antes mencionado, la presente investigación tiene como objetivo general medir los cambios en la calidad del suelo por efecto de la recuperación del mismo mediante el establecimiento de un sistema agroforestal, luego de cuantificar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los dos sistemas en estudio: pastizal y sistema agroforestal, siendo éstas las variables en cuestión. Dicha investigación responde a la pregunta general con la hipótesis que afirma que los sistemas agroforestales mejoran la calidad del suelo de aquellos degradados por el uso intensivo del mismo, sea agricultura o ganadería.

A su vez, la motivación de la presente investigación es que existe un déficit a nivel nacional de información cuantitativa sobre los beneficios de la implementación de los sistemas agroforestales, por lo que se busca determinar con datos cuantificables los beneficios de los mismos para mostrar la importancia que tienen en el desarrollo sostenible de Madre de Dios y el resto del Perú.

2. Planteamiento del problema

Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para la alimentación y la agricultura, para el año 2050 seremos más de nueve mil millones de seres humanos en el planeta y se va a necesitar producir un 60% más de alimentos (FAO, 2009). Para satisfacer dicha necesidad, se observa que la expansión agrícola a nivel mundial muestra un incremento considerable y se relaciona directamente con la deforestación, es por esta razón, que en los últimos 25 años se ha deforestado una superficie boscosa equivalente al territorio de la India y la principal causa de las tierras desbrozadas y quemadas se destinaron a la agricultura y ganadería, como es el caso en particular de América Latina, donde casi todas las tierras deforestadas se convirtieron en pastizales para criar ganado en sistemas extensivos e intensivos de pastoreo (FAO, S.F).

Sobre esto, el Perú al ocupar el segundo lugar a nivel sudamericano en superficie de bosques después de Brasil y poseer una gran biodiversidad en los bosques amazónicos, cuenta con múltiples problemas ambientales dentro de los cuales podemos observar la deforestación, la cual tiene como principales causas la minería ilegal, la agricultura y la ganadería (WWF, 2015). Asimismo, la FAO (2009) prevé que la producción mundial de carne se incrementará en más del doble, pasando de 229 millones de toneladas en el año 2000 a 465 millones de toneladas para el año 2050, lo que se relaciona a nivel nacional con el incremento exponencial de la superficie agrícola y ganadera, y en el caso especial de los bosques amazónicos sólo entre el año 2001 y el 2016 se han perdido 1 974 209 hectáreas (SINIA 2017) y en Madre de Dios entre los años 2011 y 2018 se han perdido 107 509.44 hectáreas de bosque, siendo el peor año el 2017 (ver Anexo 9) (SINIA, 2019).

Siendo esto, la principal causa de la degradación de bosques ya que genera una gran pérdida forestal que trae consigo no sólo disminución de la flora, fauna silvestre y la biodiversidad en

general, si no también es el responsable de casi la mitad de emisiones de gases de efecto invernadero a nivel nacional y la principal causa de la degradación de suelos (WWF, 2015), siendo ésta causada por las siguientes razones: compactación del suelo, disminución de cobertura vegetal, erosión hídrica y eólica del suelo, pérdida de fertilidad del suelo y contaminación de los mismos (CIFOR, 2006).

Frente esta situación preocupante, tanto a nivel mundial como nacional, se plantean los sistemas agroforestales como una alternativa para promover la seguridad alimentaria, la recuperación de suelos degradados, la conservación de suelos y un desarrollo sostenible tanto como sistema productivo como sistema natural (Mendieta, 2007).

Además, ante la ausencia de evidencia científica sobre el incremento de la calidad del suelo al implantar un sistema agroforestal, dicha promoción se convierte en una alternativa que no puede ser difundida contundentemente ya que debe de estar sujeta a datos cuantitativos reales y actuales, los cuales validan los beneficios de dichos sistemas. Con lo cual, en dicha investigación se busca medir y cuantificar las propiedades físicas, químicas y biológicas de dos sistemas productivos: sistema agroforestal y pastizal, para medir los cambios en la calidad del suelo.

3. Marco teórico

3.1 Sistemas de uso del suelo

Según la FAO los distintos sistemas de uso del suelo contienen una relación directa entre la cobertura de la tierra y las acciones que el hombre realiza en el medio ambiente. Esta relación se caracteriza según el arreglo, actividad e insumos que el humano emprende en un tipo de cobertura de la tierra ya sea para producción, cambiarla o mantenerla (FAO, 2005).

En el Perú el uso de los suelos está definido por “la Capacidad de Uso Mayor (CUM) la cual es la capacidad de una superficie geográfica como su aptitud natural para producir en forma constante, bajo tratamientos continuos y usos específicos. La clasificación se da a partir de las características edafoclimáticas como son: pendiente, temperatura, evapotranspiración, altitud, latitud y la zona de vida” (D.S 017-2009 MINAGRI).

3.1.1 Sistema agroforestal

Son aquellos sistemas donde se presenta una combinación de especies leñosas con especies herbáceas en el mismo espacio y tiempo, donde además existen un conjunto de técnicas de uso del suelo que tratan de crear un sistema de producción sostenible, aplicando técnicas adaptadas y adaptables al agricultor junto con desarrollar actividades acordes con el sistema. Dicho sistema busca ser uno cerrado donde no se necesite ingresar agroquímicos y donde los desechos orgánicos sean aprovechados para la nutrición vegetal del resto de especies presentes (Sánchez, S.F)

Según el Decreto Supremo que aprueba el reglamento para la gestión de las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales (2015) en el artículo 2, “se entiende como sistema agroforestal a una clase de sistema de uso de la tierra que consiste en el manejo asociado de especies forestales y agropecuarias en una misma parcela en el espacio y en el tiempo.

Incluyen prácticas de integración, preservación y manejo de especies leñosas perennes en sistemas productivos agrícolas anuales o perennes” (D.S - 020 – 2015. MINAGRI).

3.1.2 Pastizal

Según la Real Academia Española (2014) un pastizal es un terreno de abundante pasto, es decir, suelo cubierto por vegetación herbácea que cumple la función de alimentar al ganado de pastoreo.

Del mismo modo, Rebollo y Gómez-Sal (2003) definen los pastizales como “ecosistemas caracterizados por presentar vegetación dominada por especies herbáceas y cuya producción primaria es aprovechada directamente por herbívoros”.

Además, Senra (2009) refiere que las causas fundamentales de la degradación de los suelos y de los pastizales es el mal manejo del ecosistema, provocando que se reduzca la eficiencia en los sistemas de explotación

3.2 Suelo

Según el Ministerio del Ambiente “el suelo es un material no consolidado que se encuentra desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad, y además, se encuentra compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, siendo esto el producto final de la influencia de los factores bióticos y abióticos”.

Por otro lado, afirma que es el medio natural para el crecimiento de las plantas y (MINAM, 2014).

3.1 Calidad Del Suelo

El Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2014) define a la calidad del suelo como “la capacidad natural del mismo de cumplir diferentes funciones según las características físicas, químicas y biológicas que presenta”.

Afirman que la calidad del suelo integra las funciones y relaciones entre las propiedades químicas, físicas y biológicas, las cuales son medidas y evaluadas según la capacidad del suelo de cumplir las funciones que le correspondan. Por lo tanto, describen que la evaluación de la calidad del suelo se puede llevar a cabo de dos formas:

1. Comparar mediciones a lo largo del tiempo, donde estas se realizan periódicamente en un mismo suelo
2. Comparando las mediciones de dos o más suelos sometidos a distintos manejos

3.2.1.1 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas son fundamentales ya que determinan la fuerza de sostenimiento de las plantas, la facilidad que tienen las raíces para penetrar, la aireación del suelo, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la retención de nutriente, entre otros. Además, permite entender el manejo del suelo que debe de llevarse a cabo, según la función que cumple, para obtener las mejores condiciones posibles para la productividad y conservación del mismo (L. Rucks et al., 2004).

Propiedades estudiadas en dicha investigación:

- Estabilidad de agregados

Se refiere a la resistencia que los agregados del suelo ejercen para no fragmentarse al recibir cierta presión externa como puede ser la acción del agua o la manipulación mecánica (CIMMYT, 2013).

- Textura del suelo

La textura del suelo se refiere a la “proporción relativa entre partículas inorgánicas de arena, limo y arcilla en un volumen de suelo dado y se describe como una clase textural” y, además, es de mucha importancia ya que influye directamente en parámetros como la fertilidad del suelo, drenaje, aireación, retención de agua, contenido de materia orgánica, entre otras (FAO, 2009)

- Porosidad del suelo

Según la FAO “el espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. Idealmente el volumen del suelo debe estar constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces, sin embargo, los micro poros si retienen el agua y parte de la cual está disponible para las plantas”. (FAO, 2009).

- Densidad aparente

La densidad del suelo está compuesta por la densidad real (DR) y la aparente (DA), la primera es la relación entre el peso seco de la muestra de suelo entre el volúmen total de sólidos, donde no se considera el espacio poroso. En general se considera que el valor de la DR es de 2.65 gr/cc y podría variar por presencia de cantidades anormales de metales pesados. Por otro lado está la densidad aparente la cual se diferencia de la anterior en que es la relación entre el peso seco de la muestra de suelo entre el volúmen total de sólidos y espacio poroso, es decir, el volumen que se obtiene en campo sin modificarlo (L.Rucks et al., 2004)

- Resistencia mecánica del suelo

La resistencia física que ofrece el suelo a la penetración de una fuerza externa es llamada resistencia mecánica y la forma más común de medirla es utilizando un penetrómetro el cual mide la presión necesaria para introducir un cono de determinado tamaño dentro del suelo (Gaitán & Penón, 2003).

- Temperatura del suelo

La temperatura en el suelo es una propiedad muy importante ya que posee un efecto directo sobre la actividad de los organismos que viven en el, sobre los procesos de alteración química de la fracción mineral, sobre el crecimiento de las plantas, de las raíces y de la germinación de las mismas. La mayor energía calorífica que recibe el suelo procede de la energía solar, pero ésta varía según la latitud, altitud, época del año, humedad, orientación y la cobertura vegetal (FAO, 2009)

- Humedad gravimétrica

La humedad del suelo es el contenido hídrico del mismo, este se puede expresar de dos maneras, la primera es la humedad volumétrica y la segunda es la humedad gravimétrica. La primera es la relación entre el volumen de la fracción líquida y el volumen de la fracción sólida, esta es medida en centímetros cúbicos y también puede ser expresada en porcentajes, la segunda es la humedad gravimétrica, que es la relación entre la masa de la fracción líquida (masa de agua) y la masa de la fracción sólida (masa del suelo seco), normalmente esta es medida en gramos y expresada en porcentajes (UNC, S.F).

3.2.1.2 Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo miden las interacciones de los minerales y dependen directamente de la composición química del suelo. Permiten reconocer ciertas cualidades del mismo cuando se provocan cambios químicos o reacciones que alteran la composición y acción de los mismos (FAO, 2009).

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

“La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener. La unidad de medición de CIC es en meq/100g de suelo”. Además, es una de las propiedades más importante de los suelos ya que es un indicador importante de la fertilidad del suelo debido a que de él depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas y la solubilidad de los mismos (R. Ramírez, 1997).

- Potencial de hidrógeno (pH)

“El pH (potencial de hidrógeno) determina el grado de adsorción de iones (H⁺) por las partículas del suelo e indica si un suelo está ácido, alcalino o neutro. Es el indicador principal en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo”. (FAO, 2009).

- Salinidad del suelo

La salinidad del suelo es la acumulación de sales dentro del mismo, lo cual puede ser resultado de procesos naturales y/o antropogénicos (Flores et. al, 1996). Para medir la cantidad de sales presentes en el suelo se utiliza la medida de la conductividad eléctrica de la solución suelo, la cual muestra la capacidad del material de conducir corriente eléctrica, donde el valor será más alto cuando la concentración de sales sea mayor (Barbaro, Karlanian & Mata, 2009).

- Macro elementos

“Los macro elementos son algunos de los nutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantas y se requieren en grandes cantidades e incluyen Carbono(C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O) Nitrógeno(N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S)” (FAO e IFA, 2002).

Los que se evaluaron en el suelo en dicha investigación son los siguientes:

- A) Fósforo (P): Al ser un elemento esencial este es importante en la transferencia de energía en procesos químico – fisiológicos como es la fotosíntesis. Además, es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos (FAO e IFA, 2002).

- B) Potasio (K): Al activar más de 60 enzimas juega un papel muy importante en la síntesis de carbohidratos y de proteínas, permitiendo así que sean plantas que resisten a las enfermedades. Además, mejora el régimen hídrico de la planta aumentando así la tolerancia a las sequías, heladas y la salinidad en el suelo (FAO e IFA, 2002).

- C) Calcio (Ca): Es indispensable para el crecimiento de las raíces y como un constituyente del tejido celular de las membranas ya que interviene en la estabilidad de la membrana plasmática y en la integridad de la célula dándoles así estructura, consistencia, rigidez y permeabilidad, y a su vez esto brinda resistencia al ataque de hongos (FAO e IFA, 2002).

- D) Magnesio (Mg): es el principal constituyente de la clorofila, por lo cual interviene en la síntesis de proteínas, en la respiración, en el metabolismo del fósforo y en la activación de varios procesos enzimáticos en la planta (FAO e IFA, 2002).

- Materia orgánica del suelo

Se le considera a la materia orgánica del suelo (MOS) como un “conjunto de compuestos heterogéneos con base de carbono, que ha sido formado por la acumulación de materiales de origen vegetal o animal en continuo proceso de descomposición provocada por los microorganismos presentes en el suelo. “La MOS está compuesta en su mayor parte por sustancia húmicas, las cuales han sido divididas en tres grupos: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, el resto de la MOS está constituida por carbohidratos, aminoácidos, grasas, entre otros” (G. Meléndez, 2003)

3.2.1.3 Propiedades biológicas del suelo

Las propiedades biológicas del suelo describen como actúan los organismos sobre el suelo modificando su composición, estructura y funcionamiento. Estos organismos son clasificados por su tamaño en tres tipos: macro fauna, meso fauna y micro fauna. En dicha investigación sólo se evaluó la macro fauna la cual comprende a los organismos mayores de un centímetro de diámetro ya sean vertebrados o invertebrados, que se puedan observar a simple vista y efectúan cambios tanto físicos como químicos en el suelo debido a que son los responsables de acelerar la descomposición y mineralización de la materia orgánica, lo que posteriormente promueve la estimulación del crecimiento vegetal y la descomposición de componentes minerales insolubles (R. Ramírez, 1997).

3.2 Degradación del suelo

La degradación del suelo se le define como la pérdida de propiedades intrínsecas, de las funciones que comprende y de la utilidad del mismo, las mismas pueden ser permanentes o temporales. Esta pérdida de la salud del suelo es reflejada en la capacidad del ecosistema para producir bienes y/o prestar servicios eco sistémicos. Existen dos actores en la degradación del suelo, el primero es el hombre el cual acelera el proceso y genera desequilibrio en el sistema a diferencia del segundo actor que es la naturaleza misma la cual regula sus cambios a una velocidad que permite la recuperación y restauración del mismo sin intervención humana (J. Zavala – Cruz et. Al, 2011).

Según estudios realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI) (2013) las principales formas de degradación del suelo están representadas 56% por la erosión hídrica y 28% por la erosión eólica, y sumado a esto, las principales causas son el sobrepastoreo (35%), deforestación (29%) y por prácticas agrícolas inadecuadas (28%). Además afirma que, “en el Perú en los últimos 20 años, se degradó más del 15% del territorio, y si esta tendencia se mantiene, se calcula que al año 2100 el 64% del territorio peruano podría ser afectado por procesos de esta naturaleza”.

3.3 Deforestación

Se refiere a la “conversión de los bosques a otro tipo de uso de la tierra o la reducción de la cubierta de copa, a menos del límite del 10 por ciento” (FAO, 2010).

Por otro lado, el ministerio del ambiente (MINAM) (2016) define la deforestación como la “pérdida total de la cobertura forestal a través de la tala y quema de la vegetación, el cambio

de uso del suelo hacia otras actividades como agricultura, ganadería o industrias extractivas o también como la instalación de infraestructuras, incluyendo carreteras y la creación de poblados”.

3.4 Madre De Dios

Según la Oficina de Gestión de la Información y Estadística del Congreso para el año 2016, el Departamento de Madre de Dios, tiene una superficie de 85 301 km² y representa el 6,6 por ciento del territorio nacional y está ubicado en la parte sur oriental del territorio nacional. Limita por el norte con el departamento de Ucayali y la República de Brasil, por el sur con los departamentos de Puno y Cusco, por el este con la República de Bolivia y al oeste con los departamentos de Cusco y Ucayali. Posee una frontera internacional de 584 km, de los cuales 314 km son con Brasil y 270 km con Bolivia. El clima de Madre de Dios es del tipo tropical ya que está caracterizado por ser cálido, húmedo y con abundantes precipitaciones. Donde la temperatura media anual de Puerto Maldonado es de 26 grados Celsius, contando con temperaturas máximas de 38°C y mínimas de 8°C cuando se manifiesta el friaje. Además, cuenta con dos épocas marcadas de precipitaciones, donde la época lluviosa se manifiesta entre los meses de diciembre y marzo y la seca el resto del año. Por otro lado, Madre de Dios cuenta con un conjunto de ríos caudalosos y riachuelos que recorren el departamento en dirección Este proveniente de la cordillera de los Andes, los mismos se constituyen en el medio principal de comunicación y transporte de la región. Sumado a esto, el tipo de vegetación que predomina y abarca la mayor superficie de las provincias de Tambopata y el Manú corresponde a la clasificación “bosque húmedo tropical”. Además, según las proyecciones poblacionales del INEI al 2016, Madre de Dios albergaba una población de 140,508 habitantes, lo que representa el 0.45% de la población nacional.

3.4.1 Concesión Reserva Amazónica – Inkaterra Asociación

ITA es una organización sin fines de lucro comprometida con la investigación científica como base para la conservación de la biodiversidad, la protección del ecosistema, la educación y el bienestar de las comunidades locales, con la finalidad de lograr un desarrollo sostenible de los bosques presentes en el área. Además, ITA a través de la investigación científica permite crear, probar y/o evaluar metodologías que permitan la recuperación y restauración de ecosistemas que han sido degradados por razones naturales o antrópicas, permitiendo así el desarrollo de métodos innovadores para la recuperación del medio para el provecho de las generaciones futuras (ITA, 2019).

ITA cuenta con alojamiento en cuatro cabañas y dos pabellones, un Eco-Centro y un laboratorio en el Inkaterra Guides Field Station, un lugar diseñado para entrenar a los Inkaterra Explorer Guides y para acoger a científicos, estudiantes, voluntarios y viajeros para formar parte de diversos proyectos de investigación y conservación, y para experimentar la selva amazónica de una manera académica. Dicha estación de investigación está ubicada dentro de la primera concesión con fines ecoturísticos del Perú, la cual cuenta con 10 000 hectáreas de bosque amazónico. Como se observa en la Figura 1, el Inkaterra Guides Field Station geográficamente se ubica a quince kilómetros de la capital del departamento, Puerto Maldonado, hacia la margen izquierda del río Madre de Dios. Pertenece políticamente al Departamento de Madre de Dios, Provincia de Tambopata, distrito de Las Piedras (ITA, 2019).

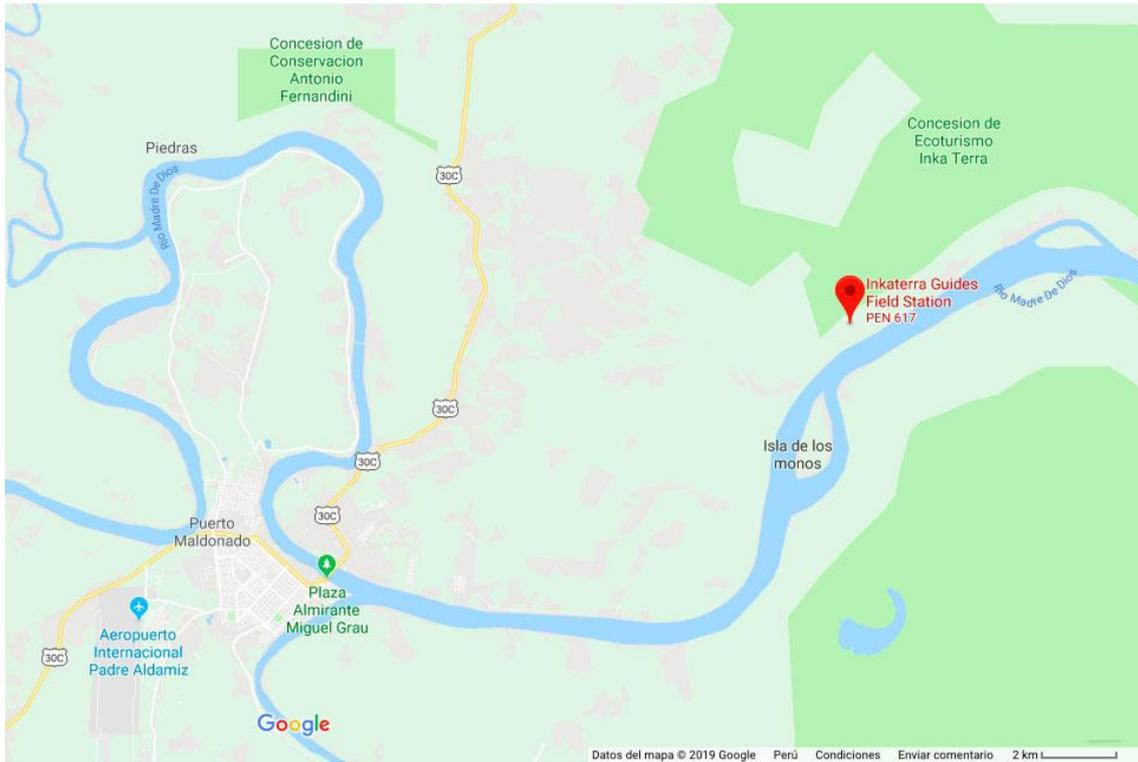


FIGURA 1. UBICACIÓN DE INKATERRA GUIDES FIELD STATION

4. Objetivos e Hipótesis

Objetivos:

Objetivo general:

Medir los cambios en la calidad del suelo del sistema agroforestal para compararlo con la del pastizal.

Objetivos específicos:

- Cuantificar las propiedades físicas del suelo de los sistemas de uso del suelo: sistema agroforestal y pastizal
- Cuantificar las propiedades químicas del suelo de los sistemas de uso del suelo: sistema agroforestal y pastizal
- Cuantificar las propiedades biológicas del suelo de los sistemas de uso del suelo: sistema agroforestal y pastizal

Hipótesis:

Ha: Los sistemas agroforestales mejoran, uno o más componentes, de la calidad del suelo de aquellos degradados

Ho: Los sistemas agroforestales no mejoran, ningún componente, de la calidad del suelo de aquellos degradados

5. Metodología

5.3 Método

El alcance de la investigación es del tipo aplicada ya que está orientada a la obtención de conocimientos para atender problemas conocidos, cuyos resultados son de interés de la sociedad. Es por esto, que en dicha investigación se describe y se demuestra los cambios en la calidad del suelo, a partir de la comparación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de dos sistemas de uso del suelo: sistema agroforestal y pastizal. Los dos sistemas fueron implementados antes de realizar dicha investigación, además, se encuentran en la misma zona conteniendo características fisiográficas homogéneas, y se evaluaron en la misma época. Por otro lado, en la presente investigación se evaluó dos variables, la primera es la calidad del suelo la cual está sub dividida en tres dimensiones: propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La segunda variable son los sistemas de uso del suelo, la cual se encuentra sub dividida en dos dimensiones: sistema agroforestal y pastizal (Haynes, 2011).

5.4 Zona de estudio

La presente investigación se realizó en la concesión de Reserva Amazónica de la ONG ITA ubicada a quince kilómetros de la capital del departamento, Puerto Maldonado, hacia la margen izquierda del río Madre de Dios, como se observa en la Figura 2. Se encuentra en las coordenadas geográficas Lat.12°35'00''S y Long. 69°05'00''O desde los 150 m a 200 m.s.n.m. en la zona de vida de Bosque húmedo Subtropical, con un clima tropical y abundantes lluvias en casi todo el año. El clima es caracterizado por un tropical estacional marcado por una estación lluviosa de noviembre a marzo, y otra seca de abril a octubre,

con una temperatura máxima de 17 – 40 grados centígrados y temperatura mínima de 17 – 10 grados centígrados en el mes de julio por efecto de los vientos Australes periódicos conocidos como friajes (ITA, 2019)



FIGURA 2. ZONA DE ESTUDIO

Particularmente en abril, el mes donde se muestreo, la temperatura máxima según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2018) fue de 30.7°C y la mínima de 20°C y las precipitaciones fueron de 137 milímetros en el mes como se muestra en la Figura 3.

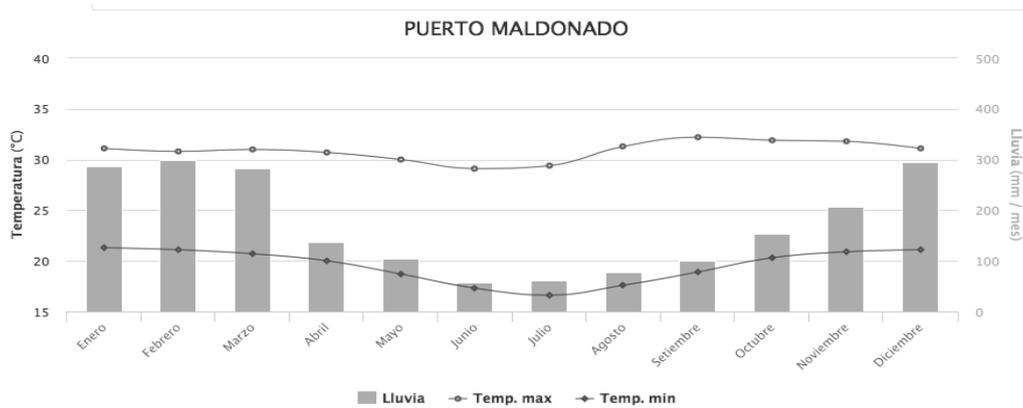


FIGURA 3. TEMPERATURA Y LLUVIA DE PUERTO MALDONADO AÑO 2018.

Fuente: SENAMHI, 2018

5.5 Procedimiento metodológico

5.5.1 Establecimiento de parcelas

Previo al establecimiento de las mismas, se seleccionaron dos sistemas de uso del suelo, para esto, se consideró que ambos sistemas se encuentren en la misma zona y bajo características fisiográficas homogéneas. Para el caso del sistema agroforestal (Figura 4) se requería que cuente con antecedentes de uso intensivo del suelo, que presente signos de recuperación del mismo y que sea un policultivo; por otro lado, para el pastizal (Figura 5) se requería que sea un sistema de uso intensivo mediante un monocultivo y que además presente signos de degradación.



FIGURA 4. ZONA DEL SISTEMA AGROFORESTAL



FIGURA 5. ZONA DEL PASTIZAL

Prueba de los antecedentes requeridos para la investigación son las imágenes mostradas anteriormente, donde se observa a simple vista que la zona del pastizal presenta signos de degradación por pérdida de cobertura vegetal, lo cual permite que se marque una diferencia clara con la zona del sistema agroforestal ya que ésta se encuentra con abundante cobertura vegetal.

Por estas razones se eligió para el sistema agroforestal la “Chacra Gamitana” (Figura 6) de la propiedad de INKATERRA ASOCIACIÓN (ITA) y para el pastizal (Figura 7) el que era de propiedad del señor Amilcar Herrera, el cual cuenta con relación directa con ITA para abarcar temas de investigación.



FIGURA 6. SISTEMA AGROFORESTAL - CHACRA GAMITANA



FIGURA 7. PASTIZAL DEL SEÑOR AMILCAR HERRERA

El área de muestreo de la investigación estuvo comprendida por dos parcelas, cada una en sistema de uso del suelo distinto (sistema agroforestal y pastizal). Como se observa en la Figura 8, cada parcela tuvo una medida de 30 metros de ancho por 90 metros de largo, las cuales fueron seleccionadas bajo características fisiográficas homogéneas y similares (Alegre, 2016).

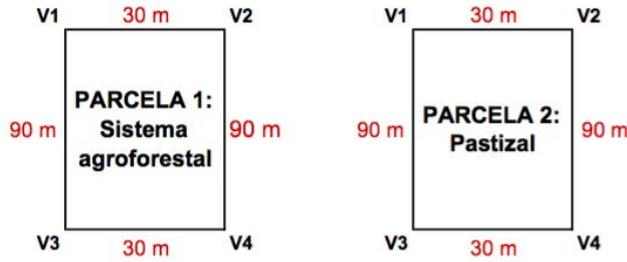


FIGURA 8. ESTABLECIMIENTO DE PARCELAS DE MUESTREO

El primer paso a seguir para delimitar la zona de muestreo, fue la selección de los cuatro vértices (V1, V2, V3 y V4) de la parcela (Bazan et al, 2017), cómo se observa en las Figuras 9 y 10.



FIGURA 9. ESTABLECIMIENTO DE PARCELA DE MUESTREO EN SISTEMA AGROFORESTAL



FIGURA 10. ESTABLECIMIENTO DE PARCELA DE MUESTREO EN PASTIZAL

Además, los vértices fueron geo referenciados y anotados como se muestra en la Tabla 1.

TABLA 1. UBICACIÓN GEOREFERENCIADA DE LAS PARCELAS DE MUESTREO

PARCELAS	VÉRTICES	COORDENADAS UTM	
		LATITUD	LONGITUD
Parcela 1: Sistema Agroforestal	V1	0502162	8616994
	V2	0502180	8617016
	V3	0502229	8616935
	V4	0502248	8616956
Parcela 2: Pastizal	V1	0493051	8612727
	V2	0493079	8612726
	V3	0493057	8612638
	V4	0493025	8612642

Como se observa en la Figura 11, la demarcación de las parcelas en ambos sistemas se llevó a cabo con la ayuda de un GPS Garmin 64s, cinta métrica y estacas con cintillo rojo para mejorar la visibilidad.



FIGURA 11. GPS GARMIN 64S, CINTA MÉTRICA CON CINTILLO ROJO

Seguido a esto se realizó la división de la parcela en sub parcelas, donde cada una tenía 15 metros de ancho por 30 de largo, lo cual formaba seis sub parcelas dentro de la parcela como se observa en la Figura 12.

Después de establecer las parcelas y las subparcelas, como se observa en la Figura 13, se procedió a la selección de los puntos de muestreo, el criterio para esto se basó en la forma de muestreo llamada “Zigzag”, donde se busca tomar muestras dos zonas lo más heterogéneas posible para aumentar la efectividad de la investigación (Bazan et.al, 2017).

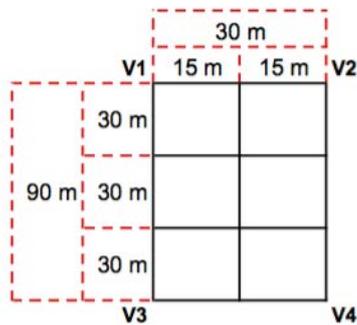


FIGURA 12. DIVISIÓN DE PARCELAS EN SUB PARCELAS

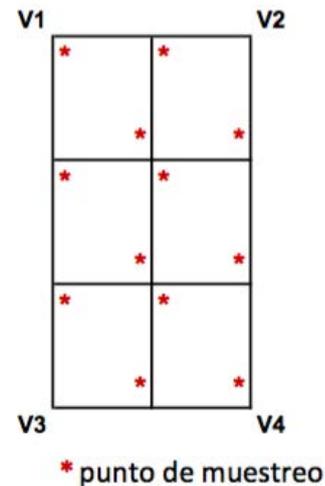


FIGURA 13. SELECCIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO

5.2.2 Toma de muestras

Como previamente se explicó, la parcela fue dividida en 06 sub parcelas y las mismas contaban con dos puntos de muestreo (PM) cada una. Para el muestreo de propiedades químicas se tomó una sub muestras en cada punto de muestreo las cuales conformaban una sola muestra por sub parcela. Por otro lado, las propiedades físicas y biológicas fueron evaluadas en todos los puntos de muestreo, siendo en total 12 muestras. En el caso de las propiedades químicas todas fueron evaluadas en fase de gabinete y las físicas algunas fueron evaluadas en campo y otras en fase de gabinete. Todas las muestras fueron tomadas en una misma época y serán únicas. Seguido a esto se procedió a acondicionar los puntos de muestreo para realizar la evaluación. Debido a que la finalidad del muestreo es el análisis de la calidad del suelo para evaluar la aptitud del mismo, se tomaron las muestras de la capa arable. Para esto, como se muestra en las Figuras 14 y 15, se realizó en cada punto de muestreo una calicata de 20 centímetros de profundidad, por 20 cm de largo y 20 cm de ancho (Bazán et al, 2017).

El suelo retirado de la calicata se dispuso en un plástico claro para conservarlo y no permitir la pérdida del mismo para no alterar la evaluación (Figura 16).



FIGURA 15. CALICATA EN PASTIZAL



FIGURA 14. CALICATA EN SISTEMA AGROFORESTAL



FIGURA 16. SUELO RETIRADO DE LA CALICATA DISPUESTO EN PLÁSTICO CLARO

5.2.3 Evaluación de variables

5.2.3.1 Sistema de uso del suelo

En la zona de estudio se encuentran dos sistemas de uso del suelo los cuales están localizados en la misma cuenca con características fisiográficas homogéneas.

- Sistema agroforestal:

El sistema agroforestal se encuentra en la zona 19 L en las coordenadas geográficas UTM (Universal Transversal Mercator) 502206 m Este y 8616975 m Sur a una altitud promedio de 182.95 msnm. Dicha parcela es clasificada como policultivo por estar compuesta por diversas especies como se observa en la Tabla 2.

TABLA 2. ESPECIES VEGETALES PRESENTES EN EL SISTEMA AGROFORESTAL.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Plátano	<i>Musa sp.</i>
Huasaí	<i>Euterpe oleracea</i>
Pijuayo	<i>Bactris gasipaes</i>
Shapaja	<i>Attalea sp.</i>
Bijao	<i>Calathea lutea</i>
Capirona	<i>Calycophyllum spruceanum</i>
Copoazú	<i>Theobroma grandiflorum</i>
Pomarosa	<i>Syzygium malaccense</i>
Huacrapona	<i>Socratea exorrhiza</i>
Coco	<i>Cocos nucifera</i>
Sangapillo	<i>Chamaedorea sp.</i>
Shiringa	<i>Hevea brasiliensis</i>
Bastón del emperador	<i>Etilingera elatior</i>
Bobinsana	<i>Calliandra angustifolia</i>
Amasisa	<i>Erythrina sp.</i>
Carambola	<i>Averrhoa carambola</i>
Sangre de grado	<i>Croton lechlieri</i>
Pan de árbol	<i>Artocarpus altilis</i>
Sachamango	<i>Grias neuberthii</i>

Mango	<i>Mangifera indica</i>
Shihuahuaco	<i>Dypterix odorata</i>
Tahuari	<i>Tabebuia serratifolia</i>
Maraja	<i>Bactris maraja</i>
Piña	<i>Ananas comosus</i>
Ishpingo	<i>Amburana cearensis</i>
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>
Sapote	<i>Matisia cordata</i>
Aguaje	<i>Mauritia flexuosa</i>
Ceibo	<i>Ceiba sp.</i>
Marañón	<i>Anacardium occidentale</i>
Arazá	<i>Eugenie stipitata</i>
Cítrico (Pomelo)	<i>Citrus × paradisi</i>
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>
Camu camu	<i>Myrciaria dubia</i>
Cítrico (Naranja)	<i>Citrus X sinensis</i>
Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>
Cítrico (Mandarina)	<i>Citrus reticulata</i>
Cítrico (Limón mandarina)	<i>Citrus x limonia</i>
Caimito	<i>Pouteria caimito</i>
Cítrico (Lima)	<i>Citrus × aurantiifolia</i>
Cítrico (Limón rugoso)	<i>Citrus × jambhiri</i>
Estoraque	<i>Myroxylon balsamum</i>
Uvilla	<i>Pourouma cecropiifolia</i>
Cítrico (Limón)	<i>Citrus sp.</i>
Cinamillo	<i>Oenocarpus mapora</i>
Yaca	<i>Artocarpus heterophyllus</i>
Guanábana	<i>Annona muricata</i>
Cítrico (Limón tahití)	<i>Citrus x latifolia</i>
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>
Girasol	<i>Helianthus annuus</i>
Papaya	<i>Carica papaya</i>
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>
Cítrico (Limón sutil ó común)	<i>Citrus × limon</i>
Pashaco	<i>Schizolobium sp.</i>
Ajosquiro	<i>Gallesia integrifolia</i>
Espintana	<i>Rollinia peruviana</i>
Taperibá	<i>Spondias dulcis</i>
Ají	<i>Capsicum sp.</i>
Bolaina	<i>Guazuma crinita</i>

Fuente: Inkaterra Asociación, 2018.

Como parte de los antecedentes se realizó una encuesta simple al encargado de la Chacra Gamitana y el mismo manifestó que el uso del terreno, antes de ser manejado por Inkaterra Asociación (ITA), fue netamente de agricultura intensiva de distintos cultivos como arroz y/o maíz. Además, afirmó que ITA tiene posesión sobre el terreno aproximadamente desde el año 2009, donde el manejo es libre de agroquímicos, no aran la tierra, no utilizan fertilizantes químicos y realizan podas a cada seis meses como control de plagas y enfermedades, y para aumentar la producción de la parcela.

- Pastizal:

El Pastizal se encuentra en la zona 19 L en las coordenadas geográficas UTM (Universal Transversal Mercator) 493057.00 m Este y 8612687.00 m Sur a una altitud promedio de 187.79 msnm. Dicha parcela pertenece al Señor Hamilcar Herrero quién está asociado a ITA para trabajos de investigación.

Se le realizó una encuesta simple al propietario del predio, el cual afirmó que se encuentra bajo su propiedad hace veinte años, donde los primeros cinco fueron utilizados para agricultura intensiva sembrando principalmente arroz y maíz, realizando labranzas y aplicación de agroquímicos para el control de plagas. Los siguientes quince años lo utiliza para la ganadería mediante la implementación de pastos del género: *Bracharia sp.*

El manejo que lleva a cabo en el predio es de tipo rotativo para dejar descansar la tierra para aumentar la productividad de la misma y que además no incluye agroquímicos, ya que es un pasto con baja probabilidad de ataque de plagas y/o enfermedades y además afirma que no ara la tierra. Por otro lado, explica que una vez al año, entre agosto y setiembre, quema el pastizal y vuelve a crecer solo. Además, refiere que en una hectárea permite que ingresen 25

vacas a pastar.

5.2.3.2 Calidad del suelo

5.3.3.2.1 Propiedades físicas

- Estabilidad de agregados

La primera fase para evaluar la estabilidad de agregados es en campo, donde se tomó una muestra en forma de terrón de cada punto de muestreo, las mismas fueron conservadas en recipientes de plástico y debidamente rotulados.

La segunda fase es en gabinete donde se utilizó el Método de Yoder, el cual consiste en realizar un tamizado en húmedo a 100 gramos de suelo de cada muestra, donde se determinó el porcentaje de agregados estables al agua. El método consiste en someter las muestras a movimientos ascendentes y descendentes en un agitador mecánico, utilizando un juego de tamices de 6.3, 4, 2, 1 y 0.25 milímetros que se encuentran sumergidos en agua dentro de un cilindro durante diez minutos a razón de 33 oscilaciones por minuto. Seguido a esto se retiraron los tamices del agua y se dejó drenar por cinco minutos para luego sacar el suelo retenido en cada tamiz, utilizando un frasco lavador, y se colocó en platos de aluminio previamente rotulados para ser llevados a la estufa a 105 grados Celsius durante 24 horas y se concluyó pesando cada fracción y anotando los valores en una Tabla de registro.

La tercera fase es de cálculos, que tiene como objetivo hallar el Índice de estabilidad estructural. Primero se halló el Mssi (porcentaje de los agregados del suelo contenido en cada tamiz) utilizando la siguiente fórmula:

$$M_{ssi} = \frac{M_{ssr} \times 100}{M_{ss}}$$

Donde:

M_{ssi}: porcentaje de los agregados del suelo contenido por cada tamiz.

M_{ssr}: peso de los agregados retenidos en cada tamiz, en gramos

M_{ss}: masa total del suelo seco, en gramos

Seguido a esto se halló D.P.M (diámetro ponderado medio) utilizando la siguiente fórmula:

$$D.P.M = \sum_{i=1}^n \frac{M_{ssi} \times X_i}{100}$$

Donde:

D.P.M: diámetro ponderado medio.

M_{ssi}: porcentaje de los agregados del suelo contenido por cada tamiz.

X_i: diámetro medio de cada fracción de diferente tamaño

El siguiente paso fue clasificar el diámetro ponderado medio según su estabilidad estructural utilizando la Tabla 3:

TABLA 3. CLASIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DEL SUELO

DPM (mm)	ESTABILIDAD ESTRUCTURAL
< 0,5	Inestable
0,5 – 1,5	Ligeramente estable
1,5 – 3	Moderadamente estable
3 – 5	Estable
>5	Muy estable

Fuente: IGAC, 2006.

- Textura del suelo

En cada parcela se tomaron dos sub muestras de 500 g de suelo por subparcela, las cuales conformaron una muestra total de un kilogramo de suelo. La misma se envió al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina (UNALM) donde se obtuvo el porcentaje de arena, limo y arcilla mediante el método del hidrómetro, y además se obtuvo la clase textural según la composición del suelo.

- Densidad aparente

La primera fase en campo consistió en obtener una muestra (de cada punto de muestreo) no disturbada utilizando un cilindro de 101.34 centímetros cúbicos de volumen. El mismo se introdujo en el suelo ejerciendo presión con la ayuda de un martillo para luego retirar la muestra de suelo que se encontraba en el interior y conservarla con doble bolsa, la primera de papel y la segunda hermética. Seguido a esto se llevaron las muestras al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina (UNALM) donde se calculó la densidad aparente dividiendo la masa total de la muestra seca en gramos entre el volumen del cilindro en centímetros cúbicos.

- Humedad gravimétrica

La humedad gravimétrica fue evaluada con la misma muestra de suelo que se utilizó para medir la densidad aparente, la misma fue enviada al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina (UNALM) donde se calculó la diferencia entre el peso húmedo de la muestra y el seco, utilizando la siguiente fórmula:

$$W\% = \frac{\text{Masa de agua (g)}}{\text{Masa suelo seco (g)}} \times 100$$

Fuente: UNC, S.F

- Porosidad

El porcentaje de porosidad se evaluó en la fase de gabinete, donde se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de porosidad} = \left(1 - \frac{DA}{DR}\right) \times 100$$

DA: Densidad aparente
DR: Densidad real

Fuente: Rojas, S.F

El valor de la densidad real, en la presente investigación, es de 2,65 gr/cc

- Resistencia mecánica del suelo

Para medir la resistencia mecánica del suelo, primero se demarcaron dos transectos dentro de la calicata (realizada con anterioridad) de manera vertical sobre una de las cuatro paredes de la misma. Ambos transectos fueron divididos en tres puntos clasificados por tres distintas profundidades, la primera a cinco centímetros, la segunda a diez centímetros y la tercera a quince centímetros de profundidad. Seguido a esto, se utilizó un penetrómetro de bolsillo AMS

para medir la resistencia a la compresión del suelo, el mismo proporciona mediciones precisas empujando un pistón de carga de 1/4" en el suelo y el mismo es accionado por un resorte. La resistencia mecánica se indica leyendo una escala en el cilindro del pistón, con ayuda de un anillo de fricción para facilitar la lectura, el cual muestra valores en toneladas entre pie cuadrado (ton/pie²), a dichos valores se le hace una conversión de unidades para obtener los valores en kilogramos entre centímetros cuadrados (kg/cm²) para poder ser evaluados con la Tabla 4.

TABLA 4. RESISTENCIA MECÁNICA DEL SUELO

Resistencia mecánica	Kg/cm²
No compactado	< 1
Medianamente compactado	1.25 - 2
Compactado	2.25 - 3
Muy compactado	> 3.25

Fuente: Gaitán & Penón, 2003

- Temperatura del suelo

En cada punto de muestreo, al lado de la calicata realizada previamente, se introdujo verticalmente el termómetro de suelo al mismo (Figura 17), donde se tomó nota de la temperatura reflejada a cinco, diez y a quince centímetros de profundidad utilizando grados Celsius.



FIGURA 17. MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DEL SUELO

5.3.3.2.2 Propiedades químicas

Se obtuvo una muestra de un kilogramo de cada subparcela, siendo ésta conformada por dos submuestras de quinientos gramos de suelo cada una. La misma fue enviada al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina (UNALM) para el análisis de caracterización que consistieron:

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Se saturó el suelo con acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{-COOCH}_4$) N con un pH 7.0 y obteniéndose la CIC en meq/100g del suelo. Se evaluará bajo la premisa de que un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica. Para clasificar el CIC del suelo se utilizó la Tabla 5.

TABLA 5. CLASIFICACIÓN DE LOS NIVELES DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNIC (CIC)

Clasificación del CIC	meq /100 gr
Muy bajo	<5
Bajo	5 a 15
Medio	15 a 25
Alto	25 a 40
Muy alto	>40

Fuente: Alegre et al, 2019.

- Potencial de hidrógeno (pH)

Se obtuvo una muestra de un kilogramo de cada subparcela, siendo ésta conformada por dos submuestras de quinientos gramos de suelo cada una. La misma fue enviada al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina (UNALM) donde se determinó el pH con la medida del potenciómetro de la suspensión suelo: agua (en relación 1:1). Para clasificar el suelo por el pH se utilizó la Tabla 6.

TABLA 6. CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

Clasificación del suelo	pH
Fuertemente ácido	<5.5
Moderadamente ácido	5.6 – 6.0
Ligeramente ácido	6.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.0
Ligeramente alcalino	7.1 – 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 – 8.4
Fuertemente alcalino	> 8.5

Fuente: UNALM, 2018.

- Salinidad

Se utilizó la medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en relación suelo:agua (1:1) para luego ser medida utilizando un conductivímetro para estimar la conductividad eléctrica en la unidad de decisiemens por metro (dS/m). Para clasificar el suelo por la salinidad se utilizó la Tabla 7.

TABLA 7. CLASIFICACIÓN DEL SUELO SEGÚN LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

Clasificación del suelo	CE (dS/m)
Muy ligeramente salino	<2
Ligeramente salino	2 – 4
Moderadamente salino	4 – 8
Fuertemente salino	>8

Fuente: UNALM, 2018.

- Materia orgánica

Se obtuvo una muestra de un kilogramo de cada sub parcela, siendo ésta conformada por dos sub muestras de quinientos gramos de suelo cada una. La misma fue enviada al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina (UNALM) donde se evaluó la materia orgánica utilizando el método de Walkley y Black el cual consiste en la oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. Además, para calcular la cantidad de carbono se sabe que

el porcentaje de materia orgánica es igual al porcentaje de Carbono por 1.724 (% M.O. = % C x 1.724). Para clasificar el porcentaje de materia orgánica del suelo se utilizó la Tabla 8.

TABLA 8. CLASIFICACIÓN DEL PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

Clasificación	Porcentaje de materia orgánica (% M.O.)
Bajo	<2.0
Medio	2- 4.0
Alto	>4.0

Fuente: UNALM, 2018.

- Macro elementos

Se obtuvo una muestra de un kilogramo de cada subparcela, siendo ésta conformada por dos sub muestras de quinientos gramos de suelo cada una. La misma fue enviada al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina (UNALM) donde se determinará los siguientes parámetros con los siguientes métodos:

- Nitrógeno total: método del micro – Kjeldahl
- Fósforo disponible: método del Olsen modificado, extracción con $\text{NaHCO}_3=0.5\text{M}$, pH 8.5. Para evaluarlo se utilizó la Tabla 8.
- Potasio disponible: Extracción con acetato de amonio ($\text{CH}_3 - \text{COONH}_4$)N, pH 7.0. Para evaluarlo se utilizó la Tabla 9.
- Cationes cambiables: para Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ se realizó un reemplazamiento con acetato de amonio ($\text{CH}_3 - \text{COONH}_4$)N, pH 7.0 y se uantificó por fotometría de llama y/o absorción atómica; y para $\text{Al}^{+3} + \text{H}$ se utilizó el método de Yuan utilizando la extracción con KCL, N.

Por otro lado, para clasificar el contenido de nutrientes se utilizaron las siguientes Tablas (Tabla 9, 10 y 11):

TABLA 9. CLASIFICACIÓN DEL FÓSFORO DISPONIBLE EN EL SUELO

Clasificación	Fósforo disponible (ppm)
Bajo	<7.0
Medio	7.0-14.0
Alto	>14.0

Fuente: UNALM, 2018.

TABLA 10. CLASIFICACIÓN DEL POTASIO DISPONIBLE EN EL SUELO

Clasificación	Potasio disponible (ppm)
Bajo	<100
Medio	100 – 240
Alto	>240

Fuente: UNALM, 2018.

TABLA 11. CLASIFICACIÓN DEL PORCENTAJE DE LA SATURACIÓN DE BASES

Clasificación	Saturación de bases (%)
Bajo	<35
Medio	35 - 80
Alto	>80

Fuente: UNALM, 2018.

5.3.3.2.3 Propiedades biológicas

Para el análisis de la macro fauna del suelo se utilizó el suelo retirado al realizar la calicata, el cual fue previamente dispuesto sobre un plástico de color claro, el cual además de proteger la muestra, facilitó el reconocimiento de la macro fauna que se encontraba presente en el suelo, de la misma se realizó una descripción en la ficha de campo según el grupo taxonómico y la cantidad presente de individuos. Seguido a esto se tomó una muestra de cada individuo, los cuales se conservaron en frascos de plástico con tapa ancha y de rosca, y los mismos fueron debidamente rotulados. Dichas muestras fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Científica del Sur (UCSUR) para ser clasificados taxonómicamente utilizando instrumentos ópticos de aumento como microscopio y estereoscopio para lograr una visión más a detalle de cada individuo para poder seguir las claves de clasificación del libro llamado en inglés "Introduction to the study of Insects" del autor Donald J. Borror (2004).

5.2.4 Procesamiento de muestras

Para realizar el procesamiento de las muestras lo primero que se realizó es el acondicionamiento de los datos obtenidos durante la investigación para ser evaluados en el programa estadístico SPSS. El procesamiento de los datos está dividida en pasos y estos tienen un orden a seguir. El primer paso fue el análisis descriptivo de todos los parámetros de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, el cual tiene como objetivo obtener la media y la desviación estándar de los datos por ser datos básicos que se deben obtener para lograr una mejor evaluación de los resultados. El segundo paso fue aplicar la prueba de normalidad a todos los datos donde se evaluó el P valor obtenido del test Shapiro-Wilk, el cual muestra si la distribución de los datos es normal al tener un valor mayor a 0.05. El tercer paso fue la prueba de homogeneidad de varianzas donde los datos fueron evaluados según el test de Tukey, el cual muestra si existe homogeneidad en las varianzas de los distintos parámetros evaluados al tener un P valor mayor al 0.05 (Anexo 10 y 11).

Como último paso es saber si la hipótesis nula se retiene o se rechaza, pero dependiendo de los resultados ya obtenidos anteriormente este análisis puede darse de dos formas: la primera forma se aplica cuando los datos muestran una distribución normal y homogeneidad en las varianzas. En dicho caso, se procede a realizar el análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés, Analysis of Variance) donde se muestra si existe diferencia significativa entre las muestras después de evaluar el P valor, el que permite saber si se rechaza o se retiene la hipótesis nula al mostrar un valor menor a 0.05. Por otro lado, la segunda forma de llevar a cabo el cuarto paso es realizando pruebas no paramétricas a aquellos datos que no cumplen con una distribución normal y/o homogeneidad de varianzas. Para este caso se realizan

pruebas no paramétricas para muestras independientes, utilizando el test de Kruskal-Wallis, el cual sostiene que se retiene la hipótesis nula si el P valor es mayor a 0.05.

5.3.4 Materiales

- 2 Palas planas
- Cinta métrica
- GPS
- Bolsas de papel
- Bolsas de plástico con cierre hermético
- Penetrómetro
- Termómetro de suelo
- Balanza de campo
- Baldes o recipientes
- Formato para la toma de datos
- Software
- Hardware
- Regla
- Cámara fotográfica
- Rotuladores para etiquetar muestras
- Cronómetro
- Cilindro de 12 cm de diámetro por 25 cm de largo
- Botella de plástico
- Comba
- Tamices
- Calculadora

6. Resultados

6.1 Estadística

6.1.1 Propiedades físicas del suelo

TABLA 12. RESUMEN DE PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

PROPIEDAD	PARÁMETRO	ANOVA		PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS		
		P (Tuckey)	RETIENE H0 (P>0.05)	RECHAZA H0 (P<0.05)	P (Kruskal- Wallis)	RETIENE H0 (>0.05)
Densidad Aparente	-	0,89	X			
Humedad gravimétrica	-				0,603	X
Estabilidad de agregados	Granulometría: 6.30 mm				0,015	X
	Granulometría: 4.0 mm				0,001	X
	Granulometría: 2.0 mm				0,001	X
	Granulometría: 1.0 mm	0,123	X			
	Granulometría: 0.250 mm	0,274	X			
	Granulometría: < 0.250 mm	0,001		X		
Temperatura	Profundidad: 5 cm	0,618	X			
	Profundidad: 10 cm	0,976	X			
	Profundidad: 15 cm	0,82	X			
Resistencia mecánica	Profundidad: 5 cm				0,501	X
	Profundidad: 10 cm	0,105	X			
	Profundidad:15 cm				0,613	X
Porosidad	-	0,889	X			

Los resultados estadísticos obtenidos del procesamiento de los datos de las propiedades físicas del suelo, muestran que sólo un indicador cuenta con diferencias significativas entre ambos

sistemas de uso del suelo (como se puede observar en la Tabla 12). Dicho indicador es la estabilidad de agregados, el cual está subdividido en seis parámetros, de los cuales sólo cuatro lograron rechazar la hipótesis nula. Además, se observa que de los cuatro parámetros que muestran diferencia significativa, sólo uno cumple con una distribución normal de los datos y homogeneidad de las varianzas.

6.1.2 Propiedades químicas del suelo

TABLA 13. RESUMEN DEL PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

INDICADOR	ANOVA			PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS		
	P (Tuckey)	RETIENE H ₀ (P>0.05)	RECHAZA H ₀ (P<0.05)	P (Kruskal-Wallis)	RETIENE H ₀ (>0.05)	RECHAZA H ₀ (<0.05)
pH	0,002		X			
CE	0,086	X				
MO				0,688	X	
P (ppm)	0,087	X				
K (ppm)	0,115	X				
Arena				0,857	X	
Limo				0,04		X
Arcilla				0,075	X	
CIC				0,575	X	
Ca ⁺²	0,426	X				
Mg ⁺²	0,753	X				
K ⁺				0,145	X	
Na ⁺	1	X				
Al ⁺³ + H ⁺				0,037		X
Suma de cationes	0,354	X				
Suma de bases	0,452	X				
Saturación de bases				0,336	X	

Los resultados estadísticos obtenidos del procesamiento de los datos de las propiedades químicas del suelo, indican que sólo tres indicadores muestran diferencias significativas entre ambos sistemas de uso del suelo (como se puede observar en la Tabla 13). El primer indicador es el pH al cual se le pudo aplicar la prueba ANOVA ya que cuenta con una distribución normal de los datos y homogeneidad de las varianzas. El segundo indicador es el porcentaje de limo presente en el suelo y el tercer indicador es Aluminio intercambiable ($Al^{+3} + H^{+}$), ambos indicadores se evaluaron con pruebas no paramétricas por no cumplir con los requisitos para ser evaluados con el análisis de varianzas.

6.1.3 Propiedades biológicas

Los requisitos principales para aplicar un estudio de abundancia y diversidad biológica es que exista un mayor número de muestras y/o repeticiones de las mismas, sin embargo, en este caso, sólo se han evaluado doce puntos de muestreo por sistema de uso del suelo y no han existido repeticiones, por lo que no se recomienda aplicar un estudio ecológico ni estadístico por no ser relevante, sino más bien, sólo requiere una evaluación de cantidades de individuos presentes en cada sistema de uso del suelo y clasificarlos por grupos taxonómicos como se observa en la Tabla 14. A pesar de no existir un estudio estadístico, se puede observar que existe una diferencia de 74 individuos entre ambos sistemas del suelo, lo que se convierte en resultados que muestran diferencia significativa.

TABLA 14. PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Sistema de uso del suelo	Sub parcela	Punto de muestreo	Macro fauna	Cantidad de individuos
			Grupo taxonómico	
Pastizal	1	1	Anélido	2
			Orden: Himenoptera / Familia: Formicidae	3
	2	2	Anélido	3
			Clase: diplopoda / Orden: Polyxenida	1
	3	3	Orden: Himenoptera / Familia: Formicidae	16
			Orden: Himenoptera / Familia: Formicidae	5
	4	4	Orden: Himenoptera / Familia: Formicidae	14
			Orden: Himenoptera / Familia: Formicidae	10
	5	5	Orden: Himenoptera / Familia: Formicidae	7
			0	0
	6	6	0	0
			0	0
6	6	0	0	
		0	0	
TOTAL				61
Sistema agroforestal	1	1	Clase: diplopoda / Orden: Polyxenida	2
			Anélido	1
	2	2	Clase: diplopoda / Orden: Polyxenida	3
			Orden: coleoptera / Super Familia: Curculionidae / estado metamorfosis: larva	2
	3	3	Clase: diplopoda / Orden: Polyxenida	1
			Orden: Coleoptera / Familia: elateridae /Estado metamorfosis: larva	1
	4	4	Orden: Polyxenida / Clase: Diplopoda	1
			Clase: diplopoda / Orden: Polyxenida	1
	5	5	Orden: Coleoptero / Familia: Scarabidae	2
			Orden: Coleoptera / Familia: elateridae /Estado metamorfosis: larva	1
	6	6	Anélido	1
			Clase: diplopoda / Orden: Polyxenida	1
	7	7	Orden: Himenoptera / Familia: Formicidae	40
			Clase: diplopoda / Orden: Polyxenida	1
	8	8	0	0
			0	0
	9	9	Anélido	1
			Anélido	6
10	10	Anélido	15	
		Orden: coleoptera / Super Familia: Curculionidae / estado metamorfosis: larva	1	
11	11	Orden: Himenoptera / Familia: Formicidae	40	
		Clase: diplopoda / Orden: Polyxenida	5	
12	12	Orden: Himenoptera / Familia: Formicidae	7	
		Anélido	2	
TOTAL				135

6.2 Calidad del suelo

6.2.1 Propiedades físicas del suelo

A) Estabilidad de agregados del suelo

En la siguiente Figura 18 se puede observar que el pastizal presenta mayor cantidad de suelo retenido en el tamiz de 6.30 milímetros representando el 30.18% del total de suelo de dicho sistema. Además, por mostrar mínima diferencia, cabe destacar que el siguiente tamiz que retuvo mayor cantidad de suelo es el de 0.250 milímetros representando el 27.95%. Por otro lado, se observa que el mayor valor de suelo retenido en el sistema agroforestal se da en el tamiz de 0.250 milímetros representando el 58.10%. y que son los más estables en los suelos Ultisoles así como lo encontró Alegre et. al (1984).

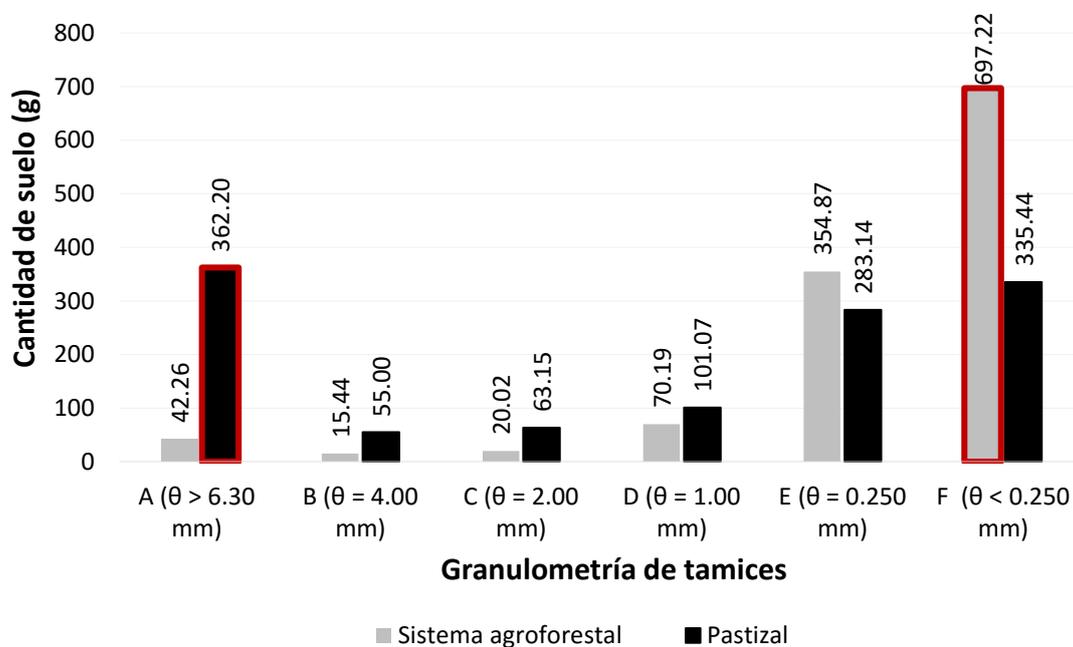


FIGURA 18. CANTIDAD DE SUELO SEGÚN LA GRANULOMETRÍA EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Además, los resultados muestran que el sistema agroforestal cuenta con 8 puntos de muestreo clasificados como “ligeramente estable” siendo esta su clasificación mayoritaria, representando el 66.66% del total del sistema. Y a su vez, el pastizal muestra que sus mayores clasificaciones son “ligeramente estable” y “estable”, cada uno contando con 4 puntos de muestreo en dicho sistema, representando el 33.33% cada clasificación. Siendo esto mostrado gráficamente en la Figura 19. Sumado a esto, cabe resaltar que el sistema agroforestal clasificó como “inestable” en tres puntos de muestreo mientras que el pastizal en ningún punto de muestreo. Y, por otro lado, se observa que el sistema agroforestal no clasificó en ningún punto de muestreo como “estable” o “muy estable”.

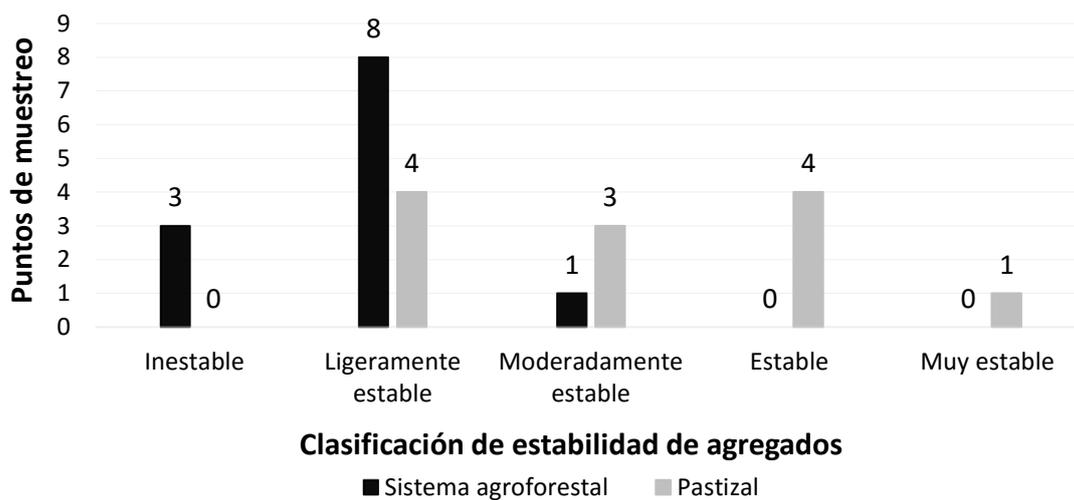


FIGURA 19. CLASIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE AGREGADOS POR PUNTOS DE MUESTREO EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Para ver todos los resultados de la estabilidad de agregados del suelo de ambos sistemas de uso del suelo ver Anexo 5.

B) Textura del suelo

Como se observa en la Figura 20, la textura del sistema agroforestal está mayoritariamente formada por limo representando el 43.7%, siguiéndole la arcilla con 43% y por último la arena con 13.3%, clasificándolo como arcillo limoso en todos sus puntos de muestreo. Siguiendo la misma relación el pastizal cuenta con 52% de limo, 34.3% de arcilla y 13.7% de arena, clasificándolo como arcillo limoso en tres puntos de muestreo, franco arcillo limoso en un punto de muestreo y en los dos restantes como franco limoso.

Para ver todos los resultados de la textura del suelo de ambos sistemas de uso del suelo ver Anexo 8.

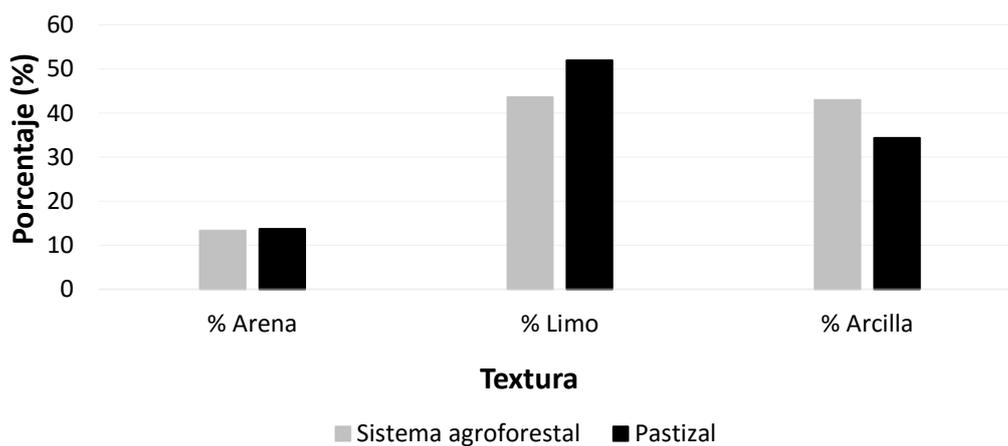


FIGURA 20. PORCENTAJE DE TEXTURAS PRESENTES EN EL SUELO EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

C) Porosidad del suelo

En la Figura 21 se observa que la diferencia del porcentaje medio de porosidad entre ambos sistemas de uso del suelo no es significativa, ya que el pastizal cuenta con 50.35% de porcentaje de porosidad media a diferencia del sistema agroforestal que cuenta con 50.03%.

Para ver todos los resultados del porcentaje de porosidad del suelo de ambos sistemas de uso del suelo ver Anexo 3.



FIGURA 21. PORCENTAJE DE POROSIDAD MEDIA DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

D) Densidad aparente del suelo

Debido a que la relación entre la densidad aparente y la porosidad del suelo es directa, se puede observar (Figura 22) nuevamente que la densidad aparente media de ambos sistemas de uso del suelo no muestra diferencia significativa, ya que el sistema agroforestal cuenta con mayor DA con un valor de 1.3242 g/cc y el pastizal con un valor de 1.3158 g/cc. Para ver todos los resultados de la densidad aparente del suelo de ambos sistemas de uso del suelo ver Anexo 2.

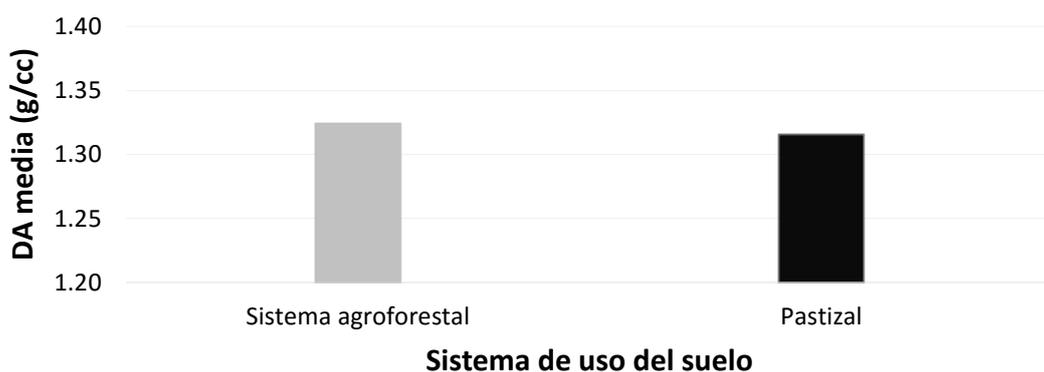


FIGURA 22. DENSIDAD APARENTE MEDIA DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

E) Resistencia mecánica del suelo

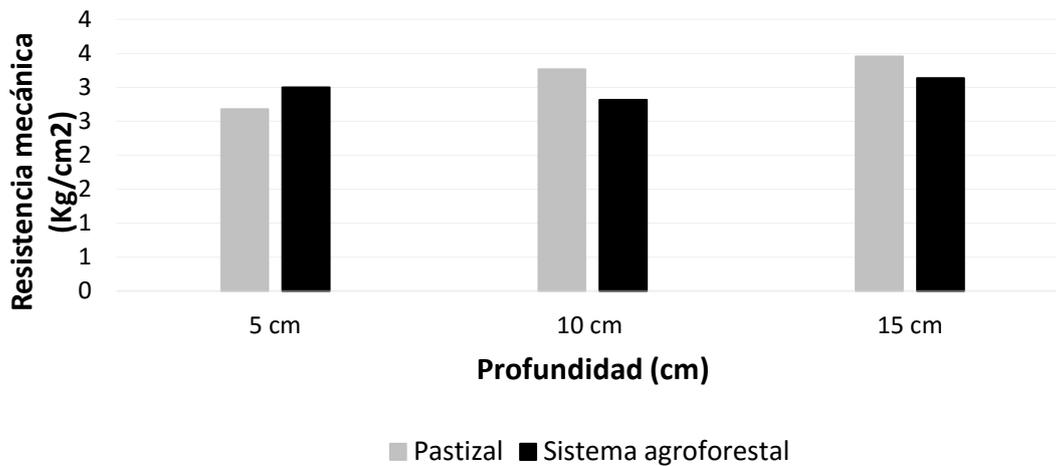


FIGURA 23. RESISTENCIA MECÁNICA DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Como se observa en la Figura 23, el sistema agroforestal mostró una resistencia mecánica, evaluada a 5 centímetros de profundidad, mayor que el pastizal, con unos valores de 2,68 kg/cm² y 3 kg/cm² respectivamente, clasificándolos a ambos sistemas como suelos “compactados”. A su vez, el pastizal mostró una resistencia mecánica, evaluada a 10 centímetros de profundidad, mayor que a la del sistema agroforestal, con unos valores de 3,27 kg/cm² y 2,81 kg/cm² respectivamente, clasificando al pastizal como suelo “muy compactado” y al sistema agroforestal como “compactado”. Y, por último, el pastizal mostró una resistencia mecánica, evaluada a 15 centímetros de profundidad, mayor que a la del sistema agroforestal, con unos valores de 3,46 kg/cm² y 3,13 kg/cm² respectivamente, clasificándolos a ambos sistemas como suelos “muy compactados”.

Para ver todos los resultados de la resistencia mecánica del suelo de ambos sistemas de uso del suelo ver Anexo 7.

F) Temperatura del suelo

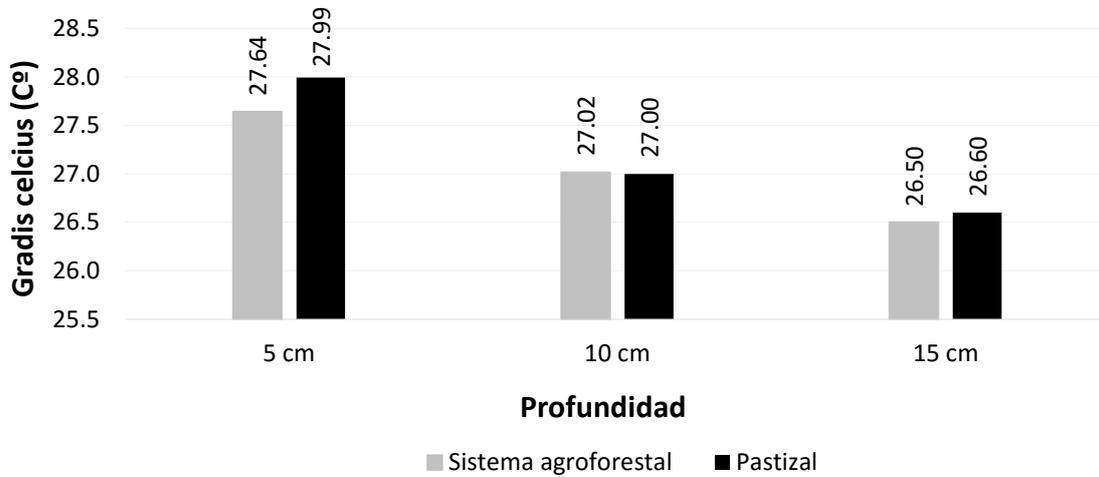


FIGURA 24. TEMPERATURA MEDIA DEL SUELO EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Como se puede observar a simple vista en la Figura 24 no existe variabilidad significativa entre las temperaturas del suelo a diferentes profundidades de ambos sistemas de uso del suelo. La diferencia entre ambos sistemas, en la toma de la temperatura a 5 centímetros de profundidad, es sólo de 0.35 grados centígrados de diferencia, mientras que en la toma de temperatura a 10 centímetros de profundidad existe menor diferencia entre ambos sistemas con un valor de 0.02 grados centígrados, y por último en la toma de temperatura a 15 centímetros se observa una diferencia de 0.10 grados centígrados.

Para ver todos los resultados de la temperatura del suelo de ambos sistemas de uso del suelo ver Anexo 6.

G) Humedad gravimétrica

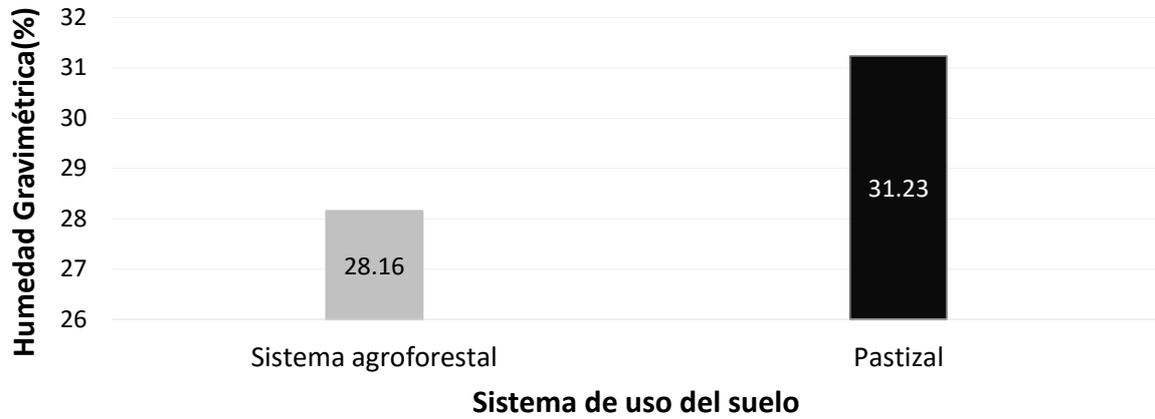


FIGURA 25. PORCENTAJE MEDIO DE HUMEDAD GRAVIMÉTRICA (HG) EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

En la Figura 25 se puede observar que el pastizal supera al sistema agroforestal en el porcentaje medio de humedad gravimétrica por un valor de 3.07%.

Para ver todos los resultados de la humedad gravimétrica del suelo de ambos sistemas de uso del suelo ver Anexo 4.

6.2.2 Propiedades químicas del suelo

Para ver todos los resultados de las propiedades químicas del suelo de ambos sistemas de uso del suelo ver Anexo 1.

A) Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) del suelo



FIGURA 26. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC) MEDIO DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Como se puede observar en la Figura 26, el pastizal cuenta con mayor capacidad de intercambio cationico, mostrando una diferencia entre ambos sistemas de uso del suelo de 1.14 meq/100g, por lo que se puede concluir que el sistema agroforestal tiene menor capacidad de retener nutrientes.

B) Potencial de hidrógeno (pH) del suelo

A pesar de que el ANOVA realizado a los resultados obtenidos muestra que existe una diferencia significativa entre ambos sistemas de uso del suelo, ya que como se muestra en la Figura 27, el sistema agroforestal cuenta con menor pH que el pastizal, clasificando al primero como ligeramente ácido y al segundo como fuertemente ácido.

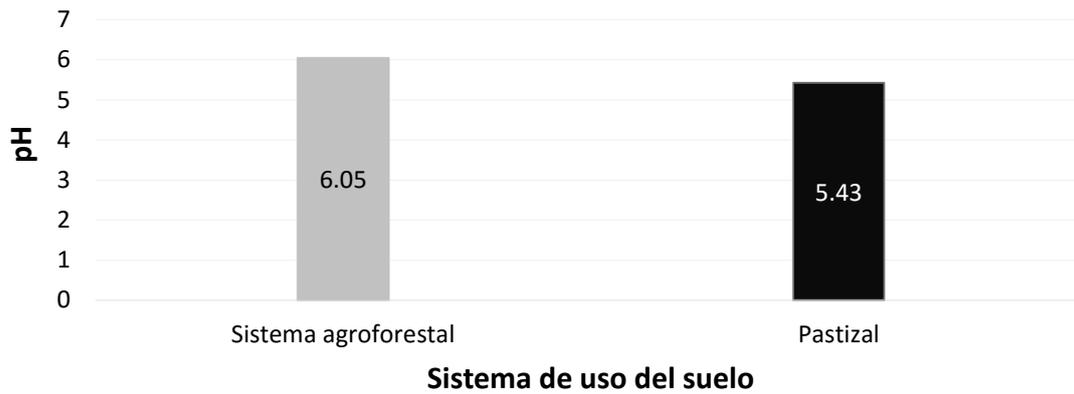


FIGURA 27. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) MEDIO DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

C) Salinidad del suelo

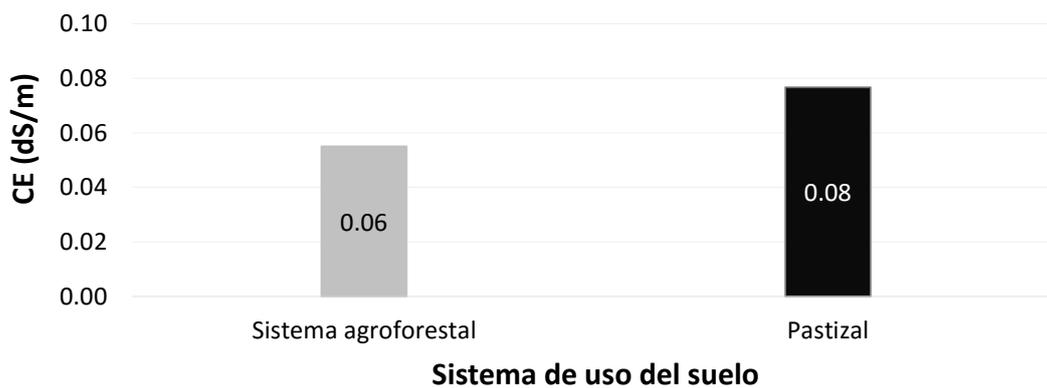


FIGURA 28. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE) MEDIA DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Como se puede observar en la Figura 28, no existe diferencia significativa entre ambos sistemas de uso del suelo ya que esta tiene un valor de 0.02 dS/m, clasificándolos a ambos sistemas como “muy ligeramente salinos”.

D) Materia orgánica

Como se observa en la Figura 29 la diferencia en el porcentaje de materia orgánica del suelo entre ambos sistemas de uso del suelo es de 0.25%, lo que significa que ambos sistemas entran en la clasificación “nivel medio” de materia orgánica presente en el suelo.

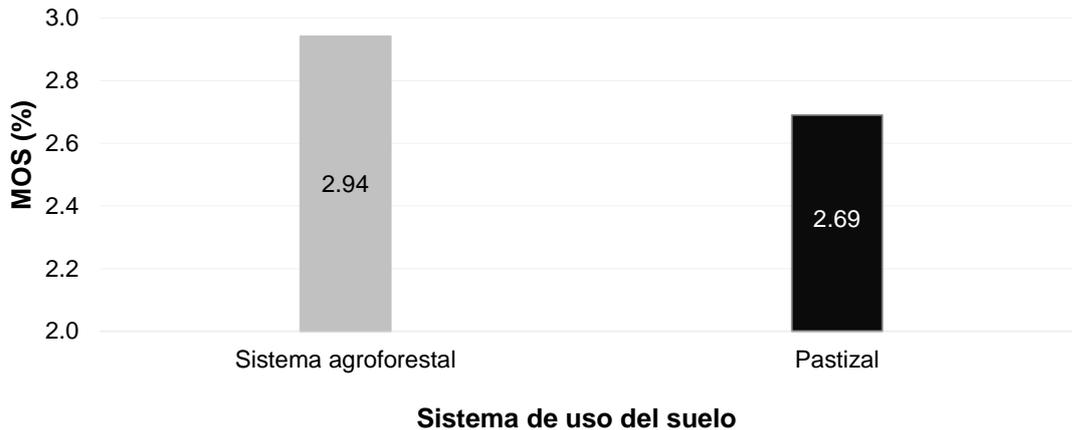


FIGURA 29. PORCENTAJE MEDIO DE MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO (MOS) EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

E) Macroelementos del suelo

Como se observa en la Figura 30 la diferencia en la cantidad media de fósforo (P) disponible del suelo entre ambos sistemas de uso del suelo es de 4.25 ppm, lo que significa que el sistema agroforestal clasifica como “nivel bajo” y el pastizal como “nivel medio” de fósforo disponible en el suelo.

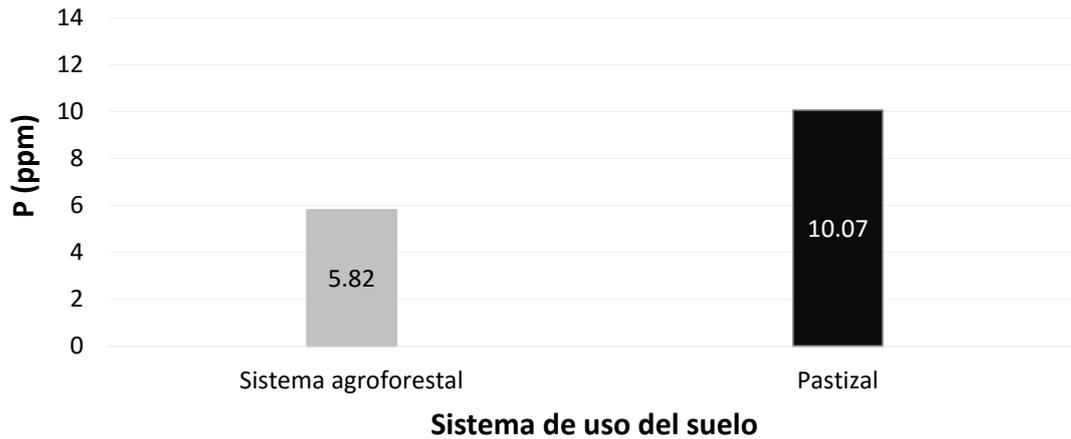


FIGURA 30. CANTIDAD MEDIA DE FÓSFORO (P) EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Como se observa en la Figura 31 la diferencia en la cantidad media de potasio (K) del suelo entre ambos sistemas de uso del suelo es de 26.67 ppm, lo que significa que ambos sistemas clasifican como “nivel medio” de potasio disponible en el suelo.

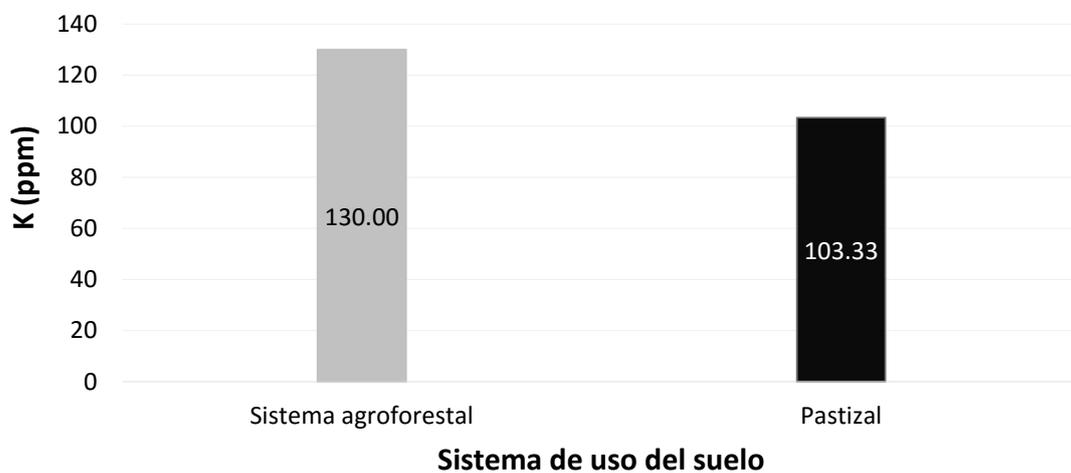


FIGURA 31. CANTIDAD MEDIA DE POTASIO (K) EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO



FIGURA 32. CANTIDAD MEDIA DE CA²⁺ EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Como se observa en la Figura 32 la diferencia de Ca²⁺ entre ambos sistemas de uso del suelo es de 1.22 meq/100g.



FIGURA 33. CANTIDAD MEDIA DE MG²⁺ EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Como se observa en la Figura 33 la diferencia de Mg²⁺ entre ambos sistemas de uso del suelo es de 0.12 meq/100g.

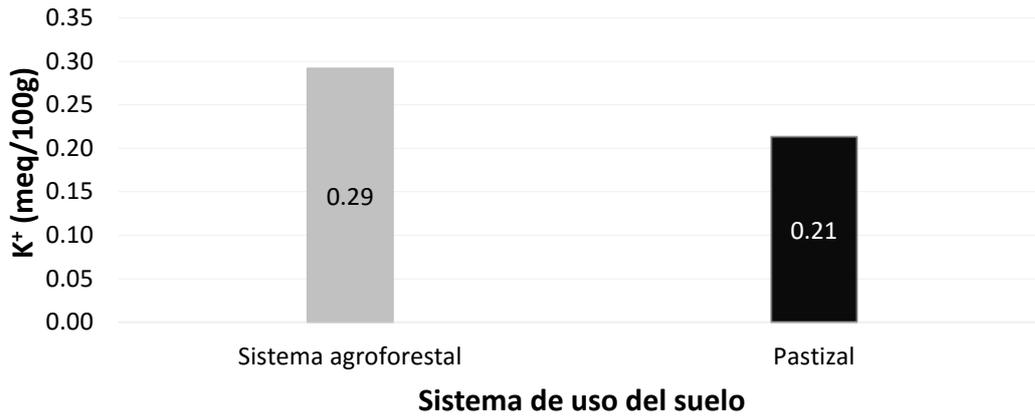


FIGURA 34. CANTIDAD MEDIA DE K⁺ EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Como se observa en la Figura 34 la diferencia de K⁺ entre ambos sistemas de uso del suelo es de 0.08 meq/100g.



FIGURA 35. CANTIDAD MEDIA DE NA⁺ EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Como se observa en la Figura 35 no existe diferencia de Na⁺ entre ambos sistemas de uso del suelo.



FIGURA 36. CANTIDAD MEDIA DE Al³⁺ + H⁺ EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Como se observa en la Figura 36 la diferencia de Al³⁺ + H⁺ entre ambos sistemas de uso del suelo es de 0.10 meq/100g.

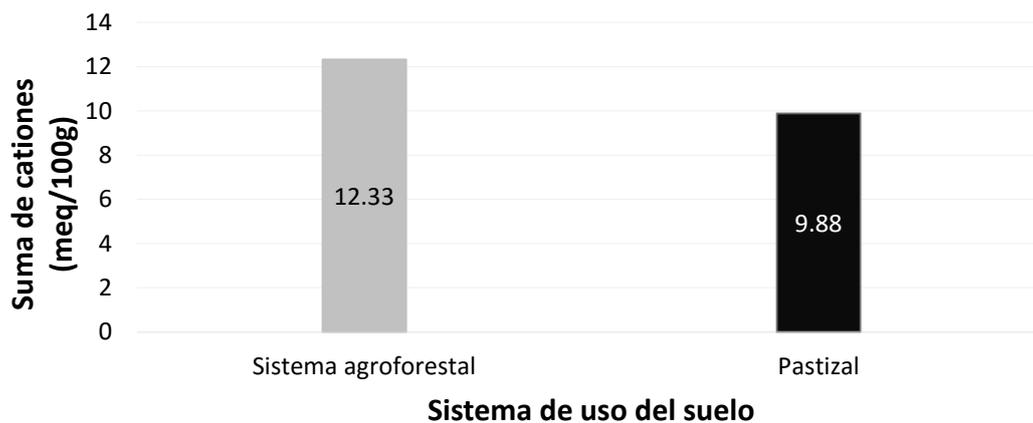


FIGURA 37. MEDIA DE SUMA DE CATIONES EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Como se observa en la Figura 37 la diferencia de la media de suma de cationes entre ambos sistemas de uso del suelo es de 2.45 meq/100g.

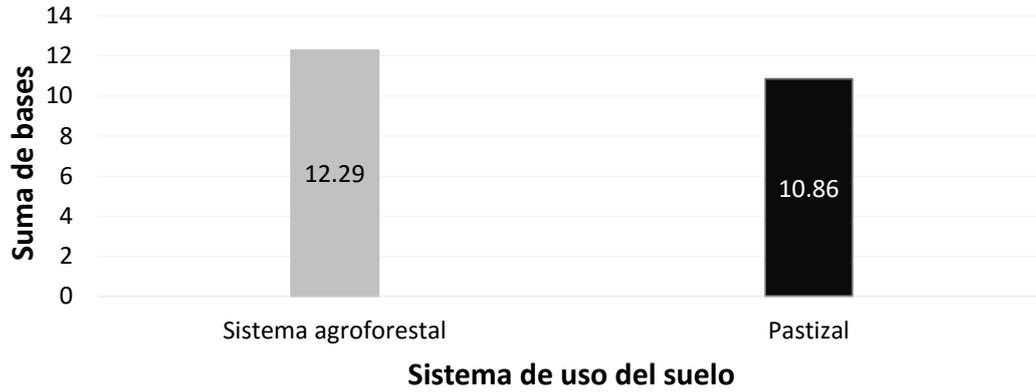


FIGURA 38. MEDIA DE SUMA DE BASES EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Como se observa en la Figura 38 la diferencia de la media de suma de bases entre ambos sistemas de uso del suelo es de 1.43



FIGURA 39. MEDIA DE SATURACIÓN DE BASES EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Como se observa en la Figura 39 la diferencia de la media de saturación de bases entre ambos sistemas de uso del suelo es de 13.5%

6.2.3 Propiedades biológicas del suelo

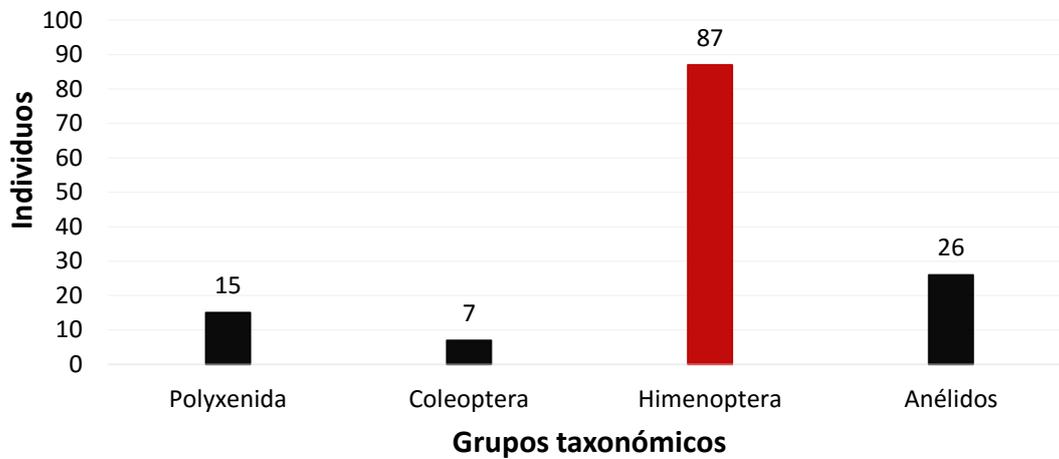


FIGURA 40. SISTEMA AGROFORESTAL – GRUPOS TAXONÓMICOS PRESENTES EN MUESTRAS DE SUELO

Como se muestra en Figura 40, el grupo taxonómico con más presencia en el sistema agroforestal fue el orden Himenoptera representando el 64.44% del total de individuos, en segundo puesto se encuentran los anélidos representando el 19.25% del total de individuos, en tercer lugar, el orden Polyxenida representando el 11.11% y por último el orden Coleoptera representando sólo el 5.19%.

Además, se sabe que el total de individuos del orden Himenoptera pertenecen a la familia Formicidae. Y, por otro lado, como se observa en la Figura 41, los individuos del orden Coleoptera se encuentran divididos en tres familias distintas: Curculionidae, Elateridae y Scarabidae.

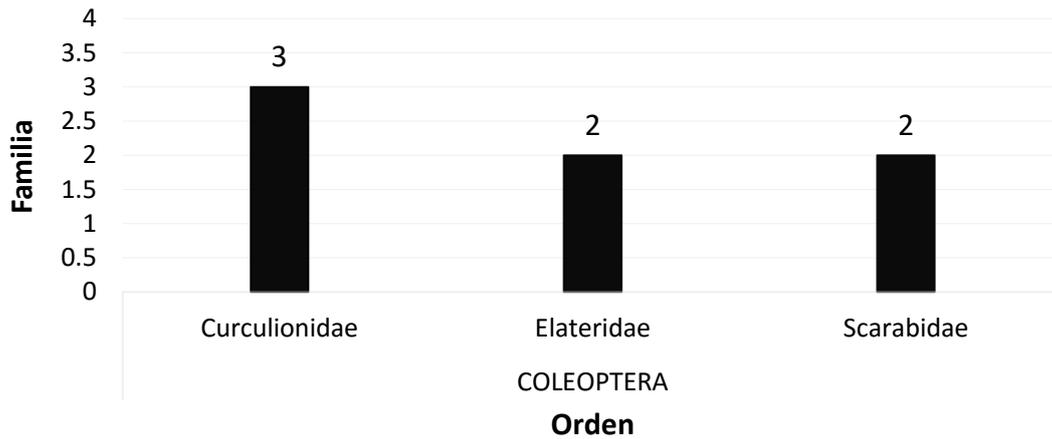


FIGURA 41. SISTEMA AGROFORESTAL – FAMILIAS PRESENTES DENTRO DEL ORDEN COLEOPTERA

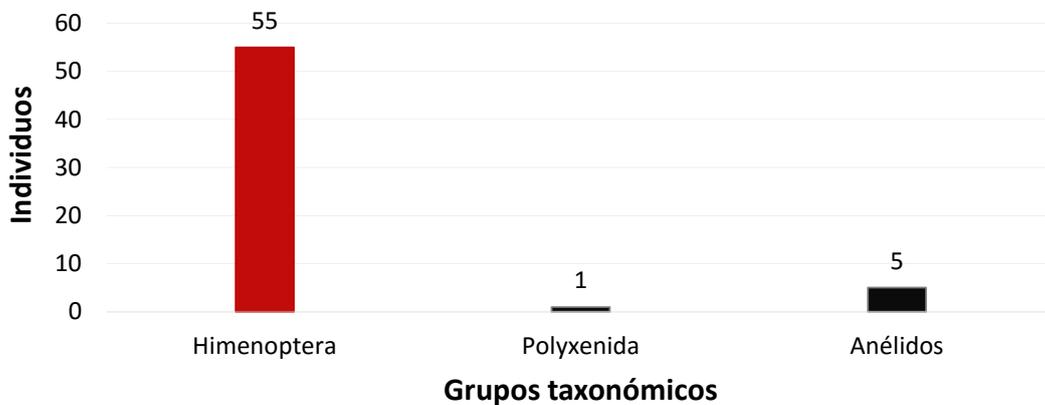


FIGURA 42. PASTIZAL – GRUPOS TAXONÓMICOS PRESENTES EN MUESTRAS DE SUELO

Como se muestra en Figura 42, el grupo taxonómico con más presencia en el pastizal es el orden Himenoptera representando el 90.16% del total de individuos, en segundo puesto se encuentran los anélidos representando el 8.19% del total de individuos y por último el orden Polyxenida representando sólo el 1.64%. Además, se sabe que el total de individuos del orden Himenoptera pertenecen a la familia Formicidae.

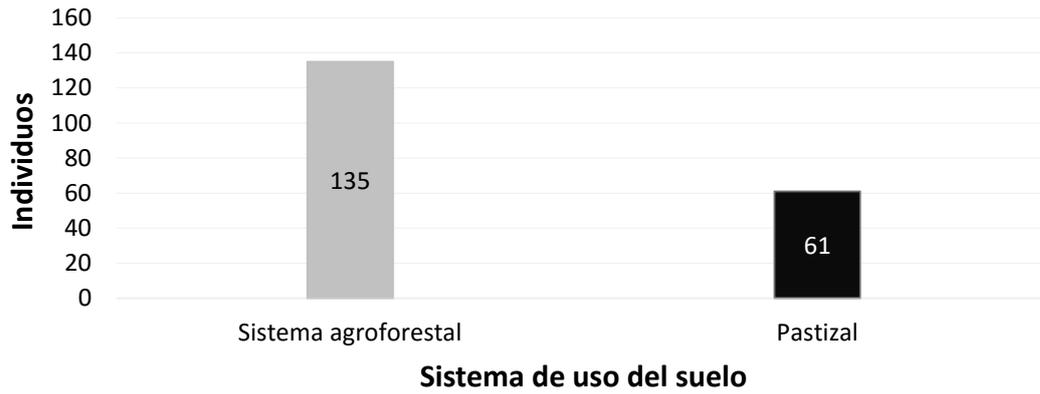


FIGURA 43. MACROFAUNA PRESENTE EN MUESTRAS DE SUELO EN AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

Sumado a esto, se puede observar en la Figura 43 que la diferencia de individuos presentes en ambos sistemas de uso del suelo corresponde a 74 individuos de diferentes grupos taxonómicos, permitiendo concluir que la mayor cantidad de individuos por gran diferencia se encuentra en el sistema agroforestal.

7. Discusión

Como se observó anteriormente en los resultados, los pH medios en ambos sistemas de uso del suelo muestran diferencias significativas, debido a que el sistema agroforestal cuenta con un pH de 6.05 y el pastizal de 5.43, lo cual clasifica al primero como un suelo ligeramente ácido y al segundo como fuertemente ácido. Esto se relaciona directamente con el porcentaje de humedad gravimétrica, debido a que la lluvia es uno de los principales factores que causan la acidez en los suelos (Toledo, 2016), prueba de esto son los resultados obtenidos donde el pastizal al tener menor pH muestra mayores niveles de humedad superando al sistema agroforestal en 3.07%. Además, cuando se presentan fuertes lluvias el agua atraviesa el suelo hasta estratos más profundos arrastrando nutrientes del suelo y en especial los catiónicos (Toledo, 2016), lo cual también está reflejado en los resultados ya que el pastizal presenta menores niveles de calcio, magnesio y potasio, mostrando una diferencia entre ambos sistemas con valores de 1.22, 0.12 y 0.08 meq/100g respectivamente; lo cual permite que espacios dejados por estos sean ocupados por hidrógenos por reacciones químicas propias del suelo. Cuando esto ocurre, la consecuencia es que cuando hay muchos hidrógenos libres, estos ingresan a la estructura de las arcillas, donde desplazan y reemplazan al aluminio, dejándolo disponible en el suelo para ser absorbido por las plantas causando en muchos casos toxicidad (Toledo, 2016). Donde en dicha investigación los resultados muestran que los niveles de aluminio intercambiable del suelo en el sistema agroforestal muestran un valor de 0.04 meq/100g y en el pastizal un valor de 0.14 meq/100g, mostrando en el primero menor presencia de Al. El bajo nivel de nutrientes, especialmente con el fósforo disponible para el SAF comparado con el pastizal, es la gran diversidad de especies forestales tanto maderables como no maderables y las coberturas que están continuamente absorbiendo nutrientes y

agotando el suelo y se crea un desbalance entre lo que se tiene como reserva y lo que se extrae y muchas veces este reciclaje en los SAF toma mucho tiempo para que se estabilice ya que las especies arbóreas usan muchos otros mecanismos y procesos microbiológicos para abastecerse de nutrientes y que los pastos no lo tienen y además los aportes animales influyen esta dinámica de los nutrientes. (Alegre et. al 2017). Otro nutriente importante es el carbono dado por la materia orgánica y que el SAF tuvo contenidos de 2.9% siendo ligeramente superiores al pastizal que presentó 2.7% y a pesar de que no hay diferencias significativas en cantidad de la MOS, en el SAF puede ser de mejor calidad que el de los pastos y que no se analizó en este estudio y en otros trabajos se encontraron que mayor cantidad de ácidos húmicos y fúlvicos mejoran las propiedades físicas de los suelos así como la estabilidad de los agregados que fue reportado por Alegre et. al 1984, en suelos similares al estudio.

Por otro lado, en Colombia se realizó una investigación titulada “Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempos de uso en laderas andinas” donde los autores Volverás y Amézquita (2009) concluyeron que, al aumentar la intensidad del uso del suelo, aumentan los agregados de mayor tamaño generando menor estabilidad estructural al suelo. Esto se refleja en los resultados obtenidos, ya que ambos sistemas muestran diferencias significativas en los tamaños de granulometría más grandes medidos en dicha investigación, donde el pastizal supera al sistema agroforestal en el tamiz de $\theta > 6.30$ mm por 26.66% (siendo esta la mayor diferencia obtenida), en el tamiz de $\theta = 4.00$ mm por 3.29% y en el tamiz de $\theta = 2.00$ mm superó por 3.59%, lo cual muestra con valores reales la degradación sufrida por la intensidad del uso del suelo en el pastizal.

Además, también se debe hacer hincapié en el resultado que obtuvo el sistema agroforestal en la evaluación del tamiz más pequeño ($\theta < 0.250$ mm), donde muestra que la presencia de dicha granulometría fue representada por un valor de 58.10%. Con lo que se puede concluir que el sistema agroforestal está mayoritariamente compuesto por agregados de menor tamaño los cuales mejoran las propiedades físicas del suelo y esto fue reportado por Alegre et al 1984 en suelos Ultisoles de Yurimaguas y Entisoles de Tarapoto por Arévalo et al (2016). Lo mismo se puede constatar en una investigación realizada en Argentina, titulada “Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas”, donde se concluye que cuando el nivel de agregación disminuye (es decir, el tamaño del agregado disminuye) la estabilidad estructural del suelo aumenta, siendo éste menos vulnerable a la pérdida de nutrientes, por consecuencia de la erosión hídrica y lavado del suelo (Cabria et al, 2002).

Sumado a esto, también se observa en los resultados obtenidos que la resistencia mecánica del suelo a las profundidades de 10 y 15 centímetros el pastizal cuenta con valores mayores que el SAF por ser más susceptibles a la compactación.

Por otro lado, se puede observar que el sistema agroforestal muestra una diferencia de 74 individuos de macro fauna comparándolo con el pastizal, lo cual puede ser explicado por varios factores principalmente del manejo del suelo en ambos sistemas. El sistema agroforestal cuenta con 59 especies diferentes de cobertura vegetal a diferencia del pastizal que sólo cuenta con una sola especie, creando el SAF un sistema agroecológico, donde la diversidad de especies vegetales permite la diversidad en la macro fauna del suelo. Además, en el pastizal

suelen realizar una quema anual donde no sólo se ven afectadas las especies vegetales sino, también, todas las formas de vida que existan en el suelo y, por último, la diferencia más grande es el estado de los sistemas de uso del suelo, donde se observa que el sistema agroforestal se encuentra en recuperación después de haber sido degradado por la agricultura convencional, y el pastizal sigue siendo utilizado intensivamente y en monocultivo, no beneficiando a la biodiversidad en ningún nivel.

8. Conclusiones

- Se cuantificaron las propiedades físicas del suelo en ambos sistemas de uso del suelo y según la relevancia de los resultados se concluye lo siguiente:

- A) El pastizal presento contenidos más altos de humedad gravimétrica del suelo que el SAF lo cual puede explicar los menores valores de densidad aparente y mayor porosidad
- B) El sistema agroforestal mostró mayor presencia de agregados de menor tamaño (tamiz de $\theta < 0.250$ mm) que el pastizal con valores de 58.10% y 27.95% respectivamente, los cuales generan mayor estabilidad estructural que los agregados de mayor tamaño
- C) Por el contrario, el pastizal mostró mayor presencia de agregados de mayor tamaño (tamices de $\theta < 6.30$ mm, $\theta < 4.00$ y $\theta < 2.00$) que el sistema agroforestal, superándolo con una diferencia en los valores de 26.66%, 3.29% y 3.59% respectivamente, mostrando una vez más el uso intensivo del suelo

- Se cuantificaron las propiedades químicas del suelo en ambos sistemas de uso del suelo y según la relevancia de los resultados se concluye lo siguiente:
 - A) El pH del pastizal mostró un valor de 5.43 mostrando diferencias significativas comparándolo con el pH del SAF el cual cuenta con un valor de 6.05, posicionando al SAF como más apto para la productividad del suelo por clasificarse como ligeramente ácido a comparación del pastizal el cual se clasifica como fuertemente ácido
 - B) El pastizal presentó menores niveles de calcio, magnesio y potasio que el SAF
 - C) El SAF mostró menor acidez cambiante dado por el aluminio intercambiable con un valor de 0.04 meq/100g a comparación del pastizal que mostró un valor de 0.14 meq/100g
 - D) El SAF muestra valores más bajos de macro nutrientes debido al alto consumo de estos por parte de la gran variedad de especies vegetales presentes en el sistema, a diferencia del pastizal que además de ser monocultivo, el pasto *Brachiaria sp* requiere menor cantidad de nutrientes para su desarrollo.

- Se cuantificaron las propiedades biológicas y se concluyó lo siguiente:

El SAF superó la cantidad de individuos de macro fauna presentes en el suelo al pastizal con un valor de 74 individuos por el mal manejo con quemas anuales y un uso intensivo como monocultivo que redujo la biodiversidad.

9. Recomendaciones

- Realizar mayores mediciones en diferentes épocas para obtener resultados más representativos debido a que estas evaluaciones son muy variables y que dependen también de las condiciones climáticas como son las precipitaciones, las cuales afectan en diversas propiedades
- Continuar con la investigación para mostrar la dinámica en los cambios en la calidad del suelo a lo largo de los años, para notar diferencias significativas que motiven la creación de sistemas agroforestales

10. Referencias bibliográficas

- Alegre J., Lao C., Vásquez J., Duran E., Moya M. & Lavelle P. (2019). Socialización de los indicadores de las propiedades químicas, físicas y biodiversidad del suelo para la generación de servicios ecosistémicos (p. 7-10)
- Alegre J, Lao P, Silva, C and Schrevens E. 2017. Recovering degraded lands in the Peruvian amazon by cover crops and sustainable agroforestry systems. *Peruvian Journal of Agronomy*: 1(1):1-7 ISSN (Electronic version): <http://dx.doi.org/20.21704/pja.v1i1.1005>
- Alegre, J., Vega, R., Gutiérrez, P., De Mendiburu, F. & Schrevens, E. (2016). Potential release of macronutrients and C sequestration of different land use systems in the peruvian amazon. (p.2-8). Lima, Peru.
- Alegre, J.C., and D.K. Cassel. 1984. Effect of Land Clearing and Soil Management of Aggregate Stability and Organic Carbon in an Ultisol in the Amazon Basin. In: *Agron. Abstrs. Amer. Soc. Agron. Ann. Mtgs. Las Vegas, Nevada*. p 39.
- Arévalo E., Canto M., Alegre J., Loli O and Julca A. 2016. Changes in soil physical And chemical properties in long term improved natural and traditional agroforestry management system of cacao genotypes in Peruvian amazon. *PLoS ONE* 10(7) e0132147. doi:10.1371/journal.
- Ballesta, R. y Gonzáles-Quiñones, V. (2006). La calidad de suelos como medida para su conservación (vol. 13) (p. 128-132). Madrid, España.
- Barbaro L., Karlanian, M. & Mata, D. (S.F). Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para plantas (P. 7)
- Bazan R. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego (p.15-19)

- Center for International Forestry Research (CIFOR) (2006). Rehabilitación de áreas degradadas en la Amazonía peruana, revision de experiencias y lecciones aprendidas (p.35). Indonesia
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (2013). Estabilidad de los agregados del suelo tamizando en húmedo, guía útil para comparar las prácticas de manejo de cultivo (p. 1-4). México.
- Diccionario Inverso de la Real Academia Española (DIRAE), 2014. Definición de pastizal. Recuperado de <https://dirae.es/palabras/pastizal>
- F. Cabria, M. Calandroni & G. Monterubbianesi. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas (2002). (p.76-79)
- FAO. (2005). Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra: Conceptos de clasificación y manual para el usuario. Versión 2 del programa (p.5). Roma, Italia.
- Flores, A., Gálvez, V., Hernández, O., López, J., Obregón, A., Orellana, R., Otero, L. & Valdés, M. (1996). Salinidad un nuevo concepto (P.137). Colima, MX. Editorial Colima.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2009). Guía para la descripción de los suelos. (p. 29-31). Roma, Italia
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. (p.1-4). Roma, Italia.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2009). La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones (p.21-25). Roma, Italia.

- Food and Agriculture Organization (FAO) (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales: Términos y Definiciones. (p. 26). Roma, Italia.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (2015). Promoviendo la agroforestería en la agenda política. (p. 1-9). Haití.
- Food and Agriculture Organization (FAO) (S.F). Ganadería y deforestación. (p. 1-6). Roma, Italia.
- Food and Agriculture Organization (FAO) y Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA) (2002). Los fertilizantes y su uso (p. 6-9). París, Francia.
- Gaitán, J. & Penón, E. (2003). Efecto de la resistencia mecánica del suelo sobre la densidad de raíces finas de *Eucalyptus globulus*. (p. 125- 128). Buenos Aires, Argentina.
- Haynes, L. (2011). Agroforestry for soil regeneration: ecological and social impacts of alternative methods of coffee production. (p. 1-36). Minas Gerais, Brazil.
- Inkaterra Asociación (ITA) (2019). Información de Inkaterra Asociación. Recuperado de <https://www.inkaterra.com/inkaterra-asociacion-org>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2013). Territorio y suelo (p. 27-29). Lima, Perú
- J. Zavala – Cruz, D. Palma – López, C. Fernández, A. López y E. Shirma (2011). Degradación y conservación de suelos en la cuencia del río Grijalva, Tabasco (p. 3-13). Tabasco, México
- León, G. (2011). Edafología 1. (p. 56-58). Colombia
- Masebo, N., Abdelkadir, A. & Mohammed, A. (2014). Evaluating the effect of agroforestry based soil and wáter conservation measures on selected soil properties. (p.1-6). Tembaro, Ethiopia.

- Meléndez, G. & Soto, G. (2003). Residuos orgánicos y la materia orgánica del suelo (P. 1-5). Sabanilla, Costa Rica
- Mendieta, M. & Rocha, L.(2007). Sistemas agroforestales. Managua, Nicaragua.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2009). Decreto supremo que aprueba el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor (D.S - 017 -2009). Lima, Perú.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2015). Decreto supremo que aprueba el reglamento para la gestión de las plantaciones forestales y los sistemas agroforestales (D.S - 020 - 2015). Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM) (2016). Conservando los bosques en un contexto de cambio climático como aporte al crecimiento verde (p. 26-36). Lima, Perú
- Ministerio del Ambiente. (2014). Guía para el muestreo de suelos, en el marco del DS N° 002 – 2013 – MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el suelo. (p. 3-14) Lima, Perú.
- Monitoring of the Andean Amazon Project (MAAP), (2017). Reporte deforestación. Recuperado de <http://www.actualidadambiental.pe/?p=43312>
- Oficina de Gestión de la Información y Estadística. (2016). Carpeta geo referencial región Madre de Dios, Perú. (p. 5-17). Lima, Perú.
- Otsuki, T. (2010). Estimating agroforestry`s effect on productivity in kenya: An application of a treatment effects model. (p. 2-21). Osaka, Japón.
- Rebollo, S. y Gómez-Sal, A. (2003). Aprovechamiento sostenible de los pastizales. (p. 1-3). Alcalá de Henares, España.

- Regalado, C., Ritter, A., Álvarez, J. & Muñoz, R. (S.F). Medida de la sortividad con el penetrómetro de Philip-Dunne. Florida, EEUU.
- Roberto Ramírez Carvajal (1997). Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (p. 12-13). Bogotá, Colombia
- Rucks L., García f., Kaplán A., Ponce de León J. & Hill M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Departamento de suelos y aguas, Facultad de agronomía de la Universidad de la República. Montevideo, Uruguay.
- Sánchez, M. (S.F). Sistemas agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en Latinoamérica tropical (P.3-6). Roma, Italia
- Senra, A. (2009). Impacto del manejo del ecosistema del pastizal en la fertilidad natural y sostenibilidad del suelo. (p.4) La habana, Cuba.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), Global Green Growth Institute, Deutsches Institut für Entwicklungspolitik (DIE) & German Development Institute (2015). Interpretación de la dinámica de la deforestación en el Perú y lecciones aprendidas para reducirla (p. 19-20). Lima, Perú
- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) (2017). Cifras ambientales 2017. (p. 6). Lima Perú
- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) (2019). Pérdida de la cobertura vegetal registrada en Madre de Dios. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/1630>
- Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA). Boletín informativo de deforestación (2017). Recuperado de <https://www.actualidadambiental.pe/?p=43312>

- Stadler, N. (2011). El uso sostenible del suelo con sistemas agroforestales. (p. 1-8). Cochabamba, Bolivia.
- Universidad Nacional de Córdoba (S.F). Determinación del contenido hídrico del suelo (p.2). Córdoba, Argentina.
- USDA. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. (p. 22). Washington DC, EE.UU.
- Vásquez, A. (2011). Sistema de captación del agua de lluvia en laderas semiáridas de la sierra y su impacto en el proceso de desertificación y cambio climático. (Tesis para optar el grado de Doctor). UNALM.
- Vásquez, A. & Tapia, M. (2011). Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la sierra peruana. (p.1-18). Lima, Perú.
- Vicéns, J., Herrarte, A. & Medinas, E. (2005). Análisis de la varianza (ANOVA). (p. 2-7)
- Volverás B. & Amézquita E. (2009). Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia (p.36-39)
- World Wildlife Fund (WWF). (2015). La deforestación en el Perú. (p. 1-9). Lima, Perú.

11. Abreviaturas

- FAO: Food and Agriculture Organization
- UNALM: Universidad Nacional Agraria La Molina
- UCSUR: Universidad Científica del Sur
- ITA: Inkaterra Asociación
- SAF: Sistema Agroforestal
- AFS: Agroforestry System
- MOS: Materia Orgánica del Suelo
- CE: Conductividad Eléctrica
- pH: Potencial de Hidrógeno
- CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

12. Anexos
ANEXO 1. RESULTADOS DE PROPIEDADES QUÍMICAS DE AMBOS SISTEMAS DE USO DEL SUELO

PROPIEDADES QUÍMICAS																
Sistema de uso del suelo	Sub parcela	Ph (1:1)	C.E (1:1) Ds/M	CaCO3 (%)	M.O (%)	P (ppm)	K (ppm)	CIC (meq/100 g)	Cationes cambiabiles (meq/100g)					Suma de cationes	Suma de bases	% sat. de Bases
									Ca +2	Mg +2	K +	Na +	Al +3 + H+			
Pastizal	1	5,29	0,08	0	3,68	5,8	109	21,76	10,1	3,02	0,22	0,14	0,1	13,57	13,47	62
	2	5,54	0,08	0	3,91	10,1	114	22,08	10,8	3,22	0,24	0,18	0,1	14,54	14,44	65
	3	5,68	0,1	0	5,19	6,7	119	22,72	9,23	3,13	0,22	0,2	0,1	12,88	12,78	56
	4	5,45	0,07	0	1,01	19,5	114	17,12	7,7	2,42	0,18	0,17	0,15	10,62	10,47	61
	5	5,21	0,06	0	0,97	10,1	79	11,84	5,05	1,78	0,24	0,22	0,25	7,54	7,29	62
	6	5,4	0,07	0	1,38	8,2	85	12,32	4,73	1,6	0,18	0,19	0,15	0,15	6,71	54
Sistema agroforestal	1	6	0,08	0	3,68	8,9	153	16,32	11,3	3,1	0,47	0,23	0	15,09	15,09	92
	2	5,86	0,04	0	2,21	3,9	94	14,72	7,37	2,78	0,2	0,17	0,1	10,63	10,53	72
	3	6,39	0,05	0	2,11	3,5	118	17,28	12,2	3,05	0,32	0,17	0	15,74	15,74	91
	4	6	0,04	0	2,62	7,8	103	16,8	10,5	3,13	0,25	0,21	0	14,09	14,09	84
	5	5,59	0,03	0	2,34	3,7	185	17,12	5,79	2,33	0,33	0,16	0,15	8,76	8,61	50
	6	6,45	0,09	0	4,69	7,1	127	18,72	7,8	1,53	0,18	0,16	0	9,67	9,67	52

ANEXO 2. RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE

DENSIDAD APARENTE			
Sistema de uso del suelo	Sub parcela	Punto de muestreo	Densidad aparente (g/cc)
Pastizal	1	1	1,31
		2	1,13
	2	3	1,45
		4	1,49
	3	5	1,07
		6	1,01
	4	7	1,34
		8	1,42
	5	9	1,46
		10	1,46
	6	11	1,23
		12	1,42
Sistema agroforestal	1	1	1,38
		2	1,52
	2	3	1,41
		4	1,38
	3	5	1,06
		6	1,28
	4	7	1,33
		8	1,18
	5	9	1,3
		10	1,39
	6	11	1,27
		12	1,39

ANEXO 3. RESULTADOS DE POROSIDAD

POROSIDAD					
Sistema de uso del suelo	Sub parcela	Punto de muestreo	Densidad aparente (g/cc)	Densidad real gr/cc	% Porosidad
Pastizal	1	1	1,31	2,65	50,57
		2	1,13	2,65	57,36
	2	3	1,45	2,65	45,28
		4	1,49	2,65	43,77
	3	5	1,07	2,65	59,62
		6	1,01	2,65	61,89
	4	7	1,34	2,65	49,43
		8	1,42	2,65	46,42
	5	9	1,46	2,65	44,91
		10	1,46	2,65	44,91
	6	11	1,23	2,65	53,58
		12	1,42	2,65	46,42
Sistema agroforestal	1	1	1,38	2,65	47,92
		2	1,52	2,65	42,64
	2	3	1,41	2,65	46,79
		4	1,38	2,65	47,92
	3	5	1,06	2,65	60,00
		6	1,28	2,65	51,70
	4	7	1,33	2,65	49,81
		8	1,18	2,65	55,47
	5	9	1,3	2,65	50,94
		10	1,39	2,65	47,55
	6	11	1,27	2,65	52,08
		12	1,39	2,65	47,55

ANEXO 4. RESULTADOS DE HUMEDAD GRAVIMÉTRICA

HUMEDAD GRAVIMÉTRICA			
Sistema de uso del suelo	Sub parcela	Punto de muestreo	Humedad gravimétrica (%)
Pastizal	1	1	34,98
		2	39,13
	2	3	27,09
		4	23,65
	3	5	41,49
		6	40,53
	4	7	27,08
		8	27,04
	5	9	28,18
		10	25,27
	6	11	35,18
		12	25,19
Sistema agroforestal	1	1	32,01
		2	24,58
	2	3	29,69
		4	28,35
	3	5	31,84
		6	28,47
	4	7	29,43
		8	22,46
	5	9	22,28
		10	28,46
	6	11	27,89
		12	32,46

ANEXO 3. RESULTADOS ESTABILIDAD DE AGREGADOS

ESTABILIDAD DE AGREGADOS																					
Sistema de uso del suelo	Sub parcela	Punto de muestreo	Peso suelo inicial (g)	AGREGADO EN CADA TAMIZ																DPM	Clasificación
				A ($\theta > 6.30$ mm)			B ($\theta = 4.00$ mm)			C ($\theta = 2.00$ mm)			D ($\theta = 1.00$ mm)			E ($\theta = 0.250$ mm)			F ($\theta < 0.250$ mm) (g)		
				Lata + Agregado (g)	Lata (g)	Agregado (g)	Lata + Agregado (g)	Lata (g)	Agregado (g)	Lata + Agregado (g)	Lata (g)	Agregado (g)	Lata + Agregado (g)	Lata (g)	Agregado (g)	Lata + Agregado (g)	Lata (g)	Agregado (g)			
Pastizal	1	1	100	52,91	5,68	47,23	8,26	5,68	2,58	10,65	5,68	4,97	11,62	5,68	5,94	26,82	5,68	21,14	18,14	3,50	Estable
		2	100	63,87	5,68	58,19	12,86	5,68	7,18	14,92	5,68	9,24	12,29	5,68	6,61	19,65	5,68	13,97	4,81	4,51	Estable
	2	3	100	7,36	5,68	1,68	7,70	5,68	2,02	8,30	5,68	2,62	12,36	5,68	6,68	25,70	5,68	20,02	66,98	0,60	Ligeramente estable
		4	100	59,66	5,68	53,98	11,45	5,68	5,77	9,07	5,68	3,39	10,82	5,68	5,14	20,7	5,68	15,02	16,70	3,99	Estable
	3	5	100	5,84	5,68	0,16	14,26	5,68	8,58	13,40	5,68	7,72	11,60	5,68	5,92	44,25	5,68	38,57	39,05	1,10	Ligeramente estable
		6	100	46,56	5,68	40,88	18,55	5,68	12,87	17,01	5,68	11,33	16,52	5,68	10,84	18,37	5,68	12,69	11,39	3,83	Estable
	4	7	100	6,25	5,68	0,57	9,25	5,68	3,57	7,20	5,68	1,52	14,25	5,68	8,57	39,25	5,68	33,57	52,20	0,67	Ligeramente estable
		8	100	85,4	5,68	79,72	6,75	5,68	1,07	7,61	5,68	1,93	8,62	5,68	2,94	11,07	5,68	5,39	8,95	5,20	Muy estable
	5	9	100	40,25	5,68	34,57	9,8	5,68	4,12	12,12	5,68	6,44	14,68	5,68	9,00	29,18	5,68	23,50	22,37	2,89	Moderadamente estable
		10	100	19,47	5,68	13,79	8,06	5,68	2,38	9,58	5,68	3,90	26,00	5,68	20,32	42,19	5,68	36,51	23,10	1,67	Moderadamente estable
	6	11	100	36,65	5,68	30,97	7,56	5,68	1,88	11,65	5,68	5,97	14,20	5,68	8,52	31,68	5,68	26,00	26,66	2,55	Moderadamente estable
		12	100	6,14	5,68	0,46	8,66	5,68	2,98	9,80	5,68	4,12	16,27	5,68	10,59	42,44	5,68	36,76	45,09	0,75	Ligeramente estable
Sistema agroforestal	1	1	100	5,81	5,68	0,13	6,15	5,68	0,47	7,06	5,68	1,38	15,31	5,68	9,63	52,58	5,68	46,90	41,49	0,56	Ligeramente estable
		2	100	7,04	5,68	1,36	6,17	5,68	0,49	6,33	5,68	0,65	8,72	5,68	3,04	38,05	5,68	32,37	62,09	0,46	Ligeramente estable
	2	3	100	5,95	5,68	0,27	6,07	5,68	0,39	6,52	5,68	0,84	9,48	5,68	3,80	41,88	5,68	36,20	58,50	0,42	Inestable
		4	100	6,87	5,68	1,19	5,93	5,68	0,25	6,75	5,68	1,07	11,61	5,68	5,93	45,82	5,68	40,14	51,42	0,52	Ligeramente estable
	3	5	100	10,47	5,68	4,79	7,15	5,68	1,47	8,58	5,68	2,90	17,82	5,68	12,14	52,06	5,68	46,38	32,32	0,98	Ligeramente estable
		6	100	6,35	5,68	0,67	6,92	5,68	1,24	8,13	5,68	2,45	14,70	5,68	9,02	46,49	5,68	40,81	45,81	0,63	Ligeramente estable
	4	7	100	5,89	5,68	0,21	7,15	5,68	1,47	6,58	5,68	0,90	10,65	5,68	4,97	38,90	5,68	33,22	59,23	0,50	Ligeramente estable
		8	100	5,89	5,68	0,21	7,15	5,68	1,47	6,58	5,68	0,90	10,65	5,68	4,97	38,90	5,68	33,22	59,23	0,47	Ligeramente estable
	5	9	100	6,20	5,68	0,52	9,35	5,68	3,67	7,83	5,68	2,15	8,37	5,68	2,69	15,08	5,68	9,40	81,57	0,49	Ligeramente estable
		10	100	6,49	5,68	0,81	6,40	5,68	0,72	6,48	5,68	0,80	7,49	5,68	1,81	12,33	5,68	6,65	89,21	0,29	Inestable
	6	11	100	35,94	5,68	30,26	8,71	5,68	3,03	10,83	5,68	5,15	15,19	5,68	9,51	29,86	5,68	24,18	27,87	2,55	Moderadamente estable
		12	100	7,52	5,68	1,84	6,45	5,68	0,77	6,51	5,68	0,83	8,36	5,68	2,68	11,08	5,68	5,40	88,48	0,37	Inestable

ANEXO 6. RESULTADOS TEMPERATURA DEL SUELO

TEMPERATURA DEL SUELO					
Sistema de uso del suelo	Sub parcela	Punto de muestreo	Temperatura Cº		
			5 cm	10 cm	15 cm
Pastizal	1	1	26,9	26,4	26,1
		2	25,5	25,3	25,1
	2	3	28,4	27,6	27
		4	28	26,6	26,1
	3	5	27,4	26,6	26,2
		6	27,5	26,3	26
	4	7	26,3	26,2	26
		8	29,3	27,6	27,1
	5	9	28,4	27,8	27,2
		10	30,6	28,2	27,8
	6	11	28,7	27,5	27,1
		12	28,9	27,9	27,5
Sistema agroforestal	1	1	26,3	25,7	25,1
		2	25,8	25,1	24,8
	2	3	32,7	30,6	28,3
		4	26,7	26,2	25,7
	3	5	26,4	26	25,7
		6	25,7	25,1	25
	4	7	29,1	27,9	27,7
		8	26,9	26,3	26,2
	5	9	27,6	27,3	27
		10	28,6	28,4	27,9
	6	11	28,8	28,7	28,1
		12	27,1	26,9	26,5

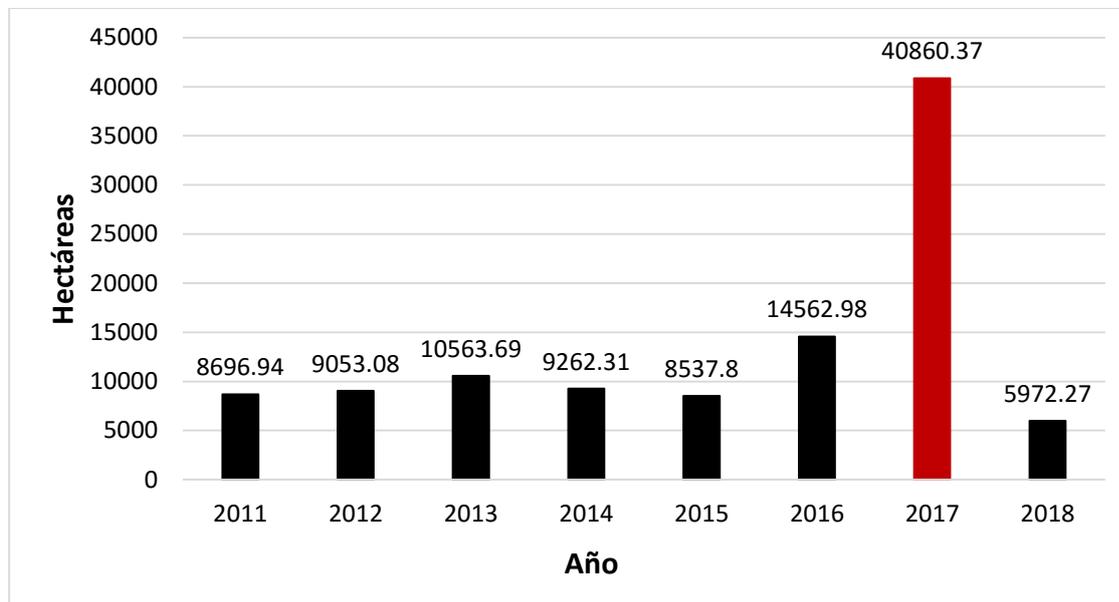
ANEXO 7. RESULTADOS RESISTENCIA MECÁNICA

SISTEMA DE USO DEL SUELO	SUB PARCELA	PUNTO DE MUESTREO	TRANSECTO	RESISTENCIA MECÁNICA (kg/cm ²)		
				PROFUNDIDAD		
				5 cm	10 cm	15 cm
Pastizal	1	1	1	2,96	4,04	4,31
			2	3,23	3,50	3,23
		2	1	2,96	2,96	2,96
			2	1,61	2,15	3,23
	2	1	1	3,77	2,69	3,77
			2	2,96	2,69	3,50
		2	1	2,96	4,04	4,57
			2	2,96	3,50	3,50
	3	1	1	2,15	4,63	3,34
			2	1,61	3,88	3,55
		2	1	2,42	4,84	4,31
			2	3,23	3,77	4,31
	4	1	1	2,15	3,23	2,15
			2	3,23	3,23	2,58
		2	1	1,51	2,91	2,69
			2	2,42	2,15	2,91
	5	1	1	1,61	3,23	3,44
			2	3,23	2,15	2,05
		2	1	3,23	3,88	4,41
			2	2,26	4,20	4,09
	6	1	1	4,84	2,96	4,04
			2	2,69	1,88	3,23
		2	1	1,61	2,96	3,55
			2	2,69	2,96	3,23
Sistema agroforestal	1	1	1	2,69	2,96	1,88
			2	4,84	2,69	1,61
		2	1	4,74	4,84	4,57
			2	3,23	3,77	4,31
	2	1	1	4,31	4,74	4,84
			2	4,41	3,77	4,74
		2	1	4,31	3,77	4,09
			2	3,23	2,69	3,23
	3	1	1	2,96	2,48	2,69
			2	1,61	1,61	1,94
		2	1	4,74	3,23	3,77
			2	4,84	3,66	3,88
	4	1	1	3,77	2,69	3,88
			2	4,31	3,77	4,63
		2	1	2,15	1,94	3,23
			2	2,37	1,08	2,69
	5	1	1	1,61	2,80	4,31
			2	2,69	2,48	3,98
		2	1	2,42	1,29	1,61
			2	1,61	1,72	1,40
	6	1	1	0,75	1,29	0,65
			2	1,08	1,29	1,40
		2	1	1,83	3,23	2,15
			2	1,51	3,77	3,77

ANEXO 8. RESULTADOS DE LA TEXTURA DEL SUELO

TEXTURA DEL SUELO					
Sistema de uso del suelo	Sub parcela	ANÁLISIS MECÁNICO			Clase textural
		Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
Pastizal	1	14	46	40	Ar.L
	2	12	48	40	Ar.L
	3	10	42	48	Ar.L
	4	14	54	32	Fr.Ar.L
	5	18	60	22	Fr.L.
	6	14	62	24	Fr.L.
Sistema agroforestal	1	14	46	40	Ar.L
	2	14	44	42	Ar.L
	3	12	42	46	Ar.L
	4	12	46	42	Ar.L
	5	14	42	44	Ar.L
	6	14	42	44	Ar.L

ANEXO 9. FIGURA DE LA PÉRDIDA DE LA COBERTURA VEGETAL EN MADRE DE DIOS ENTRE LOS AÑOS 2011 Y 2018.



Fuente: SINIA (2019)

ANEXO 10: TABLA DE PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO - PROPIEDADES FÍSICAS																	
INDICADOR	PARÁMETRO	SISTEMA	ANÁLISIS DESCRIPTIVOS		PRUEBA DE NORMALIDAD			PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS			ANOVA			PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS			
			MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	P (Shapiro-wilk)	RETIENE H0 (P>0.05)	RECHAZA H0 (P<0.05)	P (Tuckey)	RETIENE H0 (P>0.05)	RECHAZA H0 (P<0.05)	P (Tuckey)	RETIENE H0 (P>0.05)	RECHAZA H0 (P<0.05)	P (Kruskal-Wallis)	RETIENE H0 (>0.05)	RECHAZA H0 (<0.05)	
Densidad Aparente	-	SAF	1,3242	0,3445	0,441	X		0,143	X		0,89	X					
		PAS	1,3158	0,16736	0,063	X											
Humedad gravimétrica	-	SAF	28,16	3,45075	0,144	X		0,002		X				0,603	X		
		PAS	31,2342	6,56792	0,046	X											
Estabilidad de agregados	Granulometría: 6.30 mm	SAF	3,5217	8,51731	0,000		X	0,001		X				0,015		X	
		PAS	30,1833	26,92146	0,207	X											
	Granulometría: 4.0 mm	SAF	1,2867	1,06987	0,019		X							0,001		X	
		PAS	4,5833	3,4601	0,040		X										
	Granulometría: 2.0 mm	SAF	1,6683	1,32404	0,003		X	0,016		X				0,001		X	
		PAS	5,2625	3,0062	0,584	X											
	Granulometría: 1.0 mm	SAF	5,8492	3,40196	0,166	X		0,96	X		0,123	X					
		PAS	8,4225	4,39045	0,018		X										
	Granulometría: 0.250 mm	SAF	29,5725	14,90822	0,710	X		0,266	X		0,274	X					
		PAS	23,5950	10,89194	0,500	X											
	Granulometría: < 0.250 mm	SAF	58,1017	20,24907	0,453	X		0,997	X		0,001		X				
		PAS	27,9533	19,01724	0,336	X											
	Temperatura	Profundidad: 5 cm	SAF	27,6417	1,95888	0,028		X	0,392	X		0,618	X				
			PAS	27,9917	1,38266	1,000	X										
Profundidad: 10 cm		SAF	27,0167	1,64473	0,390	X		0,075	X		0,976	X					
		PAS	27	0,88215	0,338	X											
Profundidad: 15 cm		SAF	26,5	1,27636	0,252	X		0,055	X		0,82	X					
		PAS	26,6	0,79201	0,386	X											
Resistencia mecánica	Profundidad: 5 cm	SAF	3,0004	1,32608	0,69	X		0,002		X				0,501	X		
		PAS	2,6787	0,79619	0,68	X											
	Profundidad: 10 cm	SAF	2,815	1,0859	0,234	X		0,121	X		0,105	X					
		PAS	3,2679	0,78994	0,691	X											
	Profundidad: 15 cm	SAF	3,1354	1,27374	0,061	X		0		X				0,613	X		
		PAS	3,4563	0,69159	0,433	X											
Porosidad	-	SAF	50,0308	4,50431	0,441	X		0,144	X		0,889	X					
		PAS	50,3467	6,31485	0,064	X											

ANEXO 11. TABLA DE PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO - PROPIEDADES QUÍMICAS															
INDICADOR	SISTEMA	ANÁLISIS DESCRIPTIVOS		PRUEBA DE NORMALIDAD			PRUEBA DE HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS			ANOVA			PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS		
		MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	P (Shapiro-wilk)	RETIENE HO (P>0.05)	RECHAZA HO (P<0.05)	P (Tuckey)	RETIENE HO (P>0.05)	RECHAZA HO (P<0.05)	P (Tuckey)	RETIENE HO (P>0.05)	RECHAZA HO (P<0.05)	P (Kruskal-Wallis)	RETIENE HO (>0.05)	RECHAZA HO (<0.05)
pH	SAF	6,0483	0,32505	0,597	X										
	PAS	5,4283	0,16964	0,980	X		0,179	X		0,002		X			
CE	SAF	0,0550	0,02429	0,230	X										
	PAS	0,0767	0,01366	0,554	X		0,095	X		0,086	X				
MO	SAF	2,9417	1,02901	0,107	X								0,688	X	
	PAS	2,6900	1,80086	0,183	X		0,030		X						
P (ppm)	SAF	5,8167	2,39200	0,133	X										
	PAS	10,0667	4,93991	0,070	X		0,487	X		0,087	X				
K (ppm)	SAF	130,0000	33,85853	0,646	X										
	PAS	103,3333	16,93123	0,090	X		0,169	X		0,115	X				
Arena	SAF	13,3333	1,03280	0,001		X							0,857	X	
	PAS	13,6667	2,65832	0,514	X		0,265	X							
Limo	SAF	43,6667	1,96638	0,035		X							0,04		X
	PAS	52,0000	8,00000	0,638	X		0,004		X						
Arcilla	SAF	43,0000	2,09762	0,820	X								0,075	X	
	PAS	34,3333	10,15218	0,595	X		0,005		X						
CIC	SAF	16,8267	1,30933	0,825	X								0,575	X	
	PAS	17,9733	4,98077	0,107	X		0,003		X						
Ca+2	SAF	9,1600	2,53090	0,594	X										
	PAS	7,9350	2,57771	0,350	X		0,914	X		0,426	X				
Mg+2	SAF	2,6533	0,62714	0,086	X										
	PAS	2,5283	0,70932	0,200	X		0,543	X		0,753	X				
K+	SAF	0,2917	0,10647	0,551	X								0,145	X	
	PAS	0,2133	0,02733	0,093	X		0,033		X						
Na+	SAF	0,1833	0,02944	0,064	X										
	PAS	0,1833	0,01116	0,985	X		0,605	X		1	X				
Al+3 + H+	SAF	0,0417	0,06646	0,007		X							0,037		X
	PAS	0,1417	0,05845	0,033		X									
Suma de cationes	SAF	12,3300	3,00179	0,293	X										
	PAS	9,8833	5,38568	0,177	X		0,314	X		0,354	X				
Suma de bases	SAF	12,2883	3,04916	0,301	X										
	PAS	10,8600	1,33460	0,336	X		0,978	X		0,452	X				
Saturación de bases	SAF	73,5000	18,8441	0,180	X								0,336	X	
	PAS	60,0000	4,1473	0,435	X		0,005		X						