UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA Y ESCORRENTÍA EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ ORGÁNICO Y CONVENCIONAL EN FINCA LA FORTALEZA, MARCALA, LA PAZ

POR:

CARLOS ABEL PADILLA ESCOBAR

TESIS

CATACAMAS **OLANCHO**

ABRIL, 2018

DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA Y ESCORRENTÍA EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ ORGÁNICO Y CONVENCIONAL EN FINCA LA FORTALEZA, MARCALA, LA PAZ

POR:

CARLOS ABEL PADILLA ESCOBAR

OSCAR FERREIRA M.Sc.

Asesor principal

TESIS PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

LICENCIADO EN RECURSOS NATURALES Y AMBIENTE

CATACAMAS **OLANCHO**

ABRIL, 2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE

PRACTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

Reunidos en la Sala de Videoconferencias de la Universidad Nacional de Agricultura el: **M. Sc. OSCAR IVAN FERREIRA CATRILEO, M Sc. ERLIN VIANNEY ESCOTO VALLADARES y el M Sc. RAMÓN LEÓN CANACA CALDERÓN,** miembros del Jurado Examinador de Trabajos de P.P.S.

El estudiante **CARLOS ABEL PADILLA ESCOBAR,** del IV Año de la carrera de Recursos Naturales y Ambiente, presentó su informe.

"DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA Y ESCORRENTÍA EN SISTEMAS AGROFORESTALES CON CAFÉ ORGÁNICO Y CONVENCIONAL EN FINCA LA FORTALEZA, MARCALA, LA PAZ"

El cual a criterio del examinador, aprobó este requisito para optar al título de Licenciado en Recursos Naturales y Ambiente.

Dado en la ciudad de Catacamas, Olancho, a los once días del mes de abril del año dos mil dieciocho.

M Sc. OSCAR IVÁN FERREIRA CATRILEO
ASESOR PRINCIPAL

M Sc. ERLIN VIANNEY ESCOTO VALLADARES
ASESOR AUXILIAR

M Sc. RAMÓN LEÓN CANACA CALDERÓN
ASESOR AUXILIAR

DEDICATORIA

A DIOS todo poderoso, por su inmenso amor y su infinita misericordia que ha tenido con mi persona. Por haber guiado y cuidado cada uno de mis pasos desde el primer día que llegue a la aquí y me ha permitido ir cumpliendo mis objetivos nunca me ha dejado desamparado

A los mejores padres del mundo **LORENZA OVIDIA ESCOBAR Y ELIBERTO DE JESUS PADILLA ANTUNEZ** por apoyarme en cada momento y creer en mí, sin duda tenerlos es una satisfacción gracias por sus consejos, regaños, valores y todas sus enseñanzas

A mis hermanos que son de lo mejor **PIEDAD MIRENA PADILLA ESCOBAR, JUAN RAMON PADILLA ESCOBAR, MARTHA IRENE PADILLA ESCOBAR, FRANCIS LIZETH PADILLA ESCOBAR Y JOSE ELIBERTO PADILLA ESCOBAR** gracias a ellos he crecido en un muy humilde y caluroso hogar, donde siempre fueron indispensables en mi vida

A mi grupo los reptiles **FREDY PEÑA, PEDRO MONTUFAR WALDINA VASQUEZ, GLADIS VILLAFRANCA Y EDUARDO QUINTERO** son mis amigos y hermanos nunca se les olvidara por lo grande que fue nuestra amistad demostrando siempre que la unión hace la fuerza

A mis queridas compañeras **DIANA REYES, GRECIA PAZ, DEBORA SANTIAGO, BRENDA MORÁN, KAREN LACOTH Y ADALICIA VELASQUEZ** por compartir grandes momentos a lo largo de estos cuatro años, de todas ellas aprendí mucho

A mis dos grandes amigos **ALDO JOSE MATUTE ESCOBAR Y JUAN RENE MARADIAGA (QDDG)** siempre formaron parte de mi infancia y compartimos muchos momentos importantes que nunca se olvidaran

AGRADECIMIENTOS

A **COMSA** por permitirme realizar la investigación y su gran apoyo en el proceso y además una gran experiencia de vida y llena de muchos conocimientos que compartir

A **M.Sc. OSCAR FERREIRA** que fue parte fundamental de la investigación con su gran aporte como asesor principal brindando ayuda y conocimiento para el desarrollo de la investigación, es un gran catedrático y una gran persona gracias por su tiempo y dedicación

A mis asesores auxiliares **M.Sc. ERLIN ESCOTO** que es una gran profesional y amigo siempre fue de ayuda su grandes aportes es alguien a quien admiro por su finesa y conocimiento y al **M.Sc RAMON CANACA** por su colaboración y siempre estuvo dispuesto ayudar cuando se le requirió

A mi hermano **JUAN RAMON PADILLA ESCOBAR** por su apoyo incondicional y haberme ayudado a incentivarme venir a estudiar, es una persona que admiro y respeto mucho

A mi amigo y hermano **PEDRO ANTONIO MONTUFAR SANTOS** (QDDG) por ser una de las personas que más aprendí y compartí mucho a lo largo del tiempo, sé que Dios lo tiene en un lugar mejor nunca me cansare de aprender de tantos consejo y sabiduría que compartimos juntos

A uno de mis mejores amigos **EMANUEL PINEDA** por enseñar muchos en la parte profesional y dedicación, y por los grandes conocimientos de futbol compartidos, fueron innumerables las veces que pudo ayudarme y aprender mucho de él es un gran profesional con mucha finesa

A mi amigo **EDUARDO QUINTERO** a quien fue como mi hermano y nunca dio la espalda, su sinceridad y alegría son dos de sus grandes atributos, fue de él que aprendí que con humildad y esfuerzo se logran las metas en la vida

A dos de mis amigos de la infancia y del barrio **CARLOS CORROTO Y WILMER BARRALAGA** que siempre confiaron en mí y me apoyaron siempre de todas las formas en especial en lo anímico

A el profesor **JESUS ROSALES** por ser uno de los buenos amigos que tengo una persona con muchos valores y de grandes enseñanzas hacia mi persona

A mis compañeros del cuarto 5 de h mediana **JUAN SANTOS, WILFREDO MEJÍA, JOSÉ PEÑA, RAÚL RODRÍGUEZ Y PAMAL ARDON** por compartir los últimos meses de mucho aprendizaje en el diario vivir

CONTENIDO

CONTENIDO vi
LISTA DE CUADROS ix
LISTA DE FIGURAS x
LISTA DE TABLAS xii
LISTA DE ANEXOS xiii
RESUMEN xiv
I. INTRODUCCIÓN 1
II. OBJETIVOS 2
2.1 General 2
2.2 Específicos 2
III. REVISIÓN DE LITERATURA 3
3.1 El suelo 3
3.2 La erosión 3
3.3 Los factores de la erosión 4
3.4 Erosión hídrica 4
3.5 Tipos de erosión hídrica 5
3.5.1 Erosión por salpicadura o laminar 5
3.5.2 Erosión por surcos o en regueros 5
3.5.3 Erosión en barrancos o cárcavas 5
3.5.4 Deslizamientos 6
3.6 Propiedades físicas del suelo 6
3.6.1 Densidad aparente 6
3.6.2 Textura 7
3.6.3 Estructura 7
3.7 Composición de la materia orgánica del suelo 7
3.8 Relación vegetación-erosión 8
3.9 Sistemas agroforestales 8
3.10 Sistemas agroforestales en Honduras con café 9
3.11 Parcelas de erosión 9
IV. MATERIALES Y MÉTODO 11
4.1 Sitio de estudio 11

4.2 Materiales y equipo **12**
4.3 Descripción de la investigación **12**
4.4 Usos de suelo **13**
4.5 Unidad y diseño experimental **13**
4.6 Caracterización de las coberturas en estudio **14**
4.7 Propiedades físicas del suelo **15**
4.7.1 Densidad aparente método de cilindro 15
4.7.2 Determinación de textura 15
4.7.3 Clasificación de microestructura 16
4.7.4 Color de suelo 16
4.8 Estimación de la escorrentía con las parcelas **17**
4.9 Estimación de la erosión hídrica **17**
4.10 Análisis Estadístico **17**
4.11 Programa para el ajuste de modelos sigmoidales **18**
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN **19**
5.1 Caracterización de los tres usos de suelo **19**
5.1.1 Indicadores en el sistema agroforestal con café orgánico 19
5.1.2 Indicadores en el sistema agroforestal con café convencional 19
5.1.3 Indicadores para el uso de suelo sin cobertura 20
5.2 Propiedades físicas del suelo **21**
5.3 Precipitación en el área de estudio **22**
5.4 Escorrentía mediante parcelas de erosión **23**
5.5 Relación de la precipitación y escorrentía en coberturas **25**
5.5.1 Escorrentía en el suelo sin cobertura 25
5.5.2 Escorrentía en el SAF con café convencional 26
5.5.3 Escorrentía en el SAF con café orgánico 27
5.6 Calculo de erosión hídrica mediante parcelas de erosión **27**
5.7 Relación de la precipitación y erosión en las parcelas **29**
5.7.1 Erosión en el suelo sin cobertura 30
5.7.2 Erosión en el SAF con café convencional 31
5.7.3 Erosión en SAF con café orgánico 32
VI. CONCLUSIONES **34**

VII. RECOMENDACIONES 35
VIII. BIBLIOGRAFIA 36
ANEXOS 40

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Modelos sigmoidales y sus ecuaciones que se ajustaron mejor de acuerdo a los datos en las coberturas de suelo sometidas a estudio en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz.....33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de las parcelas de erosión en las tres coberturas de estudio en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz 11
Figura 2. Pasos para la realización de la investigación en Finca La Fortaleza, Marcala, La Paz (anexo 1) 13
Figura 3. Esquema de una parcela de erosión (Farfán 2002)..... 14
Figura 4. Caracterización de los tres usos de suelo en estudio en Finca La Fortaleza, Marcala, La Paz 21
Figura 5. Registro de precipitación diaria de octubre 2017 a diciembre 2017 con un pluviómetro artesanal, en finca La Fortaleza, en Marcala, La Paz 23
Figura 6. Escorrentía por uso de suelo mediante el periodo de estudio (octubre 2017 a diciembre 2017) en finca la fortaleza, Marcala, La Paz. Las barras de error muestran la desviación estándar 25
Figura 7. Ajuste del modelo Richards para el suelo sin cobertura en Finca La Fortaleza, Marcala, La Paz 26
Figura 8. Ajuste del modelo Richards para el SAF con café convencional en Finca La Fortaleza, Marcala, La Paz..... 26
Figura 9. Ajuste para el modelo logístico para el SAF con café orgánico en Finca La Fortaleza, Marcala, La Paz..... 27
Figura 10. Erosión total por uso de suelo mediante periodo de estudio (octubre 2017 a diciembre 2017) en finca la fortaleza, el pastal, Marcala, La Paz. Las barras de error muestran la desviación estándar..... 29
Figura 11. Ajuste del modelo logístico para el suelo sin cobertura en Finca La Fortaleza, Marcala, La Paz 30
Figura 12. Ajuste del modelo logístico para el SAF con café convencional en Finca La Fortaleza, Marcala, La Paz..... 31

Figura 13. Ajuste del modelo weibull para el SAF con café orgánico en Finca La Fortaleza, Marcala, La Paz.....32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos de estudio de erosión y escorrentía en la Finca La Fortaleza, Marcala 13
Tabla 2. Textura de los suelos según (Ciancalglini 2009)..... 16
Tabla 3. Propiedades físicas en los usos de suelo en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz 22

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Marcación y construcción de las parcelas de erosión en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz 41
Anexo 2. Parcelas de erosión implementadas en las tres coberturas de suelo en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz 42
Anexo 3. Recolección y tabulación de datos en estudio 44
Anexo 4. Resultados análisis de suelo para determinar la materia orgánica en los tres usos de suelo en Marcala, La Paz 46
Anexo 5. Propiedades físicas del suelo en los tres usos de suelo en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz 47
Anexo 6. Pruebas de tukey en los usos de suelo con software Infostat 49

Padilla Escobar C.A. 2018. Determinación de la erosión hídrica y escorrentía en fincas agroforestales con café orgánico y convencional en finca la fortaleza, Marcala, La Paz. Tesis Lic. Recursos Naturales y Ambiente. Universidad Nacional de Agricultura. Catacamas, Olancho, Honduras. 65p.

RESUMEN

Este estudio se realizó en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz en los meses de Octubre 2017 a Diciembre del 2017, para determinar la erosión hídrica y la escorrentía y su relación con la precipitación en tres usos de suelo: 1. Sistema agroforestal con café orgánico, 2. Sistema agroforestal con café convencional, 3. Suelo sin cobertura. Uno de los objetivos fue determinar la pérdida de suelo y la escorrentía mediante parcelas de erosión, se establecieron tres parcelas de erosión por uso suelo de 5*4 metros (20 m^2). También se ajustaron modelos sigmoidales con el software CurveExpert 2.2.6 para predecir la pérdida de suelo y la escorrentía con relación con la precipitación. En el periodo de estudio se registraron 21 eventos de lluvia desde el 2 de octubre hasta el 16 de diciembre el cual se midió por cada evento, el SAF con café orgánico (54.3 kg/ha) fue el que presento menos pérdida de erosión en comparación con las otras coberturas de estudio, 2.2 (118 kg/ha) veces menos que el SAF convencional y que el suelo sin cobertura 8.4 (445.4 kg/ha) veces. Se realizó un análisis de suelo por cada uso para determinar las propiedades físico-químicas, teniendo un mejor resultado en cuanto a materia orgánica en el SAF con café orgánico, esto debido a su mejor manejo y estratos arbóreos como cobertura del suelo, además se realizó una caracterización en la cual el SAF con café orgánico fue el que con mejores condiciones con respecto a la protección del suelo.

Palabras claves: Caracterización de sistemas agroforestales, COMSA, modelos sigmoidales, parcelas de erosión y usos de suelo

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la erosión y la escorrentía son dos grandes problemas a los que se enfrentan la población mundial. Los efectos negativos generan degradación el los suelos de uso agrícola esto hace que la capa fértil pierda nutrientes además que se reduzca significativamente la profundidad de la porción de suelo cultivable, todo esto trae pérdidas económicas en las producciones agrícolas que luego repercutirán en la economía del país. En razón de ese asunto los agricultores han adoptado otros medios como el uso inadecuado de los agroquímicos y el avance de la frontera agrícola en busca de nuevos suelos que reúnan las condiciones para suplir las necesidades de alimentación.

La información con la que actualmente se cuenta en temas de la pérdida del suelo no es generalizada para toda la geografía nacional es por eso que se hace necesario investigar para establecer algunas estimaciones y evaluaciones realizadas en diferentes sitios puntuales. Estudios revelan que implementando nuevos métodos como las obras de conservación de suelo se puede lograr un aumento en la cobertura vegetal y algunas modificaciones en la topografía para mejorar las condiciones de los suelos. Sin embargo, hay que resaltar que este tipo de prácticas son desconocidas por los agricultores esto se debe a la poca asistencia técnica, además que requieren más tiempo y esfuerzo físico.

En razón de esto se realizó este estudio sobre los procesos erosivos que incurren en los diferentes usos de suelo de la finca La Fortaleza ubicada en Marcala, La Paz. La presente investigación fue con el objetivo evaluar y analizar los resultados de erosión hídrica y la escorrentía del suelo, en relación con la precipitación en los diferentes usos de suelo.

II. OBJETIVOS

2.1 General

Determinación de la erosión hídrica y escorrentía en fincas agroforestales con café orgánico y convencional en finca la fortaleza, Marcala, La Paz.

2.2 Específicos

a. Medir la erosión hídrica y la escorrentía en dos sistemas agroforestales con café orgánico y convencional en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz

b. Elaborar modelos de predicción de pérdida de suelo en fincas agroforestales con café orgánico y convencional en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El suelo

El suelo es un recurso no renovable, lo que implica que su degradación y su perdida son irreversibles en el transcurso de la vida humana. Además, es un componente indispensable de los recursos de la tierra, del progreso de la agricultura y la sostenibilidad ecológica. Es muy importante para la producción de agrícola, forestal, pastorales y su contribución a la seguridad alimentaria también satisfacer distintas demandas de muchos pagos por servicios ambientales esenciales pese a que es un recurso natural muy valioso, no se le presta la debida importancia (FAO 2015).

Jaramillo (2002) considera al suelo como un cuerpo natural cuyas propiedades interesan para establecer su origen y su clasificación, sin importar sus posibilidades de uso, el suelo es tomado como el soporte para las plantas, es decir, se estudia desde un punto de vista netamente práctico, orientado a obtener los mejores rendimientos agropecuarios.

3.2 La erosión

Es el suelo arrastrado por el agua ya sea causada por el impacto de las gotas de lluvia o por la escorrentía este al sufrir el impacto de las gotas de lluvia al suelo, de esta manera si hay un rompimiento de la estructura de la capa superficial desplazando el material a todas direcciones y este a su vez ya suelto es desplazado por la escorrentía, lo cual hace se produce un arrastre que colabora con la pérdida del suelo (CENAPRED 2005).

La erosión es uno de los problemas agrícolas de mayor importancia en el mundo, representa el origen principal de los sedimentos que contaminan las corrientes de agua que llenan los lagos y presas.

También contribuyen a la desintegración de los compuestos que nutren a los vegetales y que se pierden con el escurrimiento (Schwab *et al.* 1990).

3.3 Los factores de la erosión

Clima: la variable climática más importante es la lluvia, debido a su fuerte influencia en ciertos procesos de erosión hídrica ya que todas las tormentas no son iguales la duración de la tormenta, así como la distribución temporal de su intensidad, también son factores preponderantes en las tasas de erosión (UNESCO 2010).

Topográficos: se caracteriza por los ángulos de las pendientes y por la longitud y forma de las mismas, además es una forma para determinar la erosión hídrica cuanto mayor es el ángulo de la pendiente de la tierra y la longitud de esa pendiente, mayor será la erosión del suelo (FAO 2000).

Vegetación: la cobertura vegetal influye directamente en la absorción de la energía de las gotas de lluvia y en la disminución de la velocidad de escurrimiento (Jaramillo 2002).

Suelo: la erosión del suelo por escurrimiento aumenta al disminuir la velocidad de infiltración. En suelos de texturas gruesas (arenosos, areno franco, franco arenoso), la infiltración es alta) y por lo tanto el escurrimiento es menor que en suelos de texturas finas, los que estarán más expuestos a la erosión (FAO 2015).

3.4 Erosión hídrica

Según Schwab *et al.* (1990) la erosión hídrica es la salpicadura de suelo que se origina cuando las gotas de lluvia caen directamente sobre las partículas del suelo o superficies de agua muy delgadas.

Aunque el impacto sobre aguas corrientes poco profundas no salpique el suelo siempre produce escurrimiento y arrastre de sedimentación. Los diferentes procesos de erosión hídrica el agua es la principal responsable del arranque, transporte y sedimentación de los materiales del suelo, la pérdida del recurso natural suelo y cuya fuerza erosiva puede ser directamente afectada por los procesos del manejo agronómico que se aplique (Alonso *et al.* 1992).

3.5 Tipos de erosión hídrica

3.5.1 Erosión por salpicadura o laminar

La erosión laminar está directamente relacionada con la salpicadura de la lluvia, a lo que se puede agregar, que en laderas más de la mitad de la salpicadura desciende por la misma. Si esta corriente se mantiene como una delgada lámina, el tipo de erosión que produce se conoce como erosión laminar. La erosión laminar y en surcos pequeños es la forma de erosión que más afecta la agricultura por degradación y pérdida del horizonte A de los suelos, y a la vez afecta más significativamente a la producción de sedimentos en los ríos (Morales 2014).

3.5.2 Erosión por surcos o en regueros

Ocurre cuando, productos de pequeñas irregularidades en la pendiente del terreno, la escorrentía se concentra en algunos sitios hasta adquirir volumen y velocidad suficientes para hacer cortes y formar surcos (Farfán 2002).

3.5.3 Erosión en barrancos o cárcavas

Produce profundas fisuras en la tierra, el agua que corre por la pendiente habrá una hendidura profunda en el suelo y lo que comenzó siendo un hilo de agua puede convertirse en una grieta de decenas de metros de profundidad y cientos de metros de anchura (SAG-LUPE 1998).

3.5.4 Deslizamientos

Se presentan como flujos masivos de rocas y suelos que movilizan importantes volúmenes de materiales ladera abajo, primero lentamente, después a gran velocidad. Pueden ocurrir en paredes artificiales cortadas a lo largo de las carreteras. Los deslizamientos son muy peligrosos, pues los más grandes desplazan toneladas y toneladas de piedras y suelos. Esto hace que los suelos queden más pobre de nutrientes y el suelo pierda su fertilidad (UNICEF 2013).

3.6 Propiedades físicas del suelo

Según Osorio (2008) las propiedades fisicoquímicas son las que muestran el comportamiento del material ante diferentes acciones externas, como el calentamiento o las deformaciones. Individual las propiedades físicas son aquellas que se pueden medir sin que se afecte la composición o la identidad de la sustancia, estas propiedades pueden ser; la densidad, el punto de fusión, el punto de ebullición, entre otras. También existen las propiedades químicas, las cuales se observan cuando una sustancia sufre un cambio químico, es decir, una transformación de su estructura interna, convirtiéndose en otras sustancias nuevas. Dichos cambios químicos, pueden ser reversibles o irreversibles, cuando éstos últimos ocurren en una sola dirección (como en la combustión de la madera).

3.6.1 Densidad aparente

La densidad aparente es una propiedad ampliamente utilizada en la agricultura, es la masa del suelo para un volumen de suelo que incluye el espacio poroso. Refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los mismos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire). En general, cuanto mayor la densidad, menor el espacio poroso para el movimiento del agua, crecimiento y penetración de raíces, y el desarrollo de las plantas.

Los valores que puede tomar la densidad aparente depende de muchos factores, que van desde la textura, contenido de materia orgánica, hasta el manejo que se le da al suelo (Salamanca y Sadeghian 2005).

3.6.2 Textura

El conjunto de arenas, limos y arcillas del suelo es el componente sólido y es lo que se denomina "textura del suelo" En función de su composición los suelos poseen diferente capacidad de retención de humedad, que depende también del contenido de materia orgánica presente. Del mismo modo la textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa (FAO 2015).

3.6.3 Estructura

De acuerdo a la FAO (2015) la estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados. La agregación del suelo puede asumir diferentes modalidades, lo que da por resultado distintas estructuras de suelo. La circulación del agua en el suelo varía notablemente de acuerdo con la estructura.

3.7 Composición de la materia orgánica del suelo

El suelo recibe una gran cantidad de restos orgánicos de distinto origen, entre estos, restos de las plantas superiores que llegan al suelo de dos maneras: se depositan en la superficie (hojas, ramas, flores, frutos) o quedan directamente en la masa del suelo (raíces al morir). Otras dos fuentes importantes son el plasma microbiano y los restos de la fauna habitante del suelo (Meléndez y Soto 2003).

De acuerdo con lo anterior, se considera a la materia orgánica como un continuo de compuestos heterogéneos con base de carbono, que están formados por la acumulación de materiales de origen animal y vegetal parcial o completamente descompuestos en continuo estado de descomposición, de sustancias sintetizadas microbiológicamente o químicamente, del conjunto de microorganismos vivos y muertos (FAO 2015).

3.8 Relación vegetación-erosión

Relaciones vegetación-erosión se ha limitado a considerar una sola dirección en dicha relación, los efectos de la vegetación en la erosión hídrica, sin tener en cuenta que la erosión también afecta a la vegetación. Así, se ha establecido que la vegetación influye sobre la erosión aumentando la estabilidad de los agregados del suelo y la propia coherencia del suelo, protegiéndolo del impacto de las gotas de agua, incrementando la capacidad de infiltración y frenando la escorrentía. Sin embargo, sólo en contadas ocasiones se han considerado los efectos de la erosión sobre la vegetación (Thornes 1985).

3.9 Sistemas agroforestales

La los sistemas agroforestales es el nombre genérico utilizado para describir un sistema de uso de la tierra antiguo y ampliamente practicado, en el que los árboles se combinan espacial y temporalmente con animales o cultivos agrícolas, esta combina elementos de agricultura con elementos de forestaría en sistemas de producción sustentables en la misma unidad de tierra (Farell y Altieri 2014).

Al igual Ulloa (2015) menciona que es un sistema donde se combinan árboles con cultivos agrícolas en el mismo sitio. Es el asocio de árboles distribuidos uniformemente en áreas con cultivos, tratando de que el componente forestal no interfiera en la producción del componente agrícola.

3.10 Sistemas agroforestales en Honduras con café

Un sistema agroforestal cafetero es un conjunto de prácticas de manejo del cultivo, donde se combinan especies arbóreas en asocio con el café o en arborización de las fincas, cuyo objetivo es Exposición a la luz (según el número de árboles o semiperennes por hectárea) 20 y 300 y 50 árboles o >750 especies, el manejo y la conservación del suelo, el agua, el aumento y mantenimiento de la producción para garantizar la sostenibilidad, el fortalecimiento del desarrollo social y económico de las familias cafeteras (Farfán 2014).

El deterioro de los recursos naturales es un fuerte problema en Honduras, el establecimiento de cafetales produce drásticos cambios a las condiciones naturales de los recursos, ventajosamente en Honduras más del 95% del área cafetalera se encuentra bajo condiciones de sombra. La especie más utilizada como sombra temporal en zonas altas son las musáceas, aunque muchas veces es utilizada como sombra permanente como fuente de alimento. Las guamas (*Inga* spp) es la especie más común en Honduras para sombra permanente en cafetales (Casco 2015).

3.11 Parcelas de erosión

Las parcelas de erosión o experimentales, constituyen el único sistema que permite medir con exactitud inobjetable, los montos de pérdida de suelos en un área determinada. Además de su bajo costo y fácil establecimiento, se puede agregar que en número adecuado pueden representar acertadamente factores como pendiente, tipo de suelo, cubierta vegetal, prácticas culturales y otros (Mancilla 2006).

La escorrentía superficial producida dentro de los límites de la parcela es almacenada en un estanque. Sin embargo, para escorrentías de mayor envergadura se utilizan dos estanques, uno para depositar los sedimentos más pesados y otro para almacenar el agua restante.

Una vez finalizado el período de estudio, se calcula la cantidad de sedimentos acumulados en términos de peso, valor que se lleva a la hectárea (por ejemplo, kg/ha) relacionándolo con la superficie de la parcela. Además, se mide el agua acumulada, variable que se relaciona con el agua caída para obtener la relación precipitación/caudal correspondiente a cada tratamiento (UNESCO 2010).

IV. MATERIALES Y MÉTODO

4.1 Sitio de estudio

Marcala se ubica en el departamento de La Paz, a unos 100 kilómetros al oeste de Tegucigalpa. Situado en una planicie rodeado de montañas esta subdividido por 3 aldeas y 52 caseríos con una altura de 687 msnm y un total de habitantes de 10888 la temperatura media anual es de 20.2 ° C. precipitaciones de 1574 mm. El presente trabajo de investigación se realizó en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz, Honduras, en los meses de octubre hasta diciembre de 2017 (Figura 1).

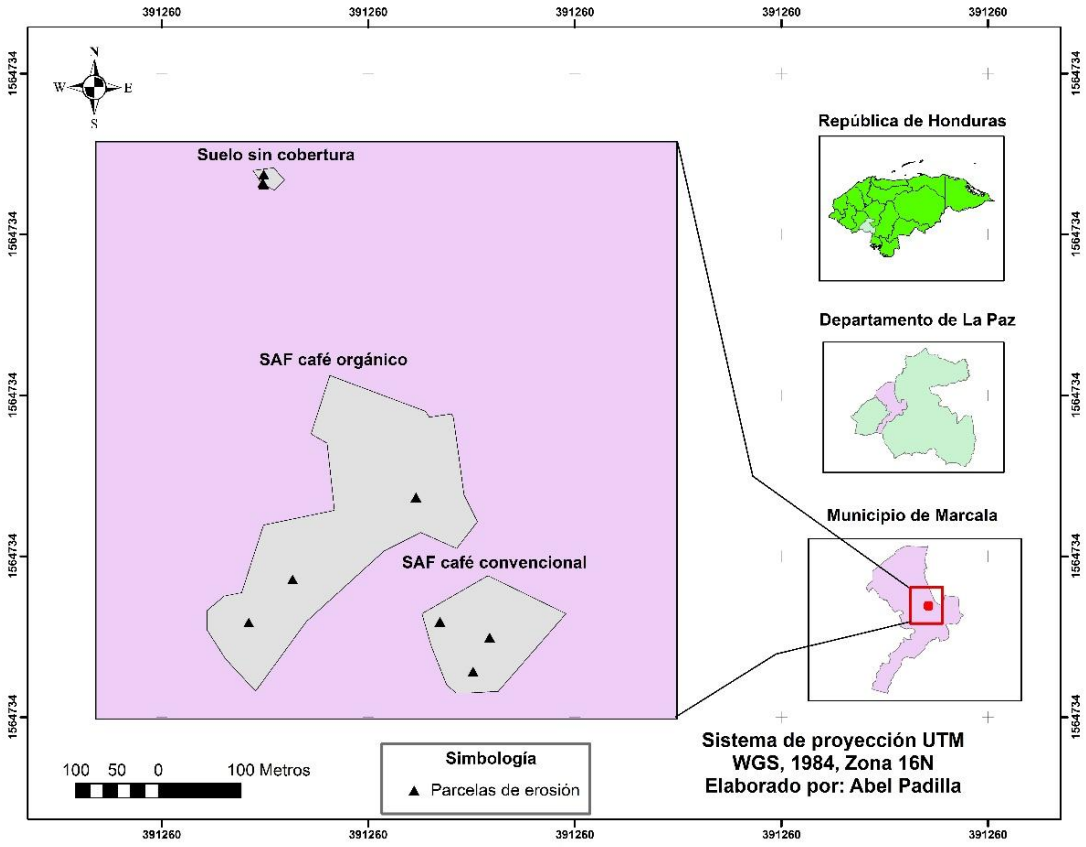


Figura 1. Ubicación geográfica de las parcelas de erosión en las tres coberturas de estudio en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz

4.2 Materiales y equipo

Para la realización de la investigación se necesitó el siguiente equipo:

a) Para logística:
   - Transporte

b) Para la instalación de las parcelas:
   - Láminas de zinc
   - Barril de 200 L
   - Clavos
   - Grampas
   - Manta

c) Materiales para la recolección de datos:
   - Cuaderno
   - GPS Garmin
   - Microondas de laboratorio
   - Lápiz
   - Pluviómetro
   - Recipientes para recolectar muestras
   - Regla

d) Software utilizados para tabular datos:
   - ArcGis®
   - GlobalMaper®
   - Infostat
   - CurveExpert profesional 2.2.6
   - Microsoft Excel ®
   - Microsoft Word®

4.3 Descripción de la investigación

El experimento consistió en la medición de la pérdida del suelo ocasionada por la escorrentía. La cuantificación se realizó mediante dos métodos, directo con las parcelas de erosión y la otra usando modelos de predicción. Las parcelas las ubicamos en los diferentes tipos de usos de suelo con pendientes con las mismas condiciones para los efectos de cuantificación (Figura 2).

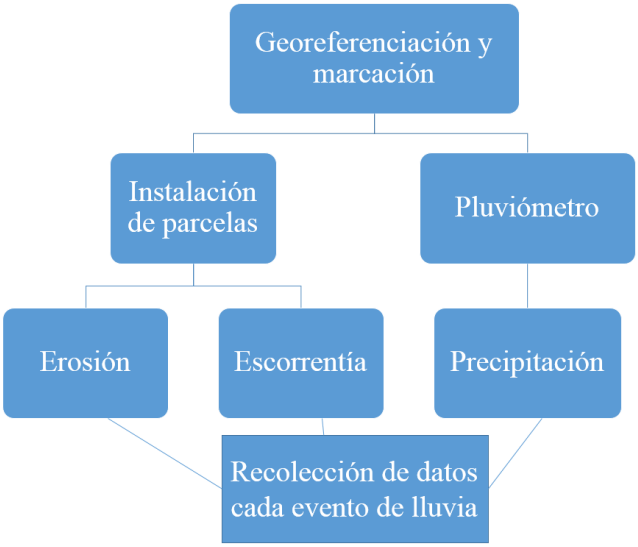


Figura 2. Pasos para la realización de la investigación en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz (Anexo 1)

4.4 Usos de suelo

Se evaluaron tres usos de suelo, que consisten en tres coberturas de suelos, los cuales fueron: dos sistemas agroforestales con café: orgánico, convencional y otro de suelo sin cobertura

Tabla 1. Usos de suelo en el estudio de erosión y escorrentía en la finca La Fortaleza, Marcala, La Paz

Usos de suelo	**Descripción del tratamiento**
T1	Sistema agroforestal con café orgánico
T2	Sistema agroforestal con café convencional
T3	Suelo sin cobertura

En los sistemas agroforestales con café orgánico y convencional se establecieron tres parcelas de erosión en cada una y en el suelo sin cobertura se establecieron dos parcelas de erosión (Anexo 2).

4.5 Unidad y diseño experimental

En cada uso del suelo, se establecieron parcelas experimentales que poseen un área de 20 m^2.

Dichas parcelas se delimitaron con láminas de zinc de 27 cm de alto, quedando 7 cm enterrados y 20 cm libres para evitar la salpicadura y pérdida de agua fuera del área de interés. Al final de las parcelas, se instaló un desagüe que facilitó el transporte de escorrentía, hacia el barril de 200 l, para que facilitara el escurrimiento a fin de asegurar continuidad al flujo superficial y al material de suelo arrastrado e impedir tanto las pérdidas como los aportes externos (Figura 3).

Para este estudio el diseño experimental que se utilizó fue completamente al azar, con tres usos de suelo o coberturas, los cuales están distribuidos de acuerdo a la superposición del uso del suelo y tomando como restricción la pendiente que osciló entre 20% a 30% ya que están en similares condiciones. Las áreas resultantes serán aleatorizadas de manera que todas tuvieran la misma posibilidad de ser seleccionadas.

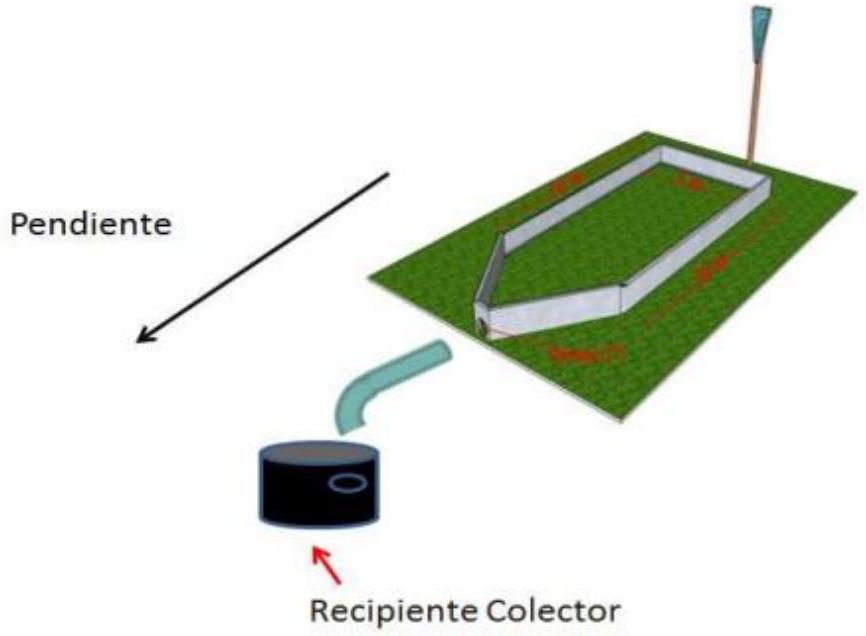


Figura 3. Esquema de una parcela de erosión el cual se instalaron en los usos de suelo en Marcala, La Paz (Farfán 2002)

4.6 Caracterización de las coberturas en estudio

Se realizó una caracterización física de las coberturas en estudio tomando en cuenta algunos factores como: sombra, cobertura vegetal, vigor de la planta y especies en los sistemas agroforestales.

Según Ramírez y Calvo (2003) los cafetales se caracterizan por presentar una alta diversidad de componentes con una disposición sistemática de las especies estas especies satisfacen las necesidades de ingresos, alimentos, sombra, fertilizante orgánico, madera, plantas medicinales y leña de las familias. Las especies más utilizadas son el banano, la naranja, la yuca y la guama.

4.7 Propiedades físicas del suelo

4.7.1 Densidad aparente método de cilindro

Para este se utilizó un cilindro de metal con dimensiones identificadas, un trozo de madera y un martillo. El cilindro se impulsa en los primeros 15 cm del sitio de muestreo posteriormente se sacó con la ayuda de una pala se cortaron los excesos de tierra de los extremos del cilindro. Una vez obtenida la muestra se sacó el suelo contenido en el cilindro en una bolsa debidamente rotulada, las muestras fueron deshidratadas y pesadas para determinar la densidad aparente (Blake 1986) (Anexo 5a).

4.7.2 Determinación de textura

En la identificación de la textura se tomaron muestras de los puntos especificados de los cuales se colecta 0.5 kg de suelo. Una vez recolectado la muestra se toma con una cuchara una porción de suelo y se coloca en la mano, con un gotero se le agrega agua lentamente, al estar húmeda se frota en la mano de tal manera que se forme una esfera de tierra de unos 2 a 5 cm de diámetro.

Después se moldeó un cilindro pequeño el cual se sigue manipulando hasta alcanzar un cilindro de unos 15 cm de largo este se doblara en forma de una “U” y se tomaron los datos de la muestra (Ciancalglini 2009)(Anexo 5b).

Tabla 2. Textura de los suelos. Ciancalglini (2009).

Textura	**Características**
Arenoso	El suelo no adopta la forma permanece separado solo adopta forma de pirámide
Franco arenoso	El suelo adopta forma esférica por lo pegajoso del limo y arcilla pero se deshace fácilmente
Franco-limoso	Similar al franco areno pero este puede tomar la forma del cilindro pequeño
Franco	Con tiene un balance de limo, arcilla y arena puede tomar la forma de cilindro de 15 cm pero se quiebra al doblarlo en "U"
Franco-arcilloso	Este nos quiebra al ser doblado en forma de un (no doblar bruscamente)
Arcilla fina	Al tomar la forma estérica muestra ciertas grietas
Arcilla pesada	Al tomar la forma esférica no presenta ningún tipo de grieta

4.7.3 Clasificación de microestructura

Para identificación de la estructura de los suelos muestreados, se recolectó porciones de suelo, de tal manera que estas mantuvieran su forma original. Las porciones de suelo se presionan lentamente aplicando fuera de tal manera que se rompa, dejando a la vista los agregados de los que está compuesto (Crosara 1998) (Anexo 5c).

4.7.4 Color de suelo

Las coloraciones del suelo se comparó con ayuda la tabla de Munsell, para ello se recolectaron porciones de suelo de los sitios de muestreo y se procede a comparar con los colores que se muestran en la Tabla de Munsell (Anexo 5d).

4.8 Estimación de la escorrentía con las parcelas

La medición la escorrentía se realizó por cada evento de precipitación. Las 24 horas el caudal que está escurriendo hacia los barriles se midió en litros por cada repetición en cada uno de las repeticiones para obtener un total y luego fueron tabulados en Excel para después realizar su análisis (Anexo 3b).

4.9 Estimación de la erosión hídrica

La estimación de la perdida de suelo se realizó en cada uno de los barriles por parcela de erosión, para cada evento de precipitación. Para ello, se le colocó una manta a cada barril que sirvió como trampa para recolectar todo el sedimento para luego trasladarla al laboratorio de la finca La Fortaleza (Anexo 3a).

En el laboratorio se procedió a la decantación, que es la separación del agua y suelo, donde el suelo húmedo se procederá a extraerle toda el agua, luego se introdujo al microondas 9 minutos hasta que quedo totalmente seco. Seguidamente el suelo seco se pesó y se sacó una relación de cuanto era la pérdida por cada evento de lluvia en las diferentes parcelas, para hacer una relación de pérdida de suelo en kg/ha (Anexos 3c y 3d).

4.10 Análisis Estadístico

El modelo aditivo lineal del diseño que se utilizara es el siguiente:

$Xij = \mu + Ti + Eij$

Donde:
i = 1…3 (tratamientos) j = 1…3 (repeticiones)
Xij = Variable aleatoria observable μ = Media general Ti = Efecto del tratamiento
Eij = Error experimental

El análisis de datos se realizó utilizando el programa. Como principal análisis se hiso un ANOVA para cada sitio en estudio, para obtener las diferencias estadísticas significativas entre todos los tratamientos y seguidamente una prueba de medias de Tukey para saber entre que pares de medias es donde se dio esas diferencias (Anexo 6).

4.11 Programa para el ajuste de modelos sigmoidales

Para la creación de modelos sigmoidales los que mejor se ajustaron a los datos resultantes de la erosión hídrica se utilizó el programa CurveExpert profesional 2.2.6 (http://www.curveexpert.net), el cual fue el modelo que mejor se ajustó a los datos.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Caracterización de los tres usos de suelo

5.1.1 Indicadores en el sistema agroforestal con café orgánico

Las plantas presentaban un equivalente de 3 de vigor de las plantas, dado que se encontraban con un bajo desarrollo y atacadas fuertemente por *Hemileia vastatrix.* El manejo de sombra para la pácela presento un equivalente de 3.3, en la finca los árboles que se utilizan para la sombra son guama, naranja y guarumo de los cuales el que predomina es la guama, sin embargo el uso de sombra no era uniforme y se presentaba ausencia en ciertos sitios de la finca.

El uso de cobertura de suelo que le brindaba las buenazas al suelo presento un equivalente a 2.3, dado que en zonas se encontraba ausente de cobertura vegetal, no obstante, la cobertura brindada por restos de materia orgánica equivale a 5 dado que se apreciaba en la finca una gran cantidad de hojarascas que cubrían toda la superficie del suelo. La retención de humedad del suelo presentó un equivalente de 4.3, esto se debe a que se podía apreciar cantidades de agua, además que en la finca se han realizado obras de conservación de suelo que ayudan a la retención de agua, como ser zanjas o cárcavas.

5.1.2 Indicadores en el sistema agroforestal con café convencional

La variable vigor de las plantas se valoró con 3.7, las plantas mostraban un desarrollo apropiado, sin embargo en ciertas zonas de la finca el desarrollo era significativamente bajo. El uso de sombra de la finca se valoró con 4, dado que la finca existía un adecuado uso de sombra, para ello se utilizaban especies de guama, ciruela, guarumo y predominantemente musáceas y naranjas.

En la finca la presencia de buenazas tuvo una valoración de 2.7, dado que en la finca no se apreciaba material vegetal en crecimiento sobre el suelo, igualmente la presencia de materia orgánica sobre la superficie del suelo se valoró con 2.3 porque era apreciable restos de hojarascas sobre la superficie del suelo. La variable retención de humedad del suelo se valoró con 4, esto porque en se podía observar que los suelos permanecían húmedos por tiempos prolongados, además en la finca se implementan obras de conservación de suelo utilizando espada de san miguel en toda la finca.

5.1.3 Indicadores para el uso de suelo sin cobertura

El equivalente de salud de suelo para este fue de 1.2. La variable vigor de las plantas presentó un equivalente de 1, esto se debe a que en el sitio no se podía ver desarrollo favorable por parte de las plantas. El uso de sombra en la parcela se valoró con 1 dado que el suelo se encontraba expuesto a la lluvia, el único árbol que le proporcionaba cierta sombra y protección al suelo era un pino.

En la parcela la presencia de buenazas se valoró con 1, esto se debe que el suelo se encontraba expuesto a la erosión casi en su totalidad. La presencia de restos de materia orgánica se valoró con 1, siendo nula la presencia de restos vegetales u hojarascas. La retención de humedad del suelo presento un equivalente de 2, esto porque en el suelo no se apreciaba retención de humedad, este se secaba con facilidad y no presenta ningún tipo de obras de conservación de suelo (Figura 4).

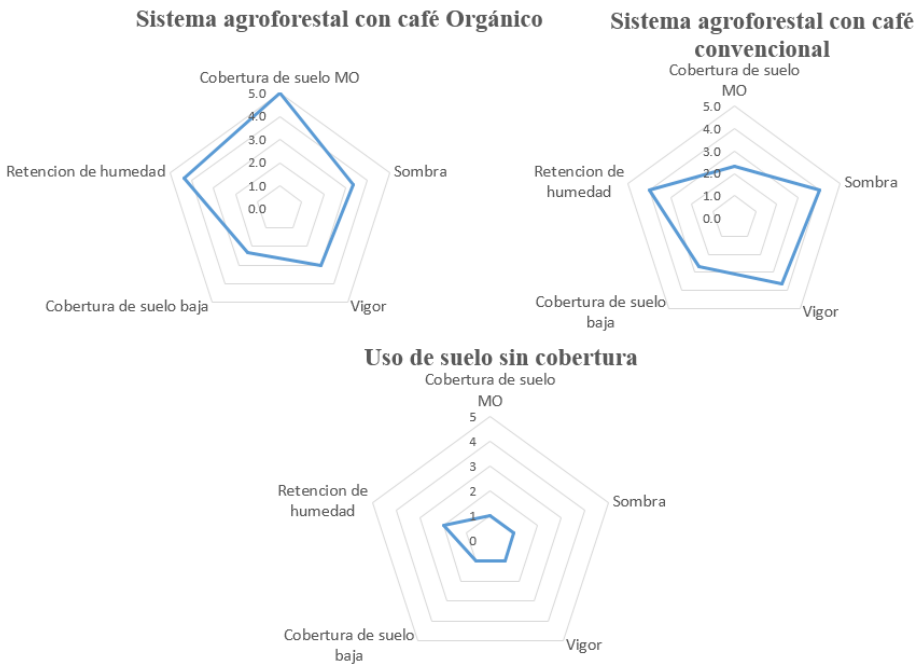


Figura 4. Caracterización de los tres usos de suelo en estudio en Finca La Fortaleza, Marcala, La Paz

5.2 Propiedades físicas del suelo

En las fincas de sistema agroforestal con café orgánico, convencional y el suelo sin cobertura se identificó una estructura granular lo que esta estructura es la ideal para el cultivo de café. La textura que se presento fue franco-arcilloso según (Shoji 1993) esto indica que el suelo presenta cantidades considerables de arcillas, lo que ayuda a la retención de humedad, sin embargo el exceso de humedad puede causar encharcamiento llegando a tener problemas con la escorrentía en las zonas de mucha inclinación.

La densidad aparente que se presentó en los 3 usos de suelo en promedio fue de 0.96 $\frac{g}{cm^3}$ según (Salamanca 2005) está entre el rango aceptable para el cultivo de café, este nivel de densidad aparente indica que en el suelo existe un balance de los componentes que dan origen al suelo.

Las variaciones de color de suelos fueron similares en la finca orgánica como en la convencional, presentando un color café, indicando que son suelos con cantidades considerables de materia orgánica mostrando valores de 5.1 % para la finca orgánica y para la finca convencional fue de 4.1%, según López (2014) estos valores de M.O Indican que los suelos no se erosionan fácilmente destacando la finca orgánica que presento mejores valores.

La coloración que se presentó en el suelo sin cobertura fue café claro, esto indica que existen cantidades de materia orgánica, sin embargo resultan ser menores que en las demás fincas, esto se ve reflejado en el porcentaje de M.O el cual fue de 3.8%.

Tabla 3. Propiedades físicas en los usos de suelo en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz

Usos de suelo	Textura	Estructura	Densidad aparente	Color	M.O
SAF café con orgánico	Franco-arcilloso	Granular	0.96		5.1
SAF con café convencional	Franco-arcilloso	Granular	0.96		4.1
Suelo sin cobertura	Franco-arcilloso	Granular	0.95		3.8

5.3 Precipitación en el área de estudio

Durante el periodo de estudio se registraron 21 eventos de lluvia, donde el primer evento se registró el 03 de octubre del 2017 y finalizando el 16 de diciembre del 2017. Tomando en cuenta que esta es una zona con precipitaciones continuas en el periodo de estudio se registró un total de 315 mm distribuidos en 3 meses durante el periodo de estudio (Figura 5).

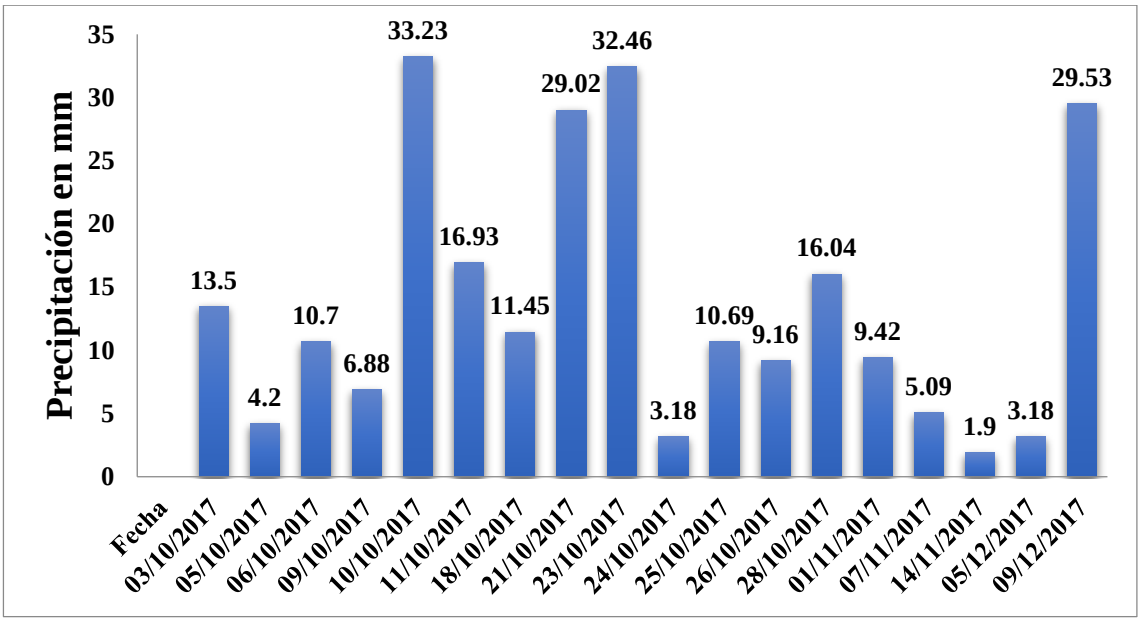


Figura 5. Registro de precipitación diaria de Octubre 2017 a Diciembre 2017 con un pluviómetro artesanal, en finca La Fortaleza, en Marcala, La Paz

5.4 Escorrentía mediante parcelas de erosión

Los resultados de la escorrentía que se obtuvieron, queda demostrado que los índices de erosión fueron mayor de acuerdo a la protección del suelo y mayor concentración de materia orgánica. El suelo sin cobertura con 3.8% de materia orgánica fue el que presento mayor escurrimiento superficial en relación a las demás parcelas en estudio, este resultado se debe que no tiene protección arbórea y al momento de las precipitaciones el agua cae de una forma directa en el suelo y esto provoca mayor escorrentía superficial reduciendo la filtración del agua en el suelo.

La cobertura del sistema agroforestal convencional con 4.1% de materia orgánica fue el intermediario en la investigación por que los índices fueron un poco bajos en relación a los otros, esto se debe a que cuenta con un buen manejo y una topografía adecuada para café.

El sistema agroforestal con café orgánico con 5.1% fue el que presento los más índices más bajos de escurrimiento superficial, esto se debe a su buen manejo y protección que tiene, la cual protege al suelo del impacto directo de la gotas de lluvia es así que este sistema cuenta con diferentes estratos que le ayudan a la protección del suelo como arboles de sombra, frutales, cultivo de café entre otras (Figura 6).

El suelo sin cobertura debido a su falta de cobertura en doseles superiores se escurre más que los SAF con café, se escurre 5 veces más que el SAF con café convencional y 6.6 veces que el SAF con café orgánico y el SAF con café convencional se escurre 1.3 veces que el SAF con café orgánico.

Según los estudios de López (2014) la escorrentía puede tender a ser menor cuando hay presencia de materia orgánica ya que favorece la formación de una estructura estable de agregados en el suelo por medio de la estrecha asociación de las arcillas con la materia orgánica. Esta asociación incrementa la capacidad de retención de agua ya que puede absorber de tres a cinco veces más de su propio peso, por lo que el escurrimiento superficial será menor.

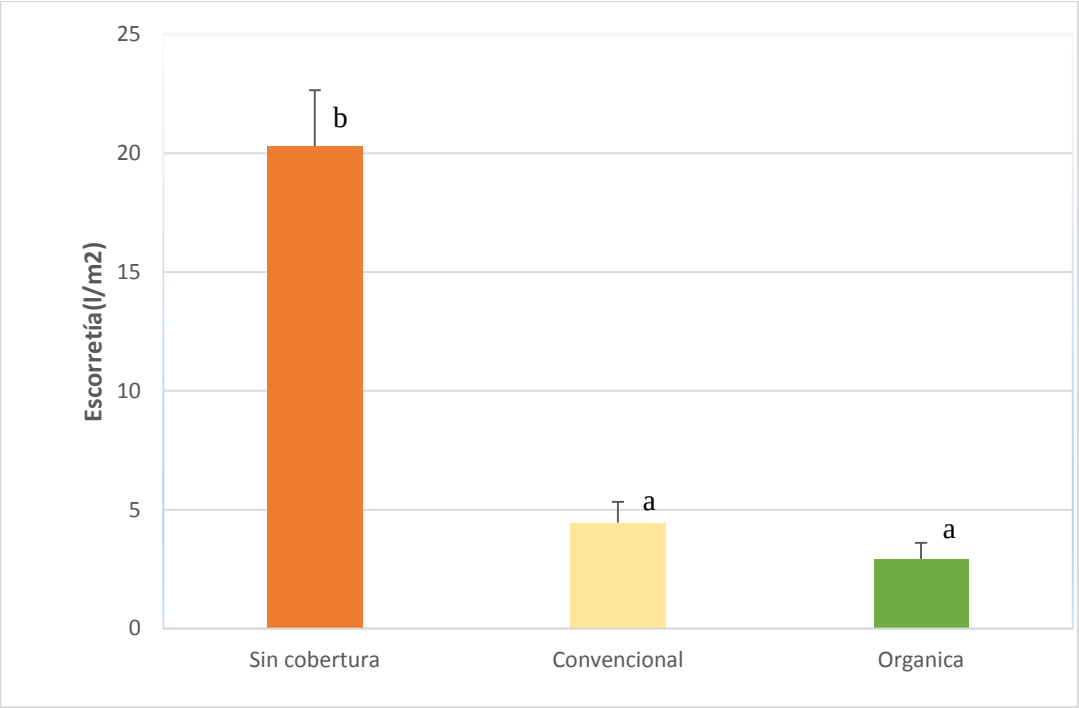


Figura 6. Escorrentía por uso de suelo mediante el periodo de estudio: Octubre 2017 a Diciembre 2017 en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz. Las barras de error muestran la desviación estándar. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (p< 0.5) (Anexo 6a)

5.5 Relación de la precipitación y escorrentía en coberturas

Con los datos obtenidos en cada uso de suelo y de cada evento de lluvia se realizó el análisis de las variables de precipitación y escorrentía. Se realizó un ajuste para ver cuál de los modelos de regresión era el adecuado para los datos tomados en campo, para poder predecir el comportamiento de la variable dependiente (escorrentía) cuando interactúa con la variable independiente (precipitación).

5.5.1 Escorrentía en el suelo sin cobertura

Para el suelo sin cobertura el que mejor se ajusto fue el de Richards con un r de 0.97 (Figura 7).

$$\text{Escorrentía } (\text{l}/m^2) = \frac{4.810331}{(1+2.718281^{7.371907-(2.389566)(Precipitacion\ en\ mm)1}/1.375722}$$

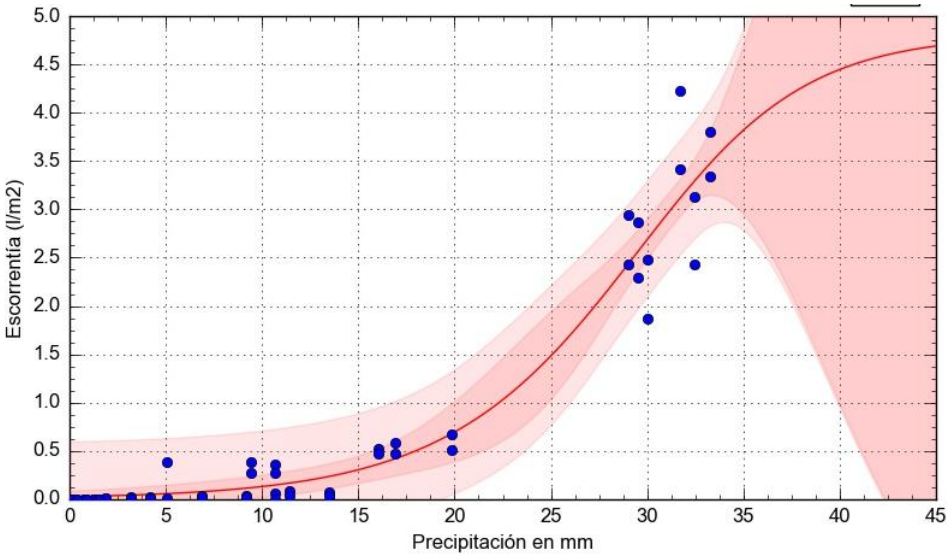


Figura 7. Ajuste del modelo Richards para el suelo sin cobertura en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz

5.5.2 Escorrentía en el SAF con café convencional

Para el SAF con café convencional fue también el de Richards con un r de 0.82 (Figuras 8).

$$\text{Escorrentía } (\text{l}/m^2) = \frac{4.655271}{(1+2.718281^{1.268897-(7.248463)(Precipitacion\ en\ mm)})/2.519961}$$

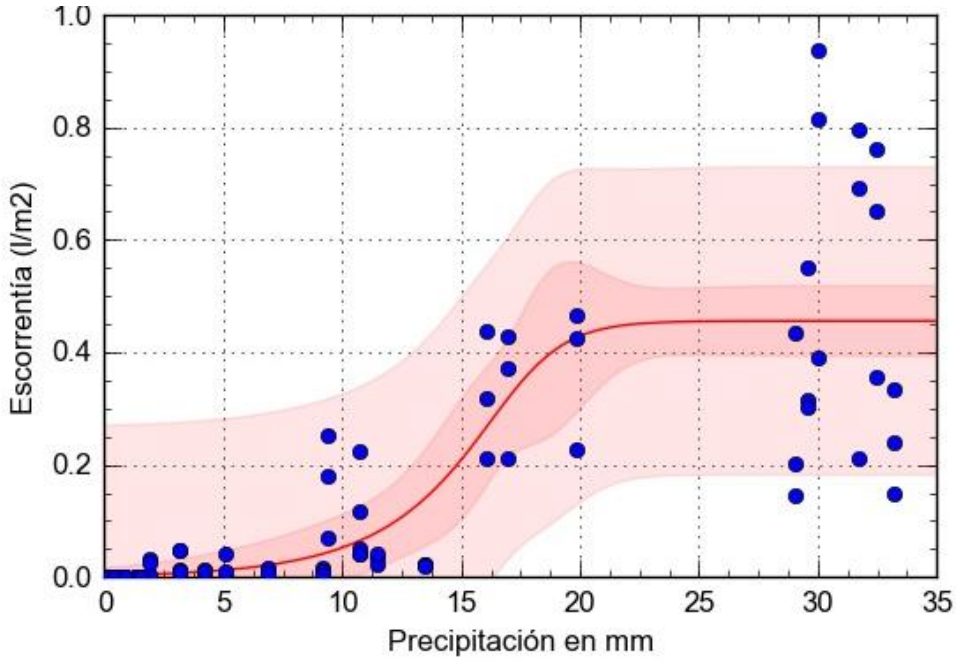


Figura 8. Ajuste del modelo Richards para el SAF con café convencional en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz

5.5.3 Escorrentía en el SAF con café orgánico

Para el SAF con café orgánico el que mejor se ajusto fue el logístico con un r de 0.83 (Figura 9).

Escorrentía:(l/m^2)

=3.079979/(1+(1.440477)$2.718281^{-(3.237613)(Precipitacion\ en\ mm)}$

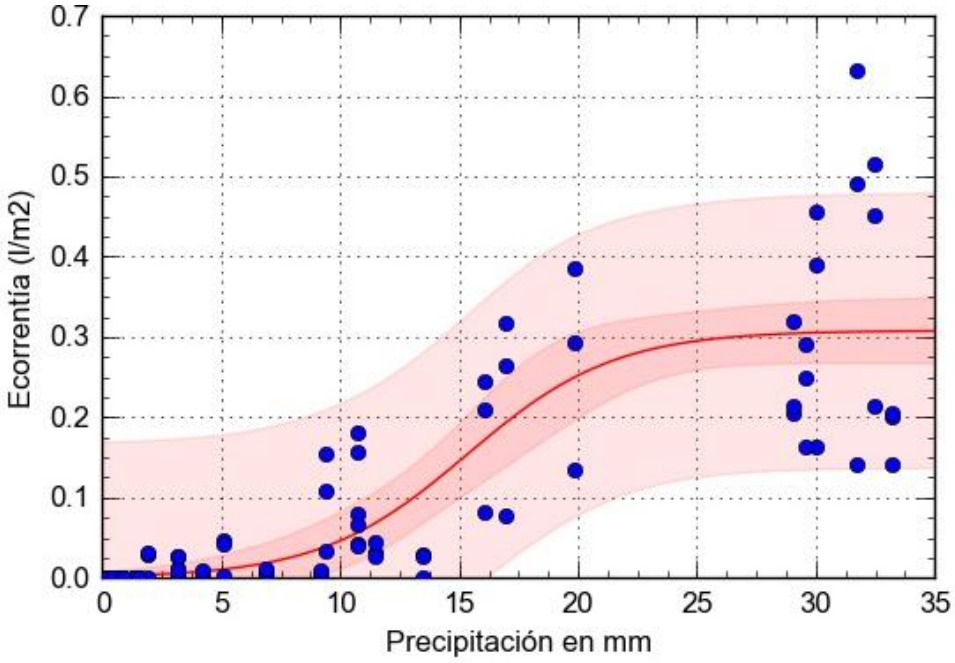


Figura 9. Ajuste para el modelo logístico para el SAF con café orgánico en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz

5.6 Calculo de erosión hídrica mediante parcelas de erosión

De todos los eventos de precipitación medidos se obtuvo un promedio de erosión por usos de suelo. Según los resultados obtenidos se observa una tendencia de pérdida de suelo entre los diferentes usos de suelos. En relación al tipo de protección que tiene cada uso de suelo, así mismo se produjo mayor erosión en el suelo sin cobertura. En diferentes observaciones en la parcela se había hecho diferentes controles de malezas y limpiezas, porque hay diferentes zanjas o cárcavas que sirven de salida de aguas residuales.

Por otra parte tenemos el sistema agroforestal de café convencional que obtuvo un promedio no tan alto de erosión, porque en ella se observaron obras de conservación de suelos como barreras vivas y un uso de suelo aceptable, esto ayudo a desfavorecer la escorrentía y por consiguiente la erosión hídrica.

El sistema agroforestal con café orgánico fue el uso de suelo que presento un menor índice de erosión, porque cuenta con un mejor manejo en cuanto a cobertura, con una mayor riqueza de estratos arbóreos con diversidad de especies y esto ayuda a reducir la erosión hídrica (Figura 10).

El suelo sin cobertura se erosiona 3.8 veces que el convencional y 8.4 veces que el SAF con café orgánico esta diferencia se debe a la poca cobertura es el factor principal, y en comparación el SAF con café convencional se erosiona 2.2 veces que el SAF con café orgánico esta diferencia se da por su manejo.

En otros estudios López (2014) y Salinas (2016) determinaron que los sistemas agroforestales con cacao presentaron los menores índices de pérdida de suelo esto se debió: a su cobertura vegetal y sus diferentes estratos arbóreos (arboles maderables, musáceas y el cultivo del cacao), ya que esta protege el suelo del impacto de las gotas y reduce la pérdida de suelo.

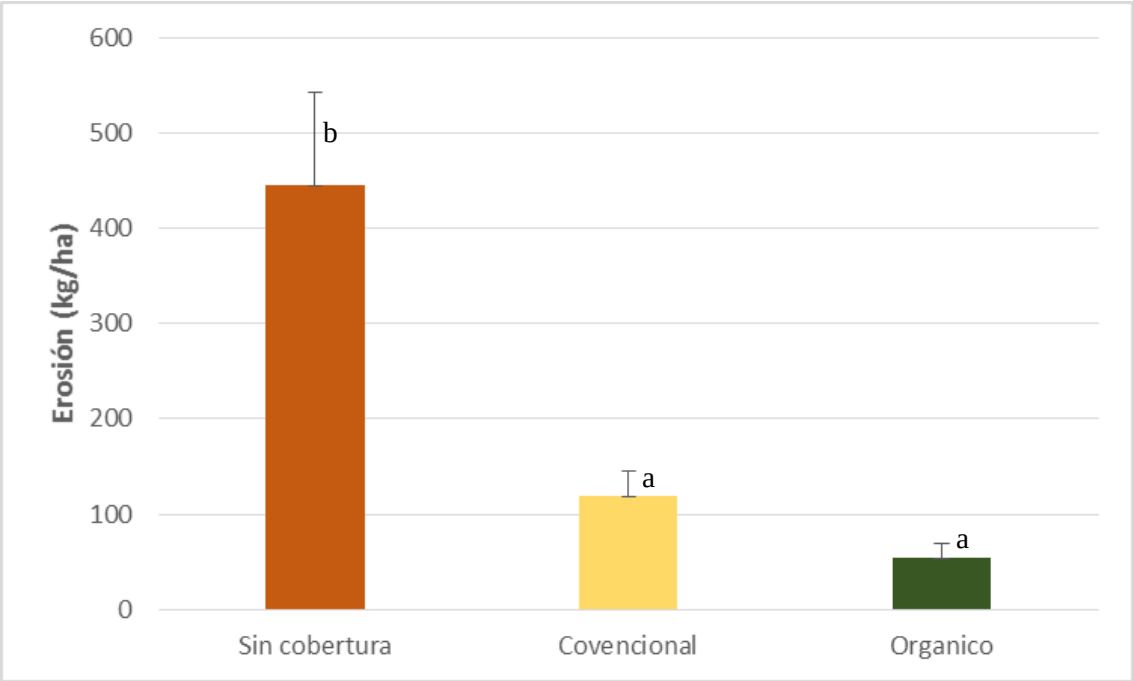


Figura 10. Erosión total por uso de suelo por periodo de estudio (Octubre 2017 a Diciembre 2017) en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz. Las barras de error muestran la desviación estándar. Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($p< 0.5$) (Anexo 6b)

5.7 Relación de la precipitación y erosión en las parcelas

Ya con los datos obtenidos de erosión después del proceso en laboratorio se prosiguió a la creación de los modelos sigmoidales a ver cuál se ajusta mejor a nuestros datos tomados en los tres usos de suelo en estudio.

5.7.1 Erosión en el suelo sin cobertura

En el suelo sin cobertura el modelo que mejor se ajusto fue el Logístico con un r de 0.86 (Figura 11).

Erosión (kg/ha)$= 5.183145/(1 + (1.000748)2.718281^{-(4.205902)(Precipit\ en\ mm)}$

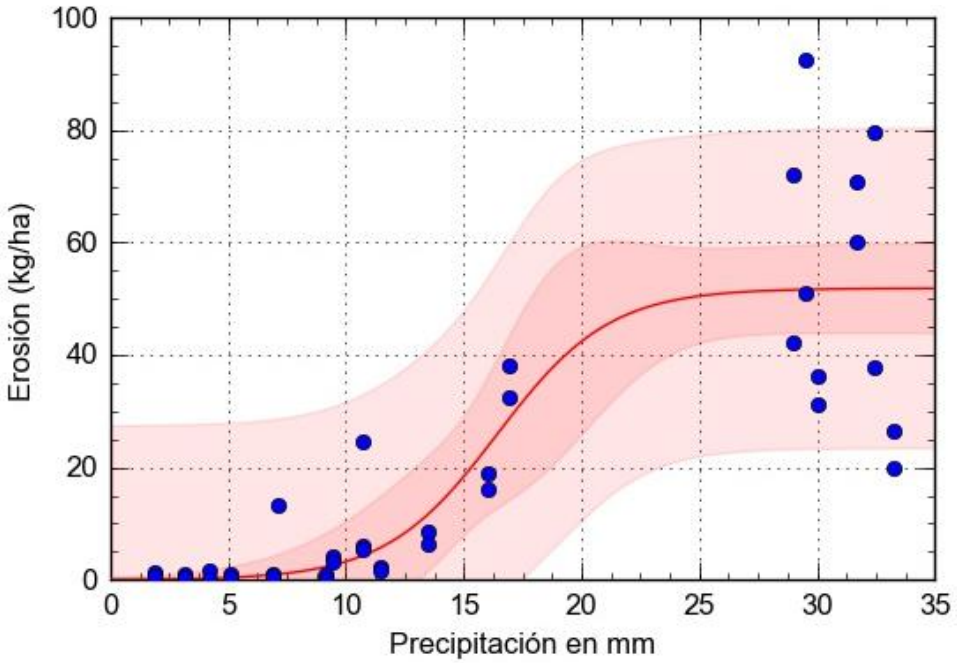


Figura 11. Ajuste del modelo Logístico para el suelo sin cobertura en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz

5.7.2 Erosión en el SAF con café convencional

Al igual que en el SAF con café convencional fue el modelo Logístico con un r de 0.68 (Figura 12).

Erosión (kg/ha) =1.223347/(1+(2.060459)$2.718281^{-(6.946852)(Precipitacion\ en\ mm)}$

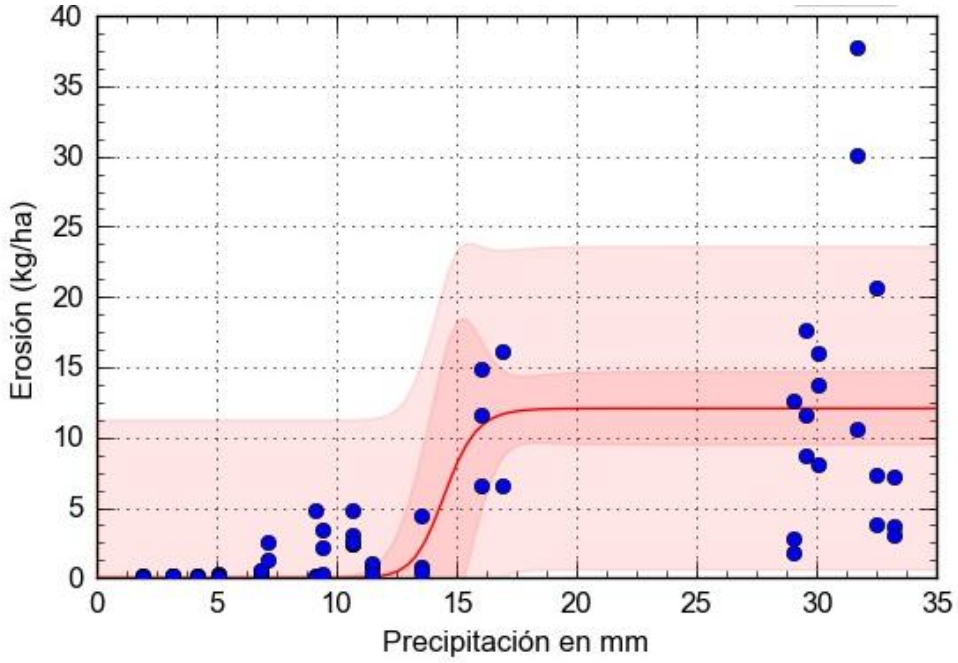


Figura 12. Ajuste del modelo logístico para el SAF con café convencional en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz

5.7.3 Erosión en SAF con café orgánico

Para en el SAF con café orgánico fue Weibull Modelo con un r de 0.57 (Figura 13).

Erosión (kg/ha) =6.586169-5.95962$(2.71828)^{-(6.121155)(Precipitacion\ en\ mm)^{3.752359}}$

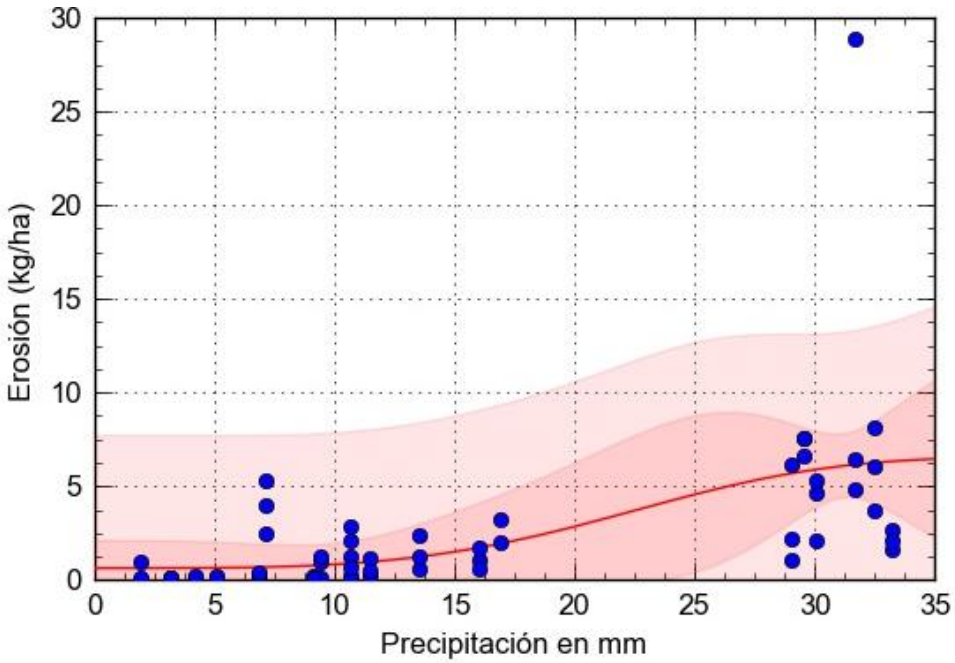


Figura 13. Ajuste del Modelo Weibull para el SAF con café orgánico en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz

Cuadro 1. Modelos sigmoidales y sus ecuaciones que se ajustaron mejor de acuerdo a los datos en los usos de suelo sometidas a estudio en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz

Usos de suelo	**Ecuaciones**	**Ecuaciones de regresión**	**r**
Sin cobertura	Richards $y = \frac{a}{C1 + e^{b-cx})1/d}$	Escorrentía(l/m^2) $= \frac{4.810331}{(1+2.718281^{7.371907-(2.389566)(Precipitacion\ en\ mm)1}/1.375722}$	0.97
	Logístico y=a/(1+be^{-cx})	Erosión(kg/ha)= $5.183145/(1 + (1.000748)2.718281^{-(4.205902)(Precipitacion\ en\ mm)}$	0.86
Convencional	Richards $y = \frac{a}{C1 + e^{b-cx})1/d}$	Escorrentía(l/m^2) $= \frac{4.655271}{(1+2.718281^{1.268897-(7.248463)(Precipitacion\ en\ mm)})/2.519961}$	0.82
	Logístico y=a/(1+be^{-cx})	Erosión(kg/ha) =1.223347/(1+(2.060459)$2.718281^{-(6.946852)(Precipitacion\ en\ mm)}$	0.68
Orgánica	Logístico y=a/(1+be^{-cx})	Escorrentía (l/m^2) =3.079979/(1+(1.440477)$2.718281^{-(3.237613)(Precipitacion\ en\ mm)}$	0.83
	Weibull Modelo $y = a - be^{-cx^d}$	Erosión(kg/ha) =6.586169-5.9596232.718281$^{-(6.121155)(Precipitacion\ en\ mm)^{3.752359}}$	0.57

VI. CONCLUSIONES

a. Los suelos con mayor presencia de materia orgánica y mejor manejo de estratos arbóreos como cobertura vegetal presentaron menor nivel de erosión y escorrentía

b. El sistema agroforestal con café orgánico presentó menores niveles de erosión en comparación con las otras coberturas, el SAF con café convencional 2.2 y el suelo sin cobertura 8.4 veces más que el SAF con café orgánico

c. Según la caracterización de los usos de suelo realizada en cuanto humedad, sombra, materia orgánica y vigor de las plantas el sistema agroforestal con café orgánico cuenta con mejores condiciones debido a su mejor manejo orgánico, esto reduce significativamente la pérdida de suelo

d. El mejor método para crear los modelos de predicción de pérdida de suelo fueron los sigmoidales ya que se ajustan mejor de acuerdo a los datos tomados en campo

VII. RECOMENDACIONES

a. Hacer validaciones del estudio tomando en cuenta otros usos de suelo en diferentes fincas de COMSA para aumentar el número de tratamientos y repeticiones para tener mayor confiabilidad de datos

b. Promover el manejo que brinda COMSA en cuanto la finca humana esto puede ayudar a que muchos productores puedan mejorar su calidad de vida y su forma de trabajar

c. Socializar los resultados de la investigación con los demás socios de la empresa y alrededores para darles a conocer los grandes impactos que pueden tener en sus suelos por la pérdida y degradación de la tierra

VIII. BIBLIOGRAFIA

Alonso, A; Torralba, M.A; Martin, F.I; Abolafio, F.E. 1992. Erosión y manejo de suelo: importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y antrópicos. (en línea). Consultado el 3 de agosto del 2017. Disponible en: http://www.digital.csic.es/bitstream/10261/60833/1/Capitulo13_38.pdf

Blake, G. 1986. Bulk Density. *In:* A Klute *(ed).* Methods of soil analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Pag 363-375.

CENAPRED, 2005. La erosión hídrica de suelos y su importancia. (en línea). Consultado en el 1 de agosto de 2017. Disponible en: http://www.cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Noviembre2005/pdf/spa/doc5928/doc5928-b1.pdf

Ciancalglini, N. 2009. Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico. (en línea). Consultado el 10 de octubre de 2017. Disponible en http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf

Crosara, A. 1998.Estructura del suelo. (en línea). Consultado el 5 noviembre de 2017. Disponible en: http://www.edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Practico%204.pdf

FAO. 2015. El suelo es un recurso no renovable: su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible. (en línea). Consultado en el 2 agosto de 2017.disponible en: http://www.fao.org/3/a-i4373s.pdf

Farfán, R. 2002. Determinación del índice de erosividad pluvial R de la ecuación universal de perdida de suelos, en la VII región del Maule. Tesis Ing. Forestal, Talca, chile. Universidad de Talca, Facultad de ciencias forestales. 123 p.

Farfán, V. 2014. Agroforesteria y sistemas agroforestales con café. (en línea). Consultado el 8 de agosto de 2017. Disponible en: http://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforester%C3%ADa_y_sistemas_agroforestales_con_caf%C3%A9.pdf

Farell J; Altieri M. 2014. Sistemas Agroforestales. (en línea). Consultado el 8 de agosto de 2017. Disponible en: https://socla.co/wpcontent/uploads/2014/sistemasagroforestales_m.a._altieri.pdf

Forziati F; Jodor M. sf. Control de RRHH: erosión hídrica del suelo. (en línea). Consultado el 3 de agosto del 2017. Disponible en: http://www.ina.gov.ar/pdf/ifrrhh/01_008_Forziati.pdf

Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. (en línea). Consultado el 15 de agosto de 2017. Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf

López Rivera, J.R. 2014.: Determinación de erosión hídrica, escorrentía y estabilidad de agregados del suelo en sistemas agroforestales con cacao y árboles maderables en Río Tinto Catacamas, Olancho. Licenciado en Recursos Naturales Y Ambiente pág. 56.

Mancilla Bascuñan, HB. 2006. Erosión en parcelas experimentales y redistribución de suelo mediante la concentración de 7 Be. (en línea). Consultado el 21 de agosto de 2017. Disponible en: http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/fifm269e/doc/fifm269e.pdf

Meléndez, G; Soto, G. 2003. Taller de abonos Orgánicos. (en línea). Residuos orgánicos y materia orgánica del suelo. 2(25). Consultado el 07 de marzo de 2018. Disponible en http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Taller%20Abonos%20Org%C3%A1nicos.pdf

Morales Ascarrunz, MC. 2014. Estimación de la erosión laminar y sedimentación con modelos hidrológicos para la selección de prácticas de conservación de suelos y cambios de cobertura en la Unidad Hidrográfica. Tesis MSc. Turrialba, CR, CATIE. 94 P.

Salamanca, A; Sadeghian, S. 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en zona cafetera de Colombia. (en línea). Densidad aparente. 2(17). Consultado el 07 de marzo de 2018. Cap. 1. Disponible en https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2804%29381-397.pdf

Salinas Martínez, JM. 2016. Determinación de la erosión hídrica, aporte de biomasa y fertilidad de suelo en sistemas agroforestales con cacao y arboles maderables en la zona de Rio Tinto, Catacamas, Olancho. Licenciado en Recursos Naturales y Ambiente. 51p.

Schewap, GO; frevert, RK; Edminster, TW; Barnes, KK. 1990. Ingeniería de conservación de suelos y agua. I ed. México, MX EDITORIAL LIMUSA. 570p.

Secretaria de agricultura y ganadería proyecto mejoramiento del uso y productividad de la tierra (SAG-LUPE). 1998. Manual práctico de manejo de los suelos en ladera. Tegucigalpa Honduras. 326 p.

Shoji, S. 1993. Elsevier science publishers. the netherlands. 288 pag

Osorio, R. 2008. Propiedades físicas y químicas. (en línea). Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Antioquia. Consultado el 07 de marzo de 2018. Cap. 1. Disponible en http://aprendeenlinea.udea.edu.co/lms/ocw/mod/page/view.php?id=226

Ramirez, E; Calvo, J. 2003. Caracterización de los sistemas agroforestales. (en línea).consultado en el 29 de enero de 2018. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Julio_Calvo-Alvarado/publication/262876662_Characterization_of_coffee_agroforestry_systems_in_the_buffer_zone_of_the_La_Amistad_biosphere_reserve_Pejibaye_de_Jimenez_Costa_Rica/links/00b4953a1d1c1296b4000000/Characterization-of-coffee-agroforestry-systems-in-the-buffer-zone-of-the-La-Amistad-biosphere-reserve-Pejibaye-de-Jimenez-Costa-Rica.pdf

Thornes, JB. 1985. La ecología de la erosión. (en línea). Consultado el 11 de agosto de 2017. Disponible en: http://www.journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0309133310367548

UNICEF, 2013. Derrumbes y deslizamientos. (en línea). Consultado el 11 de agosto de 2017. Disponible en: https://www.unicef.org/lac/UNICEF_be_folleto_3_Derrumbes_y_deslizamientos_reduc.pdf

Ulloa, FG. 2015. Manual para el establecimiento y manejo de los sistemas agroforestales. (en línea). Consultado el 20 de agosto de 2017. Disponible en: http://www.rainforestalliance.org/lang/sites/default/files/publication/pdf/Paisajes%20Sostenibles%20%28ICAA%29%20%20Manual%20para%20el%20.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Marcación y construcción de las parcelas de erosión en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz









Anexo 2. Parcelas de erosión implementadas en las tres coberturas de suelo en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz





a. Suelo sin cobertura





b. SAF con café orgánico





c. SAF con café convencional

Anexo 3. Recolección y tabulación de datos en estudio





a. Recolección de muestra de erosión





b. Medición de escorrentía por evento





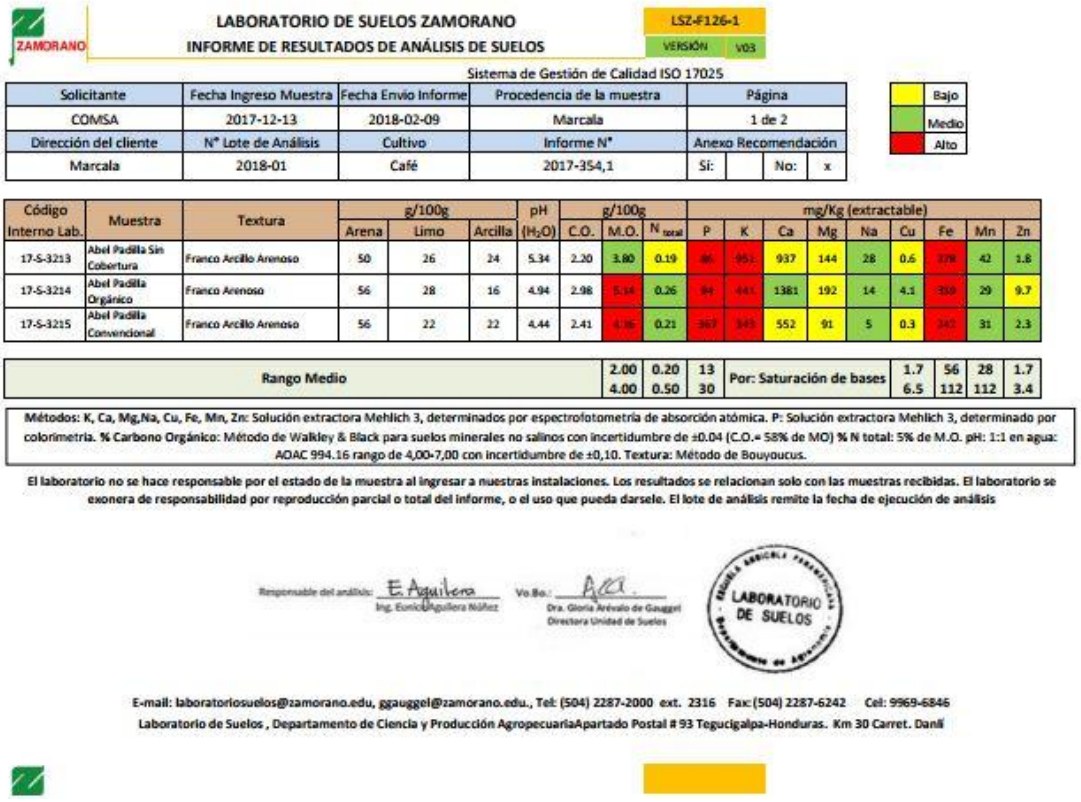
c. Secado de muestras de erosión





d. Pesado de muestras de erosión

Anexo 4. Resultados análisis de suelo para determinar la materia orgánica en los tres usos de suelo en Marcala, La Paz



LABORATORIO DE SUELOS ZAMORANO

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS

LSZ-F126-1 | VERSIÓN v03

Sistema de Gestión de Calidad ISO 17025

Solicitante	Fecha Ingreso Muestra	Fecha Envio Informe	Procedencia de la muestra	Página
COMSA	2017-12-13	2018-02-09	Marcala	1 de 2
Dirección del cliente	**N° Lote de Análisis**	**Cultivo**	**Informe N°**	**Anexo Recomendación**
Marcala	2018-01	Café	2017-354,1	Si: No: x

Bajo / Medio / Alto

Código Interno Lab.	Muestra	Textura	g/100g			pH	g/100g			mg/Kg (extractable)								
			Arena	Limo	Arcilla	(H_2O)	C.O.	M.O.	N_{total}	P	K	Ca	Mg	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
17-S-3213	Abel Padilla Sin Cobertura	Franco Arcillo Arenoso	50	26	24	5.34	2.20	3.80	0.19	86	951	937	144	28	0.6	378	42	1.8
17-S-3214	Abel Padilla Orgánico	Franco Arenoso	56	28	16	4.94	2.98	5.14	0.26	94	441	1381	192	14	4.1	359	29	9.7
17-S-3215	Abel Padilla Convencional	Franco Arcillo Arenoso	56	22	22	4.44	2.41	4.16	0.21	367	345	552	91	5	0.3	243	31	2.3
Rango Medio							2.00 4.00	0.20 0.50	13 30	**Por: Saturación de bases**					1.7 6.5	56 112	28 112	1.7 3.4

Métodos: K, Ca, Mg,Na, Cu, Fe, Mn, Zn: Solución extractora Mehlich 3, determinados por espectrofotometría de absorción atómica. P: Solución extractora Mehlich 3, determinado por colorimetría. % Carbono Orgánico: Método de Walkley & Black para suelos minerales no salinos con incertidumbre de ±0.04 (C.O.= 58% de MO) % N total: 5% de M.O. pH: 1:1 en agua: AOAC 994.16 rango de 4,00-7,00 con incertidumbre de ±0,10. Textura: Método de Bouyoucus.

El laboratorio no se hace responsable por el estado de la muestra al ingresar a nuestras instalaciones. Los resultados se relacionan solo con las muestras recibidas. El laboratorio se exonera de responsabilidad por reproducción parcial o total del informe, o el uso que pueda darsele. El lote de análisis remite la fecha de ejecución de análisis

Responsable del análisis: E. Aguilera — Ing. Eunice Aguilera Núñez

Vo.Bo.: — Dra. Gloria Arévalo de Gauggel, Directora Unidad de Suelos

LABORATORIO DE SUELOS

E-mail: laboratoriosuelos@zamorano.edu, ggauggel@zamorano.edu., Tel: (504) 2287-2000 ext. 2316 Fax:(504) 2287-6242 Cel: 9969-6846
Laboratorio de Suelos , Departamento de Ciencia y Producción AgropecuariaApartado Postal # 93 Tegucigalpa-Honduras. Km 30 Carret. Danlí

Anexo 5. Propiedades físicas del suelo en los tres usos de suelo en finca La Fortaleza, Marcala, La Paz





a. Densidad aparente mediante el método del cilindro





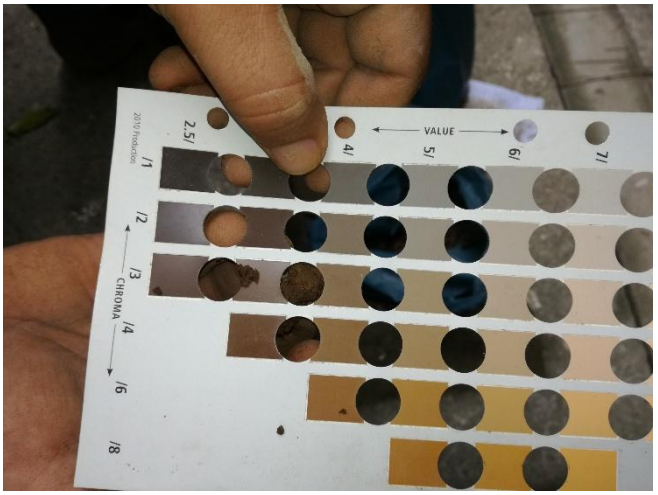
b. Textura de los usos de suelo





c. Estructura de los usos de suelo





d. Color del suelo mediante la tabla munsell

Anexo 6. Pruebas de tukey en los usos de suelo con software Infostat

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Escorrentía l/m2	9	0.96	0.94	21.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	504.16	2	252.08	66.95	0.0001
Usos de suelo	504.16	2	252.08	66.95	0.0001
Error	22.59	6	3.77		
Total	526.76	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.86125

Error: 3.7653 gl: 6

Usos de suelo	Medias	n	E.E.	
1.00	2.89	3	1.12	A
2.00	4.45	3	1.12	A
3.00	19.49	3	1.12	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0.05)

a. Pruebas de medias en usos de suelo para la variable escorrentía

Análisis de la varianza

Variable	N	R²	R² Aj	CV
Erosión kg/ha	9	0.88	0.83	36.93

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	219295.01	2	109647.50	21.10	0.0019
Usos de suelo	219295.01	2	109647.50	21.10	0.0019
Error	31178.97	6	5196.49		
Total	250473.97	8			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=180.59420

Error: 5196.4946 gl: 6

Usos de suelo	Medias	n	E.E.	
1.00	54.33	3	41.62	A
2.00	118.46	3	41.62	A
3.00	412.83	3	41.62	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0.05)

b. Prueba de medias en los usos de suelo para la variable erosión