



CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AGRÍCOLA**

TEMA:

**DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN EL ÁREA
DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO DE LA
ESPAM- MFL.**

AUTORES:

**LÓPEZ PÁRRAGA GEMA MARÍA
ZAMORA MERA ANTONIO RAFAEL**

TUTOR

ING. ÁNGEL FROWEN CEDEÑO SACÓN, M.Sc.

CALCETA, JULIO 2016

DERECHOS DE AUTORÍA

López Párraga Gema María y Zamora Mera Antonio Rafael, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado de calificación profesional y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Atraves de la presente declaramos ceder los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento estipulado.

GEMA M. LÓPEZ PÁRRAGA

ANTONIO R. ZAMORA MERA

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Ángel Frowen Cedeño Sacón certifica haber tutelado la tesis **DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN EL ÁREA DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO DE LA ESPAM- MFL**, que ha sido desarrollada por López Párraga Gema María y Zamora Mera Antonio Rafael, previa a la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. ÁNGEL CEDEÑO SACÓN. M.Sc.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente declaramos haber **APROBADO** la tesis **DIAGNÓSTICO DE LA FERTILIDAD DEL SUELO EN EL ÁREA DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO DE LA ESPAM- MFL**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por, López Párraga Gema María y Zamora Mera Antonio Rafael, previa la obtención del título de Ingeniero Agrícola de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. GALO CEDEÑO GARCÍA. M.Sc.

MIEMBRO

ING. JESÚS CHAVARRÍA PÁRRAGA. M.Sc.

MIEMBRO

ING. JAIRO CEDEÑO DUEÑAS. M.Sc.

PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López ESPAM - MFL, que me brindó la oportunidad en la enseñanza y aprendizaje a la educación superior de calidad.

A Dios por darme la vida para elegir el buen camino.

A la Dirección de la carrera de Ingeniería Agrícola, encarnada por el Director Ing. Leonardo Vera Macías, Mg. Por su habilidad de manera oportuna durante los inicios del proyecto de tesis y también a mi tutor al Ing. Ángel Frowen Cedeño Sacón por su tiempo y dedicación en este trabajo en las correcciones del mismo.

El reconocimiento y el mérito de las personas que me estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que me anima a seguir adelante y crecer como persona de bien para servir a mi comunidad.

En este caso mi sincero agradecimiento al Ing. Federico Díaz Trelles, como parte fundamental en el trabajo de investigación y a la Lcda. Katty Ormaza, al Ing. Freddy Mesías Coordinador del laboratorio. Docentes de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí y al laboratorio de suelo, siempre estaré agradecido por su tiempo para llevar a cabo los resultados de esta tesis.

ANTONIO R. ZAMORA MERA

DEDICATORIA

A las personas que me han dado la vida como son mis padres, la Sra. María Del Carmen Mera Ormaza y el Sr. Francisco Zamora Cobeña por ser quienes me han llevado por el camino del bien, del amor y la justicia que han sabido inculcar en mi valores y principios morales y sobre todo educarme, por eso dedico mi trabajo a ellos porque aun los tengo con vida.

A mis sobrinos (Melany y Nicolás), quienes son parte de esta meta que hoy he alcanzado, quienes son mis motivaciones para seguir adelante en mi preparación.

ANTONIO R. ZAMORA MERA

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López ESPAM - MFL, que nos brindó la oportunidad de una educación superior de calidad y forjarnos día a día.

Agradezco infinitamente a Dios por darme el regalo de la vida y haberme permitido culminar una de mis metas.

Al director de la carrera de Agrícola Ing. Leonardo Vera por su inmenso apoyo y conocimientos entregados, al Ing. Federico Díaz por su ayuda orientada y desinteresada.

A mi esposo José Zambrano, que fue quien me impulso a seguir con mis estudios brindándome su amor, tiempo y apoyo incondicional, a mis padres Isabel Párraga y Miguel López quien con sus palabras de aliento me motivaban a seguir y no desmayar, a mi precioso hijo Mathew Zambrano por haber aceptado mis horas de ausencia, a cada uno de mis hermanos en especial a Miguel Andrés quien me brindo su ayuda cuando más la necesite, a mis suegros que fueron apoyo fundamental durante mis estudios, a mi cuñada Ing. Fernanda Zambrano quien siempre estuvo presta a ayudarme en lo que yo necesitaba. Agradezco a cada uno de mis familiares por haber creído en mí.

Al Ing. Freddy Mesías y Lcda. Katty Ormaza por su paciencia y enseñanza en el laboratorio de suelos de la ESPAM. A mi tutor al Ing. Ángel Frowen Cedeño Sacón por su tiempo y dedicación en este trabajo y por qué no a los señores miembros del tribunal que con sus acertadas opiniones y correcciones han dado por culminado este trabajo de tesis.

A mis compañeros de clase con los cuales compartimos cinco largos años, y que con ellos vivimos los buenos y malos momentos que solo se viven en la universidad, que con algunos más que compañeros fuimos verdaderamente amigos, cada uno con sus diferencias pero al final siempre unidos. Y porque no agradecerte a ti compañero de tesis Rafael Zamora, que caminamos por este extenso camino con un solo fin que hoy se ve reflejado.

GEMA M. LÓPEZ PÁRRAGA

DEDICATORIA

Todo esfuerzo y sacrificio tiene su recompensa y hoy damos por culminado este trabajo que contiene en cada una de estas páginas, el aliento y dedicación que pusimos en él.

A Dios quien es dueño absoluto de nuestras vidas.

A mi esposo, quien me supo apoyar en todo momento.

A mi hijo quien fue fuente de inspiración para culminar con este trabajo.

A mis padres quienes siempre quisieron lo mejor para mí.

A mis hermanos que los adoro porque son ejemplos de superación día a día.

A toda mi familia que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

GEMA M. LÓPEZ PÁRRAGA

CÁRATULA	i
DERECHOS DE AUTORÍA	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA.....	ix
CONTENIDO DE CUADROS	xiii
CONTENIDO DE TABLAS	xiii
CONTENIDO DE FOTOS.....	xiii
RESUMEN	xiv
PALABRAS CLAVES:	xiv
ABSTRACT	xv
CAPITULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVO	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4. HIPÓTESIS.....	3
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. CONCEPTO DE SUELO.....	4
2.2. FERTILIDAD DEL SUELO	4
2.3. FERTILIDAD NATURAL	5
2.4. FERTILIDAD ADQUIRIDA	5
2.5. FERTILIDAD ACTUAL.....	5
2.6. FERTILIDAD POTENCIAL.....	5
2.7. FERTILIDAD QUÍMICA.....	5
2.7.1. pH DEL SUELO	6
2.7.2. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC).....	7
2.7.3. MATERIA ORGÁNICA.....	8
2.7.4. SALINIDAD DEL SUELO.....	9

2.7.5. FÓSFORO	10
2.8. FERTILIDAD FÍSICA	11
2.8.1. LA TEXTURA DEL SUELO.....	11
2.8.2. POROSIDAD DEL SUELO	11
2.8.3. ESTRUCTURA DEL SUELO	12
2.8.4. DENSIDAD APARENTE	12
2.9. DIAGNÓSTICO DE SUELOS	13
2.10. SECTORES DE REFERENCIA.....	13
2.11. LEVANTAMIENTO DE SUELO	14
2.12. TIPOS DE MAPAS DE SUELOS.....	15
2.13. LA CARTOGRAFÍA DIGITAL DEL SUELO Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	15
2.14. CARTOGRAFÍA DEL SUELO	15
2.15. MAPAS DE SUELOS	16
2.16. LA MEMORIA.....	16
2.17. LA LEYENDA DESCRIPTIVA	16
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	18
3.1. UBICACIÓN	18
3.2. DATOS CLIMÁTICOS 1/.....	18
3.3. DURACIÓN DEL TRABAJO	18
3.4. METODOLOGÍA DEL TRABAJO	19
3.4.1. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	19
3.4.2. MUESTRO AGROQUÍMICO.....	19
3.4.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	20
3.4.4. DETERMINACIÓN DE pH DEL SUELO	21
3.4.5. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.....	21
3.4.6. DETERMINACIÓN DE FÓSFORO	21
3.4.7. DETERMINACIÓN DE BASES CAMBIABLES (Ca, Mg, Na, K)	22
3.4.8. DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	22
3.4.9. DETERMINACIÓN DE TEXTURA	22
3.4.10. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE	24
3.4.11. ELABORACIÓN DE LOS MAPAS	24
3.5. ÍNDICE DE FERTILIDAD DEL SUELO	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27

4.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS CONTORNOS DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO DE LA ESPAM-M.F.L.....	27
4.2. ANÁLISIS FÍSICOS DE LOS CONTORNOS	28
4.2.1. CONTORNO 1.....	28
4.2.2. CONTORNO 2.....	28
4.2.3. CONTORNO 3.....	29
4.2.4. CONTORNO 4.....	30
4.2.5. CONTORNO 5.....	30
4.2.6. CONTORNO 6.....	31
4.2.7. CONTORNO 7.....	31
4.2.8. CONTORNO 8.....	32
4.3. ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS CONTORNOS.....	33
4.3.1. REACCIÓN DEL pH EN EL SUELO.....	33
4.3.2. CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO (%)	34
4.3.3. CONTENIDO EN FÓSFORO	35
4.4. BASES CAMBIABLES (Ca, Mg, K).....	36
4.1.1. SODIO.....	37
4.5. SALINIDAD DE LOS SUELOS	38
4.6. MAPA DE FERTILIDAD	39
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	41
5.1. CONCLUSIONES	41
5.2. RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	49

CONTENIDO DE CUADROS

Cuadro 4.1. Propiedades físicas del suelo del contorno 1	28
Cuadro 4.2. Propiedades físicas del suelo del contorno 2.....	29
Cuadro 4.3. Propiedades físicas del suelo del contorno 3.....	29
Cuadro 4.4. Propiedades físicas del suelo del contorno 4.....	30
Cuadro 4.5. Propiedades físicas del suelo del contorno 5.....	31
Cuadro 4.6. Propiedades físicas del suelo del contorno 6.....	31
Cuadro 4.7. Propiedades físicas del suelo del contorno 7.....	32
Cuadro 4.8. Propiedades físicas del suelo del contorno 8.....	32

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1. Valores promedio de pH	7
Tabla 2.2. Clasificación de los niveles de calcio, magnesio y potasio	8
Tabla 2.3. Niveles de Sodio expresados en cmol/kg^{-1}	8
Tabla 2.4. Categoría de la materia orgánica (MOS)	9
Tabla 2.5. Criterios de evaluación de la salinidad del suelo	10
Tabla 2.6. Niveles de Fósforo en el suelo	11
Tabla 4.1. Resultados de bases cambiables expresados en Cmol.kg^{-1}	37
Tabla 4.2. Resultados de sodio expresados en Cmol.kg^{-1}	37
Tabla 4.3. Especie y subespecie de los contornos del suelo con sus modificadores.....	39

CONTENIDO DE FOTOS

Foto 4.1. Mapa de contorno de la ESPAM M.F.L	27
Foto 4.2. Resultados de pH en el suelo.....	34
Foto 4.3. Resultados de Materia Orgánica en el suelo (%)	35
Foto 4.4. Resultado de distribución de fósforo en el suelo	36
Foto 4.5. Mapa de salinidad del suelo	38
Foto 4.6. Mapa de fertilidad del suelo.....	40

RESUMEN

El estudio se desarrolló en CIIDEA (Centro de investigación, innovación y desarrollo agropecuario) de la ESPAM-M.F.L, cuyo objetivo fue diagnosticar la fertilidad del suelo, mediante parámetros físico, químico, en base a los resultados obtenidos en el laboratorio de la carrera de agrícola. El área experimental muestreado fue de 129 ha. Se realizó el levantamiento altimétrico a escala 1:15.000, se tomaron 40 puntos con el barreno y se encontraron ocho contornos en el área muestreada. Posteriormente, se realizó calicatas para los análisis físicos que fueron densidad aparente, textura, composición mecánica de los suelos. Se realizaron análisis químicos de pH, materia orgánica, fosforo y salinidad. Se conformaron muestras compuestas y se estableció la metodología de Hernández. En cuanto a los resultados se obtuvieron que los suelos de la ESPAM-M.F.L, son aptos para la producción agrícola, mostrando niveles de fertilidad natural adecuado para la producción agrícola pecuaria y forestal, a excepción del fósforo que presento niveles bajo.

PALABRAS CLAVES: Muestreo agroquímico, fertilidad, cartografía, perfiles.

ABSTRACT

The study was conducted in CIIDEA (Center for research, innovation and agricultural development) ESPAM-MFL, whose aim was to diagnose soil fertility, by physical, chemical, parameters based on the results obtained in the laboratory on the agricultural school. The sampled experimental area was 129 ha. The altimetry survey was conducted at 1: 15.000, 40 points were taken with the drill and eight contours hole were found in the sampled area. Later, test pits were made for physical analysis were bulk density, texture, mechanical soil composition was performed. Chemical analysis of pH, organic matter, phosphorus and salinity were made. Composite samples were formed according to the methodology established Hernandez. As the results were obtained showed that the soils of the ESPAM-M.F.L, are suitable for agricultural production, showing natural fertility levels suitable for livestock farming and forestry, with the exception of phosphorus present low levels.

KEY WORDS: Sampling agrichemical, fertility, mapping, profiling.

CAPITULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El Ecuador se caracteriza por la gran diversidad de sus recursos naturales, dentro de los cuales se destaca la presencia de suelos con un gran potencial agrícola. Sin embargo, la erosión y procesos antropogénicos ha venido afectando a los suelos agrícolas (De Noni y Trujillo, 2008).

La fertilidad del suelo es considerada de mucha importancia para el crecimiento de las plantas y es definida como el potencial que tiene un suelo para suplir los elementos nutritivos en las formas, cantidades y proporciones requeridas para lograr un buen desarrollo y rendimiento vegetal. Su evaluación con fines agrícolas, es el proceso mediante el cual se diagnostican problemas nutricionales en suelos y en base a ellos se elaboran planes de fertilización (Casanova, 2005).

El diagnóstico de la fertilidad del suelo es una herramienta básica para definir la potencialidad del suelo en usos agropecuarios y forestales, ha estado históricamente restringido al análisis químico dirigido a predecir o pronosticar la respuesta relativa de los cultivos a la fertilización (Hugo, *et al* 2004).

En la actualidad en el área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM – M.F.L, no existen estudios de diagnóstico de la fertilidad natural, del suelo lo cual no permite elaborar planes de fertilización para los diferentes cultivos que se van a implantar.

¿De qué manera influye el diagnóstico de la fertilidad del suelo en el manejo productivo del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Conocer la fertilidad natural del suelo es indispensable para emprender un programa de producción agrícola, pecuaria y forestal. Los suelos de Manabí son por naturaleza aptos para las actividades agropecuarias, sin embargo, se caracterizan por tener bajos contenidos de N y P, que son dos de los macronutrientes más demandados por los cultivos. En el valle del río Carrizal no existen actualmente estudios de suelo y más aún del diagnóstico de su fertilidad natural.

Este es el caso del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM- M.F.L, donde no se ha realizado estudios de la fertilidad del suelo, por lo cual se desconoce su potencial agrícola, pecuario y forestal, tomando en cuenta que todos los suelos no poseen las mismas características, es la razón principal por la cual la presente investigación plantea realizar un diagnóstico de la fertilidad del suelo en el área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L.

Este diagnóstico permitirá conocer las concentraciones nativas de N, P, K, Ca, Mg, y Na disponibles en el suelo y por ende definir su capacidad de uso agrícola, pecuario y forestal.

1.3. OBJETIVO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar la fertilidad del suelo del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la fertilidad del suelo en el área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L, mediante indicadores físicos y químicos.

- Sistematizar la fertilidad del suelo por medio de sistema de información geográfica (S.I.G).

1.4. HIPÓTESIS

El diagnóstico de la fertilidad del suelo en el área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L, permitirá desarrollar adecuados planes de fertilización de los cultivos.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. CONCEPTO DE SUELO

El suelo es un componente esencial del ambiente en el que se desarrolla la vida; es vulnerable, de difícil y larga recuperación (tarda desde miles a cientos de miles de años en formarse) y de extensión limitada, por lo que se considera un recurso natural no renovable (Silva y Correa, 2009).

El suelo es el fundamento de los ecosistemas terrestres, sustento no solamente de las coberturas vegetales que hacen posible la vida sobre el planeta, sino base fundamental de la producción de alimentos en el mundo (Villarreal *et al.*, 2012).

2.2. FERTILIDAD DEL SUELO

La fertilidad del suelo se define como su estado en relación a la capacidad que posee de suministrar elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, sin presentar concentraciones tóxicas de ningún elemento. Tanto las necesidades de elementos esenciales como la tolerancia a elementos tóxicos varían con el tipo de planta, por lo que el nivel de fertilidad no puede expresarse solamente en relación al suelo, sino que debe referirse también al cultivo. Es decir, suelos aparentemente infértiles para un determinado cultivo puede resultar muy productivo cuando se cultiva otro tipo de plantas (Ansorena, 2005).

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas (capacidad de brindar condiciones estructurales adecuadas para el sostén y crecimiento de los cultivos), químicas (capacidad para suministrar los nutrientes apropiados, en cantidades adecuadas y balanceadas) y biológicas (vinculado con los procesos biológicos del suelo, relacionados con sus organismos) del mismo y que consiste en la capacidad de

poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Solís, 2011).

2.3. FERTILIDAD NATURAL

Se entiende a la fertilidad propia de los suelos vírgenes a aquella en la que existe un equilibrio dinámico entre el suelo y la vegetación que soporta, suministrando agua y nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo (Romero, 2008).

2.4. FERTILIDAD ADQUIRIDA

Es un término asociado a los suelos cultivados o a los que han sufrido algún tipo de intervención antropogénica. El uso de abonos, enmiendas o labores, puede modificar el estado de la fertilidad natural del suelo (Romero, 2008).

2.5. FERTILIDAD ACTUAL

Es la que posee el suelo en un momento determinado, ya sea natural o adquirida (Romero, 2008).

2.6. FERTILIDAD POTENCIAL

Es la capacidad del suelo para mantener su fertilidad natural. En la evaluación de este tipo de fertilidad intervienen parámetros que no se utilizan de forma habitual en el establecimiento de la fertilidad natural (Romero, 2008).

2.7. FERTILIDAD QUÍMICA

Se refiere a las propiedades químicas del suelo, tanto sus componentes inorgánicos y orgánicos, así como los fenómenos a que da lugar la mezcla de esos componentes (Huerta, 2010).

2.7.1. pH DEL SUELO

El pH es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos (incluidos microorganismos y plantas). La lectura de pH se refiere a la concentración de iones hidrógeno activos (H^+) que se da en la interface líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos. La concentración de iones hidrógeno es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (Fernández y Rojas, 2006).

La acidez del suelo se debe a pérdidas de las bases en suelos de zonas lluviosas por efecto de disolución de las mismas las que se percolan y se pierden por lixiviación en proporciones considerables. Los sitios del suelo que estaban siendo ocupados por las bases, son reemplazados por el ion hidrógeno el cual al pasar a la solución del suelo produce la reducción del pH y toxicidad en las plantas (Porta y López, 2008).

Padilla (2007), el crecimiento de las plantas, en suelos ácidos como alcalinos hacen que algunos nutrientes sean altamente insolubles a valores de pH altos, mientras que otros son menos disponibles a valores de pH bajo. La disponibilidad máxima para la mayoría de nutrientes ocurre en el rango de pH de 6,5 a 7,5.

Los valores que favorecen a la mayoría de los nutrientes están disponibles para las plantas y por ende para desarrollo de los cultivos a pH de 6.5 a 7.5 (Vásquez *et al.*, 2002), ya que pH es muy importante en las propiedades del suelo porque regula las propiedades químicas del suelo, determina la disponibilidad del resto de los cationes para las plantas e influye sobre la CIC, que es menor en suelos ácidos que en los básicos (Báscones, 2005).

Tabla 2.1. Valores promedio de pH

pH, relación Suelo, agua 1:2.5	
Categoría	Valor de pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Medianamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	8.5

Fuente: (Fernández, y Rojas, 2006)

2.7.2. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

En unidades del sistema internacional, se expresa (CIC) en centimoles de carga positiva por kilogramo de suelo, cmol (+) kg^{-1} o bien cmolc kg^{-1} . Con anterioridad se venía utilizando como unidad el $\text{meq}/100\text{g}$, cuyo uso se halla todavía muy extendido. El valor numérico es el mismo con ambas unidades (Huerta, 2010).

Los cationes más importantes en los procesos de intercambio catiónico, por las cantidades de ellos que participan en dichos procesos, son Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+} (las bases del suelo) y NH_4^{+} , en suelos ácidos, a partir de ciertos valores de pH, el Al^{3+} juega un papel muy importante en el complejo de intercambio catiónico del suelo constituyendo, junto con el H^{+} , la acidez intercambiable del mismo (Jaramillo, 2002).

Los coloides del suelo, principalmente las arcillas y la materia orgánica, muestran en su superficie cargas negativas, por lo que pueden adsorberse a ellas cationes (ya sea nutrientes o contaminantes). Estos cationes pueden ser intercambiados por cantidades equivalentes de otros cationes, estas equivale a $\text{meq}/100\text{g}$ de suelo y depende de la cantidad de coloides que tiene (Siebe *et al.*, 2006).

Tabla 2.2. Clasificación de los niveles de calcio, magnesio y potasio

CLASE	Cmol.kg ⁻¹		
	Ca	Mg	K
Muy baja	< 2	< 0.5	< 0.2
Baja	02- 5	0.5 – 1.3	0.2 – 0.3
Media	5 - 10	1.3 – 3.0	0.3 – 0.6
Alta	10 >	>3.0	> 0.6

Fuente: Fernández, L y Rojas, N. 2006.

Tabla 2.3. Niveles de Sodio expresados en cmol/kg⁻¹

CLASE	Na Cmol.kg ⁻¹
Muy bajo	< 0.3
Bajo	0.3- 0.6
Normal	0.6- 1.0
Alto	1.0 > 1.5
Muy Alto	1.5

Fuente: FAO, 2012.

2.7.3. MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica es la acumulación de todos los residuos vegetales y animales, así como de las células microbiales depositadas en el suelo y que se encuentran en proceso de descomposición, siendo esto importante como fuente de la energía requerida para la actividad y el metabolismo de los microorganismos del suelo y como sustrato para el suministro de algunos nutrientes esenciales para las plantas (Blanco, 2006).

La materia orgánica del suelo (MOS) es un parámetro determinado por controles bióticos, como la abundancia producción y tipos de especies de plantas y de la producción microbial y por controles ambientales, tales como la temperatura, contenido de agua y la textura del suelo, la dinámica y preservación de la MOS es decisiva porque mejora la estructura y porosidad

del suelo su fertilidad y por ende, la producción de los cultivos (Clunes *et al*, 2014).

Actualmente la materia orgánica tiene un rol de gran importancia en la fertilidad de los suelos, otorgada por sus propiedades químicas, físicas y biológicas, lo cual la convierte en un vital aporte para el sistema edáfico (Venegas, 2008).

La aplicación de materia orgánica, independientemente tiene como principal objetivo propiciar el mejoramiento de la estructura y características químicas de los suelos, en forma significativa a la inducción de la diversidad y actividad microbiana presente en el suelo (Ferrera y Alarcón 2001).

Tabla 2.4. Categoría de la materia orgánica (MOS)

Materia orgánica (%) por el método Walkley-Black	
% M.O.	Categoría
< 0,9	Muy bajo
1,0 – 1,9	Bajo
2,0 – 2,5	Normal
2,6 – 3,5	Alto
> 3,6	Muy alto

Fuente: Rioja, M. 2007.

2.7.4. SALINIDAD DEL SUELO

La salinidad del suelo es uno de los principales factores de estrés abiótico que reduce el rendimiento de los cultivos hasta en un 50%. La salinidad del suelo tiene un efecto muy importante sobre los cultivos agrícolas. El incremento de sales dificulta la capacidad de las raíces para absorber agua, lo que conduce a un progresivo decrecimiento en el desarrollo y rendimiento. Los principales efectos de la salinidad en las plantas se deben a un desbalance osmótico, toxicidad, oxidación y finalmente muerte celular (Jaramillo *et al*, 2014).

Zúñiga *et al.*, (2011), manifiesta que la presencia de salinidad en los suelos interfiere en el crecimiento adecuado de la mayoría de los cultivos y por lo tanto constituye uno de los problemas más serios que enfrenta la agricultura. Este

problema tiene efectos negativos sobre el suelo, como la disminución de la actividad biológica, la reducción en la disponibilidad de nutrientes, lo que es limitante para el desarrollo de los cultivos.

Tabla 2.5. Criterios de evaluación de la salinidad del suelo

Criterios para evaluar la salinidad de un suelo, con base en su conductividad, relación Suelo, agua 1:2,5	
CATEGORÍA DEL SUELO	Valor (mmhos/cm o ds/m)
No salino	0 - 2.0
Poco salino	2.1 - 4.0
Moderadamente salino	4.1 - 8.0
Muy salino	8.1 - 16.0
Extremadamente salino	> 16.0

Fuente: Fernández, L y Rojas, N. 2006

2.7.5. FÓSFORO

El contenido y el comportamiento del fósforo (P) en los suelos para uso agrícola, está determinado inicialmente por las propiedades originales del material parental, el tipo de arcilla dominante, por la fracción orgánica, así como por otras propiedades y procesos de naturaleza biológica y química. Así mismo, el manejo agronómico al que ha sido sometido el suelo, puede provocar variaciones importantes del P que modifican igualmente su dinámica en el suelo (Henríquez, 2015).

El fósforo es el segundo elemento (después del nitrógeno) más importante para el crecimiento de las plantas la producción de los cultivos y su calidad, en el suelo, existen varias formas químicas de fósforo, incluyendo el inorgánico (Pi) y el orgánico (Po). Estos componentes tienen múltiples fuentes de origen natural los cuales difieren ampliamente en su comportamiento y destino tanto en suelos naturales como cultivados (Lozano *et al.*, 2012).

Tabla 2.6. Niveles de Fosforo en el suelo

Fosforo en suelo por el método de Bray II	
RANGOS	ppm P
Bajo	< 15
Medio	15 – 50
Alto	> 50

Fuente: Sheifa J. McKeon, 1993

2.8. FERTILIDAD FÍSICA

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes (Rucks *et al.*, 2004).

2.8.1. LA TEXTURA DEL SUELO

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las clases de tamaño de partícula (o separaciones de suelo, o fracciones) en un volumen de suelo dado y se describe como una clase textural de suelo. La textura es muy importante para la agricultura, ya que condiciona el comportamiento del suelo en cuanto a drenaje, aireación, capacidad de retención de agua y facilidad de laboreo (FAO, 2009).

2.8.2. POROSIDAD DEL SUELO

La porosidad del suelo se mide por la relación entre el volumen que ocupan los poros y el volumen total, expresado en porcentaje, en general, los poros incluyen las grietas que se desarrollan con la sequedad, los espacios entre

partículas y agregados, los huecos que dejan las raíces y animales (De La Rosa, 2008).

2.8.3. ESTRUCTURA DEL SUELO

Calvache (2009), estableció que la forma en la cual las partículas primarias que conforman el suelo (arena, limo y arcilla) se asocian entre sí, formando agregados o terrones (minerales, materia orgánica y poros) creando así la estructura del suelo. Las estructuras granular, prismática y de bloques son las más favorables para las plantas. Al realizar labores agrícolas en exceso: araduras, rastreos, y en condiciones húmedas, disminución de la materia orgánica, impacto de la gota de lluvia, compactación por maquinaria y pastoreo; la estructura se deteriora rápidamente. Se reduce la aireación, se dificulta la infiltración y percolación del agua en el suelo.

2.8.4. DENSIDAD APARENTE

Enciso *et al.*, (2007), la densidad aparente es el peso del suelo seco por unidad de volumen de suelo. Esta propiedad está relacionada con la porosidad (espacio poroso) y la compactación; y se utiliza para calcular el contenido volumétrico de agua del contenido gravimétrico de agua. Generalmente este parámetro se expresa en gramos por centímetro cúbico de suelo, de acuerdo a:

$$da = \frac{Pa}{Va} \quad (2.1)$$

$$Densidad\ aparente = \frac{\text{peso de suelo seco}}{\text{volumen de suelo}}$$

Jordán (2005), manifiesta que la densidad aparente oscila entre 1 g/cc (suelos bien estructurados) y 1,8 g/cc (suelos compactados), los suelos que están por debajo o encima de estos valores están fuera del rango establecido.

Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para alongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios. En estas condiciones, el desarrollo y crecimiento de las plantas es impedido o retardado consistentemente (Rubio, 2010).

2.9. DIAGNÓSTICO DE SUELOS

El diagnóstico de suelos es una serie de técnicas y procedimientos que permite determinar sus características físicas y químicas para el desarrollo de los cultivos. En condiciones ecológicas tropicales, los suelos mantienen un ritmo cíclico en sus procesos que no se detiene, como suele ocurrir en otras regiones de latitudes intermedias, como las regiones templadas, donde la actividad biológica se reduce al mínimo por las bajas temperaturas. Esta actividad físico-química y biológica de los suelos está regulada fundamentalmente por la humedad y la temperatura; ya que esta última es alta y constante durante todo el año en latitudes tropicales (López *et al.*, 2005).

2.10. SECTORES DE REFERENCIA

Para establecer las medidas necesarias, y establecer o recuperar la fertilidad del suelo bajo un sistema de explotación agrícola o pecuaria hay que recurrir a la tecnología de los sectores de referencia. Y estos sectores se seleccionan a partir de una “pequeña región natural”, que en cierta forma coincide con las regiones geográficas de los suelos, que se establecen sobre la base de su génesis, en los trabajos de regionalización geográfica de los suelos (Hernández *et al.*, 2009).

Con la información recopilada por los sondeos con barrena o puntos de mapeo, se van delimitando las diferentes variaciones de los suelos, con el mapa de suelos confeccionado, se toman los perfiles de suelos y sus muestras correspondientes paralelamente se hace lo que se denomina muestreo agroquímico, que no es más que un muestreo de la capa superficial del terreno (0- 20 cm) de toda el área que se estudia (Hernández *et al.*, 2009).

Este trabajo también se va realizando paulatinamente, dividiendo el terreno (con el plano topográfico) en parcelas elementales que se muestrean. Todas las muestras son llevadas a un laboratorio para los análisis correspondientes (López, 2006).

Los sectores de referencia es una tecnología que combina el estudio de las características y evolución de las propiedades de los suelos y su manejo sobre la base de técnicas de avanzada como es la implementación de los Sistemas de Información Geográfica (Hernández *et al.*, 2006).

2.11. LEVANTAMIENTO DE SUELO

El levantamiento de suelos o más propiamente, inventario del recurso suelo, es el proceso de determinar el patrón de la cobertura suelo, caracterizándolo y presentándolo de forma entendible e interpretable para los varios usuarios. El propósito práctico del levantamiento de suelos es hacer predicciones más numerosas, más precisas y más útiles para propósitos específicos (Peña, 2011).

Peña (2011), los objetivos básicos y aplicados del levantamiento de los suelos son:

✓ Acumulación de conocimiento sobre el recurso suelo y al desarrollo de la ciencia del suelo.

✓ Establecer la mejor utilización del recurso suelo en función del desarrollo agropecuario, forestal y otros fines. Estos se puede lograr sin la realización de un levantamiento de suelo formal. Por ejemplo se puede elaborar un mapa de aptitud de las tierras para determinado cultivo basado en aquellas características de los suelos y otros factores que sean relevantes para este cultivo en particular.

2.12. TIPOS DE MAPAS DE SUELOS

Muchos de los levantamientos producen mapas que muestran la distribución geográfica de clases de suelos o sus propiedades. Estos mapas son de diferentes tipos, el mapa tipo “clase polígono-área” (area-classpolygon) es el más común en levantamiento de suelos, pero los otros tipos pueden ser mejores opciones en ciertos casos (Vargas, 2006).

2.13. LA CARTOGRAFÍA DIGITAL DEL SUELO Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Zhu (2001), indica que en la generación de geo-información de suelos según el método convencional, el área de un polígono es asignada con los valores de la propiedad del tipo de suelo identificado y descrito sin importar que éste se refiera a un solo perfil modal para todo el polígono.

2.14. CARTOGRAFÍA DEL SUELO

La Cartografía de suelos persigue el propósito de proporcionar una idea precisa de la repartición geográfica de los suelos en una región determinada. El objetivo puede estar dirigido a mostrar la utilización actual, las aptitudes para un uso determinado, las mejoras necesarias para un mejor manejo, la planificación agrícola o urbana, etc. La Cartografía proporciona como producto el informe de suelos el que consiste de tres elementos: el mapa de suelos, la memoria y la leyenda (Guerasimov y Glazovskaya, 1965).

La cartografía de suelos en lo esencial permite poner en evidencia unidades de suelos cuya homogeneidad está determinada por un conjunto de factores generales ligados al clima, a los materiales originales, a la fisiografía, a la vegetación, a la edad de los paisajes y a las acciones humanas. (Guerasimov y Glazovskaya, 1965).

Los mapas de suelos muestran un conjunto de propiedades interrelacionadas que caracterizan al suelo como un cuerpo natural. Esto excluye a los mapas que muestran la distribución de una sola propiedad tal como la textura, pendiente o profundidad, solas o en una combinación limitada; mapas que muestran cualidades de los suelos como la productividad o credibilidad; y mapas de los factores de formación de los suelos (Fadda, 2010).

2.15. MAPAS DE SUELOS

El mapa de suelos es una carta que muestra delimitadas, definidas y nombradas áreas ocupadas por diferentes clases de suelos. (Guillermo, 2010).

2.16. LA MEMORIA

La memoria o informe de suelos provee un registro permanente de lo aprendido acerca de los suelos del área estudiada. En adición al mapa que muestra la distribución de las diferentes clases de suelos, la memoria describe los suelos y resume las investigaciones realizadas en relación a los efectos del suelo sobre los cultivos y prácticas ingenieriles (Guillermo, 2010).

2.17. LA LEYENDA DESCRIPTIVA

Guillermo (2010), una vez que los suelos han sido examinados, identificados y descriptos, se prepara la leyenda descriptiva para el levantamiento. La leyenda descriptiva es el documento básico de un estudio de suelos y se compone de cuatro partes:

1. Descripción y clasificación de los suelos.
2. Leyenda identificadora.
3. Símbolos especiales y convencionales.
4. Mapa general de los suelos y su leyenda.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se desarrolló en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, ubicada en el sitio Limón, del Cantón Bolívar, de la provincia de Manabí, situada geográficamente entre las coordenadas 0° 49'27.9" latitud sur; 80°10'47.2" longitud Oeste y una altitud de 15 msnm.

3.2. DATOS CLIMÁTICOS 1/.

Precipitación media anual	838,7 mm
Temperatura media anual	26°C
Humedad relativa anual	80,9%
Heliofania anual	1325,4 horas sol
Evaporación	1739,5 mm

3.3. DURACIÓN DEL TRABAJO

La presente investigación se desarrolló desde noviembre del 2014 a agosto del 2015, con una duración de nueve meses.

1/. Estación Meteorológica ESPAM MFL. 2014

3.4. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

3.4.1. LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

FASE 1

Para la fase de pre campo se realizó el levantamiento altimétrico del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM - M.F.L por medio del modelo digital de elevación a escala 1:15.000 realizado en el año 2014 (anexo2). A partir de esta información se trazaron marcharrutas transversas guiada por las curvas de nivel.

FASE 2

Para la fase de campo, la descripción de estos puntos fueron registrados en planillas conformadas previamente, siguiendo el modelo del Manual para la Cartografía Detallada y Evaluación Integral de los Suelos (Hernández *et al.*,1995), utilizando la Tabla de colores Munsell en la descripción de los perfiles de suelos (Munsell Soil Color Chart, 2000).

Añadiendo además otras propiedades como la textura y el drenaje. Se realizó las calicatas en el área de estudio, la cual fue de 1.0 m de ancho por 2.0 m de largo y 1.50 m de profundidad. Se las realizó en posición perpendicular a la salida del sol para tener una precisión de los colores, y luego se tomaron muestras de suelo de cada horizonte para sus respectivos análisis.

3.4.2. MUESTRO AGROQUÍMICO

El muestreo agroquímico constó de la colecta de muestras de suelos de cada contorno. Se realizó tomando muestras compuestas del centro de la parcela (eje central) o por las diagonales, a una profundidad de 0 – 20 cm, integradas por 20 muestras parciales. Esto se realizó con una pala (Hernández *et al.*, 1995).

3.4.3. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Una vez terminada la toma de muestras, estas fueron llevadas al Laboratorio de Suelo de la Carrera Agrícola de la ESPAM - MFL, debidamente identificadas y embaladas. En los análisis se determinaron los siguientes parámetros:

- pH
- Materia Orgánica
- Fósforo disponible
- Bases cambiables
- Conductividad Eléctrica

Los métodos analíticos fueron:

- Determinación del pH por el método del potenciómetro relación 1:2,5.
- Determinación de materia orgánica por el método de walkley - Black
- Determinación de fósforo por el método de Bray II.
- Determinación de bases cambiables por el método de acetato de amonio.
- Determinación de sales solubles totales por el método del conductímetro.

Los parámetros físicos evaluados fueron:

- Composición mecánica de los suelos.
- Textura de los suelos.
- Densidad aparente del suelo.

Los métodos analíticos físicos fueron:

- Composición mecánica, método de la pipeta, densímetros de sedimentación continúa.
- Textura, triangulo textural.

- Determinación de la densidad del suelo o densidad de volumen, por el método de los cilindros.

Los análisis se realizaron siguiendo la metodología estandarizada por el Laboratorio de Suelo de la Carrera de Agrícola de la ESPAM - MFL.

3.4.4. DETERMINACIÓN DE pH DEL SUELO

Previamente se preparó, la tierra fina seca al aire (TFSA) luego se pesó en la balanza analítica 10 g de suelo, inmediatamente se colocó en un vaso de precipitación de 250 mL seguidamente se le agregó 25 mL de agua destilada. Posteriormente se procedió a colocar la muestra en un agitador durante 15 min. Se dejó reposar entre 20 y 30 min. Pasado los 30min de reposo se antepuso a filtrar la muestra sobre un embudo equipado de su filtro hasta recuperar el máximo de solución, en la cual se determinó con el potenciómetro.

3.4.5. DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Primeramente se pesó 0.5 g de (TFSA), en un matraz Erlenmeyer de 250 mL debidamente limpio y seco, se añadió con una pipeta exactamente 5 mL de dicromato de potasio al 1N (que es normalidad), procediendo con la guía se agregó lentamente 10 mL de ácido sulfúrico concentrado con una pipeta, se dejó reposar durante 30 minutos.

Luego se agregó agua destilada hasta completar 100 mL, en el recipiente donde estaba la muestra, se adiciono de 3 a 4 gotas de ortofenantrolina rápidamente se tituló con sulfato de hierro (II) al 0.5 N hasta el cambio de coloración (concho vino), que persistió por 30 segundos y se leyó el consumo.

3.4.6. DETERMINACIÓN DE FÓSFORO

Se pesó 5 g de suelo, adicionalmente se le agregó al suelo 20 mL de solución extractora BRAY II (Fluoruro de Amonio al 0.03N en Ácido Clorhídrico

0.1N.), luego se procedió a filtrar para llevar a un volumen de 250 mL con agua destilada pipeteando 5 mL de la muestra en un tubo de ensayo, para luego añadir 5 gotas de reactivo H_2PO_4^- y mezclar, aumentando 1 micro cucharada de azul rasa de reactivo $\text{HPO}_4^{=}$ y agitar, para luego dejar en reposo por 5 minutos, una vez cumplido el tiempo se procedió a tomar la lectura.

3.4.7. DETERMINACIÓN DE BASES CAMBIABLES (Ca, Mg, Na, K)

Se pesó 5 g de tierra fina seca al aire (TFSA) previamente tamizados, seguidamente se la colocó en un matraz y se le agregó 25 mL de Acetato de Amonio 1N, dejando en reposo por 24 horas, después de este período se realizó el primer filtrado (Dejando que filtre todo el contenido), luego al residuo de tierra se le agrego 25 mL de agua destilada volteando para proceder a filtrar, con el total de filtrado se realizó las determinaciones de los elementos respectivos utilizando el Nova 60.

3.4.8. DETERMINACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Se partió de una muestra de suelo (TFSA), se precedió a pesar en la balanza analítica 10 g de suelo, directamente en un vaso de precipitación de 250 mL, se agregó 50 mL de agua destilada procediendo a colocar sobre el agitador por 15 minutos, se dejó reposar entre 20 y 30 minutos para luego tirar la muestra sobre un embudo equipado de su filtro, hasta recuperar el máximo de solución, se colocó el electrodo del conductímetro de la muestra.

3.4.9. DETERMINACIÓN DE TEXTURA

Se pesó 50 g de (TFSA) en la balanza analítica y se colocó en un matraz Erlenmeyer tomando la precaución, luego se le agregó 20 mL de Hidróxido de sodio al 10 % cantidad necesaria para humedecer en su totalidad la muestra de suelo. La muestra se la dejó en reposo por espacio de 24 horas.

El hidróxido de sodio al 10 % agregado a la muestra, sirvió para dispersar las partículas del suelo.

Una vez que se licuó la muestra, se la pasó a una probeta graduada de 1000 mL, tomando la precaución de no dejar partículas de suelo en el vaso de la licuadora, enrasando con agua destilada dicha probeta a 1000 mL.

Posteriormente enrasada la probeta, la tapamos con un plástico y la amarramos con ligas para agitarla hasta que no queden partículas de suelo asentadas en el fondo de la probeta, colocando la probeta en un lugar accesible, se destapo y se dejó transcurrir 40 segundos para tomar la primera pipeteada de 25 cc y se colocaron en una cápsula de porcelana previamente pesada para someter a estufa a 105 C de temperatura. Aquí se tomó la precaución de enjuagar la pipeta con agua destilada para sacar las partículas que se quedan en ella y de igual modo se recogen en la cápsula misma.

Los 40 segundos que se dejan transcurrir es el tiempo que se considera para que se asiente en el fondo de la probeta la partícula de suelo más pesada, o sea la arena, quedando arriba la arcilla y el limo que son las partículas que tomamos en la primera pipeteada.

En el momento que se coloca la probeta en el lugar accesible se debe tomar la precaución de no moverla por ningún motivo, ya que de lo contrario se aceleraría la caída de las partículas de suelo. Otra precaución debe tomarse al momento de pipetear, pues debe ser lentamente, la probeta debe permanecer en reposo por espacio de 4 horas.

Transcurridas las 4 horas exactamente se tomó la segunda pipeteada de 25 cc tiempo que se considera que se han asentado en el fondo de la probeta las partículas de limo, que son las que más pesan después de la arena, quedando entonces la arcilla que es la partícula que recogemos en esta segunda pipeteada e igualmente colocada en una cápsula de porcelana, previamente

pesada, para someterla a estufa, para que se evapore la humedad de la muestra.

Al tomar las muestras con la pipeta se debe tomar la precaución de hacerlo en todo el centro de la probeta e introduciendo su punta unos 10 cm dentro de la suspensión. Todas las muestras se sometieron a estufa hasta obtener una pesada constante, las muestras previamente a ser pesadas son colocadas en el desecador.

3.4.10. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE

Para determinar la densidad aparente se lo realizó por el método del cilindro de la siguiente manera:

- ✓ En el laboratorio, se colocó el cilindro con la muestra a estufa a 105°C de temperatura, en un tiempo de 24 horas.
- ✓ Una vez cumplido el tiempo programado se sacó el cilindro de la estufa y se coloca en un desecador para luego pesar la muestra que está dentro del cilindro.
- ✓ Luego se procedió a pesar la muestra en una balanza analítica.

3.4.11. ELABORACIÓN DE LOS MAPAS

FASE 3

Una vez obtenidos los resultados se procedió a la elaboración de los cartogramas de suelos. Haciendo uso del sistema de información geográfica (SIG), el cual se confeccionaron los mapas de suelos que fueron: mapa de materia orgánica, pH, fósforo, salinidad.

3.5. ÍNDICE DE FERTILIDAD DEL SUELO

Para este trabajo se siguió la metodología de Sánchez et al. (1982), el cual sirve como mapa sintético para determinar la fertilidad del suelo, contorno por contorno de suelo y en base a este índice sugerir alternativas de manejo.

Esta metodología toma en cuenta una primera unidad que se denomina especie de suelo, sobre la base de la textura del espesor superior del suelo y otra unidad que se denomina subespecie, cuando hay cambios de la textura por el perfil, principalmente en los primeros 50 cm del espesor del suelo. Para este trabajo se estableció la especie y subespecie de suelos con modificadores en la forma siguiente:

Especie: Según la textura del horizonte superior del suelo.

A: Para las texturas arenosas, areno francosa y franco arenoso.

F: Para la textura franca, franco limoso y franco arcilloso.

C: Para la textura arcillosa.

O: Para los suelos orgánicos.

Subespecie: Cuando hay cambio textural en los primeros 50 cm del perfil.

A: Cuando hay capas subyacentes arenosas.

F: Cuando hay capas subyacentes franca, franco limoso y franco arcilloso.

C: Cuando hay capa subyacente arcillosa.

R: Cuando hay roca dura a una profundidad menor de 50 cm

Modificadores:

Por el contenido en materia orgánica (%)

h₁: Muy bajo (< 0,9)

h₂: Bajo (1,0 – 1,9)

h₃: Normal (2,0 – 2,5)

h₄: Alto (2,6– 3,5)

h₅: Muy alto (> 3,6)

Por el contenido en fósforo disponible (Bray II)

P₁: Bajo (< 15)

P₂: Medio (15 – 50)

P₃: Alto (>50)

Por el contenido de salinidad del suelo (mmhos/cm)

S₁: No salino (0 – 2.0)

S₂: poco salino (2.1 – 4.0)

S₃: Moderadamente salino (4.1- 8.0)

S₄: Muy salino (8.1 – 16.0)

S₅: Extremadamente salino (>16.0)

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS CONTORNOS DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO DE LA ESPAM-M.F.L

El área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L comprendió una superficie de 129 ha, las cuales considerando dos factores de formación de suelo, que son la topografía y la vegetación se tomaron 40 punto con el barreno siguiendo este criterio se estableció el número de calicata, donde habitualmente está rodeada de vegetación natural árboles y pastizales, en la cual se encontraron ocho contornos representativos. El mapa de contornos muestra que el contorno uno y dos pertenecen a la parte alta a diferencia de los demás que se encuentran en la parte baja (foto 4.1).

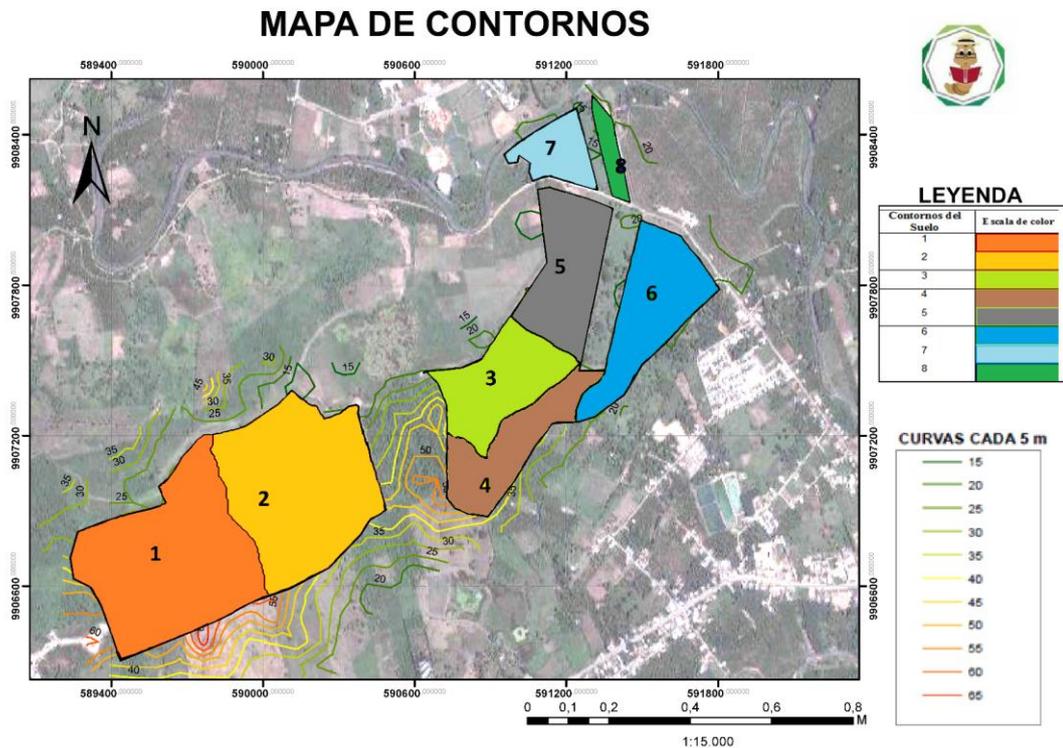


Foto 4.1. Mapa de contorno de la ESPAM - M.F.L

4.2. ANÁLISIS FÍSICOS DE LOS CONTORNOS

Para el respectivo análisis de los contornos que se detallan en esta sección se tomó en cuenta las planillas de descripción de los mismos que se pueden evidenciar en los anexos del 3 al 11 del documento.

Los análisis físicos realizados a los contornos presentan datos referentes a la zona de estudio que se indican a continuación:

4.2.1. CONTORNO 1

En el cuadro 4.1 se muestran los resultados de la composición mecánica el tipo suelo y de la clase textural del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L a una profundidad de 0-1.0 cm que presenta una textura franco arcillosa con un porcentaje de (arena 28.00%, arcilla 37,60% y limo 34.40%).y de 1.0 – 1.50 cm presenta una textura franco limosa en el horizonte B con un promedio de (arena 28.00%, arcilla 15,20% y limo 56.80%),dando como resultado una densidad aparente de 1,25 a 1,19 gr/cm³ respectivamente.

Cuadro 4.1. Propiedades físicas del suelo contorno 1

Nº	Horizonte	Profundidad Cm	Composición Mecánica			Clase Textural	Da gr/cm ³
			ARENA	ARCILLA	LIMO		
1	A	0 – 1.0	28,00%	37,60%	34,40%	Franco arcillosa	1,25
2	B	1.0 – 1.5	28,00%	15,20%	56,80%	Franco limosa	1,19

4.2.2. CONTORNO 2

Como se puede considerar en el cuadro 4.2 el suelo de este contorno presentó tres horizontes bien definidos. De acuerdo a la clasificación de la composición mecánica, el tipo de horizonte que predominó es de tipo franco arcillosa, habiendo un cambio en la profundidad del perfil en los primeros 50 cm.

En cuanto a la densidad aparente (DA) se reportó un valor de 1,24 a 1,2 gr/cm³ en el horizonte A y E, respectivamente.

Cuadro 4.2. Propiedades físicas del suelo del contorno 2

Nº	Horizonte	Profundidad Cm	Composición Mecánica			Clase Textural	Da gr/cm ³
			ARENA	ARCILLA	LIMO		
1	A	0 – 50	24,80%	39,20%	36,00%	Franco arcillosa	1,24
2	B	50 – 80	28,00%	28,80%	43,20%	Franco arcillosa	1,21
3	E	80- 1.50	51,20%	22,40%	26,40%	Franco areno arcillosa	1,2

4.2.3. CONTORNO 3

En el cuadro 4.3 se presentan los resultados de la composición mecánica, el tipo suelo y de la clase textural del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L a una profundidad de 0-30 cm que presenta una textura franco arenosa con un porcentaje de (arena 53.60%, arcilla13,60% y limo 32.80%) y de 75 – 1.50 cm presenta una textura arena franca (arena 85.20%, arcilla1,60% y limo 13.20%), dando una densidad aparente de 1,19 a 1 gr/cm³ en el horizonte A1 y B, respectivamente.

Cuadro 4.3. Propiedades físicas del suelo del contorno 3

Nº	Horizonte	Profundidad Cm	Composición Mecánica			Clase Textural	Da gr/cm ³
			ARENA	ARCILLA	LIMO		
1	A1	0 – 30	53,60%	13,60%	32,80%	Franco arenosa	1,19
2	A2	30 - 60	61,60%	11,20%	27,20%	Franco areno arcillosa	1,18
3	B	60 - 75	65,60%	3,20%	31,20%	Franco arenosa	1
4	E	75 - 1.50	85,20%	1,60%	13,20%	Arena franca	1,16

4.2.4. CONTORNO 4

Como se puede observar en el cuadro 4.4 se presentan los resultados de la composición mecánica del suelo, y la clase textural de dicho contorno del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L a una profundidad de 0-30 cm del horizonte que presenta una textura franco arenosa y de 1.10 – 1.50 cm presenta una textura arenosa con un porcentaje de (arena 95.20%, arcilla 0,0% y limo 4.80%), dando como resultado una densidad aparente de 1,23 a 1 gr/cm³ en el horizonte IA y IIA, correspondientemente.

Cuadro 4.4. Propiedades físicas del suelo del contorno 4

Nº	Horizonte	Profundidad Cm	Composición Mecánica			Clase Textural	Da gr/cm ³
			ARENA	ARCILLA	LIMO		
1	IA	0 – 30	72,80%	6,40%	20,80%	Franco arenosa	1,23
2	IE	30 - 40	99,20%	0,80%	0,00%	Arenosa	1,15
3	IIA	40 - 75	80,80%	2,40%	17,60%	Arena franca	1
4	IIB	75- 1.10	56,80%	10,40%	32,80%	Franco arenosa	1,17
5	IIE	1.10 – 1.50	95,20%	0,00%	4,80%	Arenosa	1,13

4.2.5. CONTORNO 5

En el cuadro 4.5 se exhiben los resultados de la composición mecánica, el tipo suelo y de la clase textural del contorno cinco a una profundidad de 0-60 cm que presenta una textura franco areno arcilloso con un promedio de (arena 60.80%, arcilla 32,20% y limo 6.40%), y de 85 – 1.50 cm presenta una textura franco arenosa de (arena 65.60%, arcilla 10,40% y limo 24.00%) habiendo cambio en la profundidad del perfil, con un valor de densidad de 1,07 a 1,1 gr/cm³ en el horizonte E1 y A1, respectivamente.

Cuadro 4.5. Propiedades físicas del suelo del contorno 5

N°	Horizonte	Profundidad Cm	Composición Mecánica			Clase Textural	Da gr/cm ³
			ARENA	ARCILLA	LIMO		
1	A1	0 – 60	60,80%	32,80%	6,40%	Franco areno arcilloso	1,1
2	A2	60 – 75	40,00%	33,60%	26,40%	franca	1,04
3	E1	75 – 85	68,80%	12,40%	19,20%	Franco arenosa	1,07
4	E2	85 – 1.5	65,60%	10,40%	24,00%	Franco arenosa	1,06

4.2.6. CONTORNO 6

En el cuadro 4.6 se presentan los resultados de la composición mecánica el tipo suelo y de la clase textural del contorno seis a una profundidad de 0-30 cm, que presenta una textura franco arenosa con un promedio de (arena 40.00%, arcilla 27,20% y limo 11.20%), y de 80 – 1.50 cm presenta una textura similar con un promedio de (arena 70.40%, arcilla 10,00% y limo 19.60%), presentando cinco horizontes definidos del perfil, con un valor de densidad de 1,06 a 0,94 gr/cm³ en el horizonte B1 y B1, respectivamente.

Cuadro 4.6. Propiedades físicas del suelo del contorno 6

N°	Horizonte	Profundidad Cm	Composición Mecánica			Clase Textural	Da gr/cm ³
			ARENA	ARCILLA	LIMO		
1	A1	0 – 30	40,00%	27,20%	11,20%	Franco arenosa	1,03
2	A2	30 - 40	33,60%	22,40%	44,00%	Franca	1,05
3	B1	40 - 60	33,60%	29,60%	36,80%	Franco arcillosa	1,06
4	B2	60 - 80	54,40%	20,80%	24,80%	Franco areno arcilloso	0,94
5	E	80 – 1.50	70,40%	10,00%	19,60%	Franco arenosa	1,03

4.2.7. CONTORNO 7

En el cuadro 4.7 se puede observar los resultados de la composición mecánica del suelo, y la clase textural del área de investigación, innovación y desarrollo

de la ESPAM-M.F.L a una profundidad de 0-33 cm del horizonte A, que presenta una textura franco arcillosa con un porcentaje de (arena 40.80%, arcilla 28,0% y limo 31.20%), y de 55 – 1.50 cm presenta una textura arenosa en el horizonte E, con un porcentaje de (arena 82.00%, arcilla 16,0% y limo 16.40%), dando un resultado de densidad aparente de 1,14 a 0,99 gr/cm³ entre la mayor y menor.

Cuadro 4.7. Propiedades físicas del suelo del contorno 7

Nº	Horizonte	Profundidad Cm	Composición Mecánica			Clase Textural	Da gr/cm ³
			ARENA	ARCILLA	LIMO		
1	A	0 – 33	40,80%	28,00%	31,20%	Franco arcillosa	1,14
2	B	33 - 55	66,40%	12,00%	21,60%	Franco arenosa	1,12
3	E	55 - 1.50	82,00%	16,00%	16,40%	arenosa	0,99

4.2.8. CONTORNO 8

Se puede apreciar en el cuadro 4.8 el suelo de este contorno presentó 4 horizontes definidos. De acuerdo a la composición mecánica del suelo, el tipo de horizonte que predominó fue de tipo franco, habiendo un cambio en el perfil en los primeros 20 cm, dando como resultado una densidad aparente de 1,26 a 1,00 gr/cm³ en el horizonte A1 y B respectivamente.

Cuadro 4.8. Propiedades físicas del suelo del contorno 8

Nº	Horizonte	Profundidad Cm	Composición Mecánica			Clase Textural	DA gr/cm ³
			ARENA	ARCILLA	LIMO		
1	A1	0 – 20	37,60%	24,80%	37,60%	Franco	1,26
2	A2	20 - 50	43,20%	28,80%	28,00%	Franco arcillosa	1,02
3	B	50 - 95	48,40%	18,00%	33,60%	Franco	1
4	A	95-1.50	68,80%	8,80%	22,40%	Franco arenosa	1,08

En el área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L, el valor máximo que se encontró de densidad aparente fue de 1,26 gr/cc, correspondiente al contorno 8 en relación al valor mínimo que fue 0,94 gr/cc

correspondiente al contorno 6, los valores encontrados en la presente investigación se encuentran por debajo del valor crítico (1,8 gr/cc) ya que los valores promedios oscilan entre 0,94 a 1,26 gr/cc, según lo manifestado por Jordán 2005.

Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para alongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios. En estas condiciones, el desarrollo y crecimiento de las plantas es impedido o retardado consistentemente (Rubio, 2010).

4.3. ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS CONTORNOS

Los valores de los análisis químicos realizados en el laboratorio de las áreas estudiadas, se indican a continuación:

4.3.1. REACCIÓN DEL pH EN EL SUELO

En cuanto a los resultados de pH, se puede observar en la foto 4.2 que los diferentes contornos muestreados del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM- M.F.L de 0-20 cm se obtuvo un rango de pH neutro (6,6– 7), valores que favorecen a que la mayoría de los nutrientes estén disponibles para las plantas y por ende para desarrollo de los cultivos a pH de 6.5 a 7.5 (Vásquez *et al*, 2002), ya que pH es muy importante en las propiedades del suelo porque regula las propiedades químicas del suelo, determina la disponibilidad del resto de los cationes para las plantas e influye sobre la CIC, que es menor en suelos ácidos que en los básicos (Báscones, 2005).

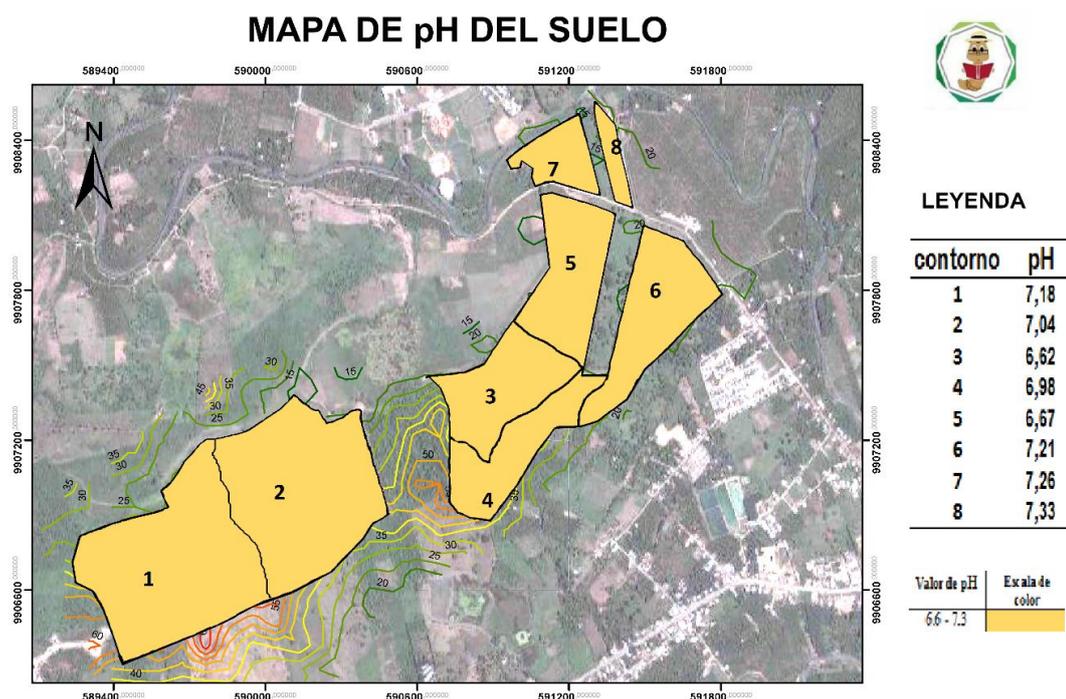


Foto 4.2. Resultados de pH en el suelo

4.3.2. CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO (%)

En la foto 4.3, se observa que el contenido de materia orgánica se encuentra en niveles bajos, entre el rango de 1,0 – 1,9 % a excepción del contorno 1 que presento un promedio de 2,72 % de MO que se encuentra en un porcentaje alto. Actualmente la materia orgánica tiene un rol de gran importancia en la fertilidad de los suelos, otorgada por sus propiedades químicas, físicas y biológicas, lo cual la convierte en un vital aporte para el sistema edáfico (Venegas, 2008).

La aplicación de materia orgánica, independientemente tiene como principal objetivo propiciar el mejoramiento de la estructura y características químicas de los suelos, en forma significativa a la inducción de la diversidad y actividad microbiana presente en el suelo (Ferrera y Alarcón 2001).

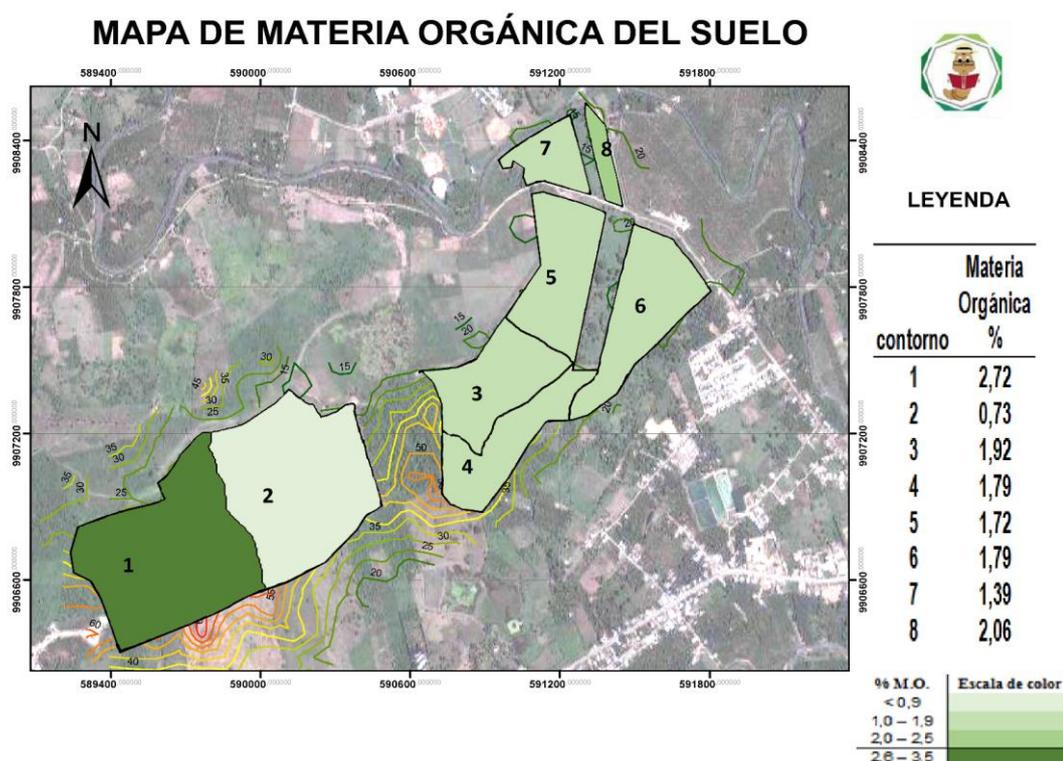


Foto 4.3. Resultados de Materia Orgánica en el suelo (%)

4.3.3. CONTENIDO EN FÓSFORO

Por el mapa de distribución de fósforo en el suelo en la foto 4.4 se aprecia que los suelos del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L, presentaron un contenido bajo en fósforo en los diferentes contornos, ya que el fósforo es el segundo elemento (después del nitrógeno) más importante para el crecimiento de las plantas la producción de los cultivos y su calidad, en el suelo, existen varias formas químicas de fósforo, incluyendo el inorgánico (Pi) y el orgánico (Po). Estos componentes tienen múltiples fuentes de origen natural los cuales difieren ampliamente en su comportamiento y destino tanto en suelos naturales como cultivados. (Lozano *et al.*, 2012).

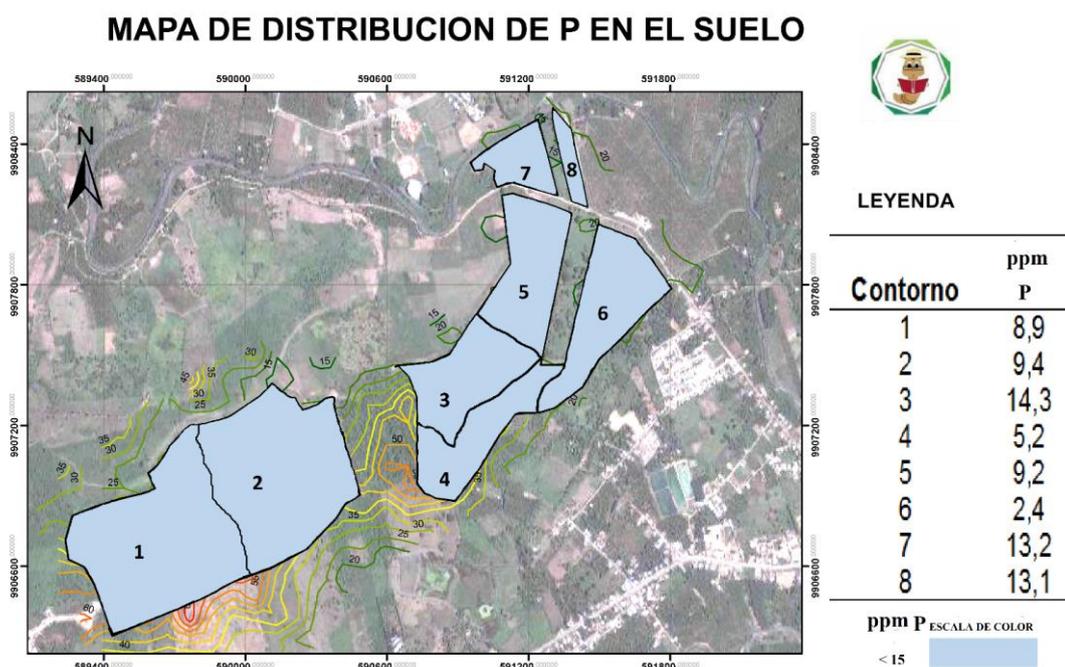


Foto 4.4. Resultado de distribución de fósforo en el suelo

4.4. BASES CAMBIABLES (Ca, Mg, K)

Los resultados de calcio para los contornos del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM- M.F.L variaron desde una concentración baja de $0,2 - 5 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ a un nivel medio entre $5 - 10 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ en los contornos estudiados en relación a la tabla de interpretación (tabla 2.2). En cuanto a los resultados de magnesio obtenido presentaron un rango de $< a 0,5 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ muy bajo y de $0,5 a 1,3 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ que se encuentra en un nivel bajo y de $1,3 a 3,0 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ en un nivel medio a diferencia de contorno 6 que presento un valor alto de $3,4 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ de Mg. El valor de potasio para los contornos del suelo presento un nivel de $0,2$ y $0,3 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ en un nivel bajo y de $0,3 a 0,6 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ en un nivel medio cuyo valor está dentro del intervalo óptimo.

Los valores son bajo en lugares donde los suelos son arenosos y tienen contenido bajo de materia orgánica. Los suelos arenosos con baja CIC, retiene cantidades más pequeñas de cationes, además tienen menos partículas de

humus y arcillas que son las responsables de incrementar la capacidad de intercambio catiónico (Cacuango, 2013).

Tabla: 4.1. Resultados de bases cambiables expresados en Cmol.kg^{-1}

Contorno	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	k ⁺
1	6,6	1,7	0,2
2	4,4	1,0	0,2
3	6,05	1,06	0,6
4	1,95	0,38	0,2
5	5,0	1,94	0,3
6	8,0	3,4	0,2
7	2,7	0,4	0,5
8	6,6	1,05	0,2

4.1.1. SODIO

Los resultados que se obtuvieron de sodio para los contornos del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM- M.F.L variaron desde una concentración baja de $0,3 - 0,6 \text{ Cmol.kg}^{-1}$ a un nivel normal entre $0,6 - 1, \text{ Cmol.kg}^{-1}$ en los contornos estudiados en relación a la tabla de interpretación según la FAO (tabla 2.3) ya que estos valores están dentro del rango permisible y no son suelos sódicos a diferencia Zúñiga *et al.*, (2011), que la presencia de sodio en los suelos interfiere en el crecimiento adecuado de la mayoría de los cultivos y por lo tanto constituye uno de los problemas más serios que enfrenta la agricultura.

Tabla.4.2. Resultados de sodio expresados en Cmol.kg^{-1}

Contorno	Na ⁺
1	0,8
2	0,5
3	0,5
4	0,6
5	1,0
6	0,5
7	0,4
8	0,5

4.5. SALINIDAD DE LOS SUELOS

Como se puede apreciar foto 4.5. En el área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.FL presentan una conductividad eléctrica baja debido a que se encuentran dentro del rango de 0- 2.0 mmhos/cm según la (tabla 2.5), lo que quiere decir que estos suelos no son salinos, y por esta razón no tienen problemas de exceso de salinidad, esto se debe a que están compuestos principalmente de textura franca, franca arcillosa y franca arenosa, los mimos que tienden a ser lavables fácilmente por la precipitación y lixiviación del suelo, siendo relativo a Zúñiga *et al.*, (2011), que la presencia de salinidad en los suelos interfiere en el crecimiento adecuado de la mayoría de los cultivos y por lo tanto constituye uno de los problemas más serios que enfrenta la agricultura. Este problema tiene efectos negativos sobre el suelo, como la disminución de la actividad biológica, la reducción en la disponibilidad de nutrientes, lo que es limitante para el desarrollo de los cultivos.



Foto 4.5. Mapa de salinidad del suelo

4.6. MAPA DE FERTILIDAD

Mediante la unión de los cartogramas de fósforo, MO, pH, salinidad, y textura se obtiene el mapa de fertilidad (foto 4.6) en el área de investigación, innovación y desarrollo, de la ESPAM-M.F.L, el cual muestra con diferentes colores su nivel de fertilidad.

Tabla 4.3. Especie y subespecie de los contornos del suelo con sus modificadores.

CLAVE DEL MAPA	Denominación del índice de fertilidad de los contornos
F/h₄/P₁/S₁	Suelo Franco arcilloso con nivel de materia orgánica alto, fosforo bajo, y 0% de salinidad del suelo, con un contenido de pH neutro.
Fc/h₁/P₁/ S₁	Suelo franco sobre arcilla, materia orgánica muy bajo, fosforo bajo, y 0% de sales presentes en el suelo, con un contenido de pH neutro.
Fc/h₂/ P₁/ S₁	Suelo franco sobre arenoso, materia orgánica bajo, fosforo bajo, y 0% de sales presentes en el suelo, con un contenido de pH neutro.
Fa/h₂/ P₁/ S₁	Suelo franco sobre arena, materia orgánica bajo, fosforo bajo, y 0% de sales presentes en el suelo, con un contenido de pH neutro.
Fa/h₂/ P₁/ S₁	Suelo franco sobre arena, materia orgánica bajo, fosforo bajo, y 0% de sales presentes en el suelo, con un contenido de pH neutro.
Fa/h₂/ P₁/ S₁	Suelo franco sobre arena, materia orgánica bajo, fosforo bajo, y 0% de sales presentes en el suelo, con un contenido de pH neutro.
Fa/h₂/ P₁/ S₁	Suelo franco sobre arena, materia orgánica bajo, fosforo bajo, y 0% de sales presentes en el suelo, con un contenido de pH neutro.
Fc/h₃/ P₁/ S₁	Suelo franco sobre arcilla, materia orgánica normal, fosforo bajo, y 0% de sales presentes en el suelo, con un contenido de pH neutro.

MAPA DE FERTILIDAD DEL CAMPUS 2

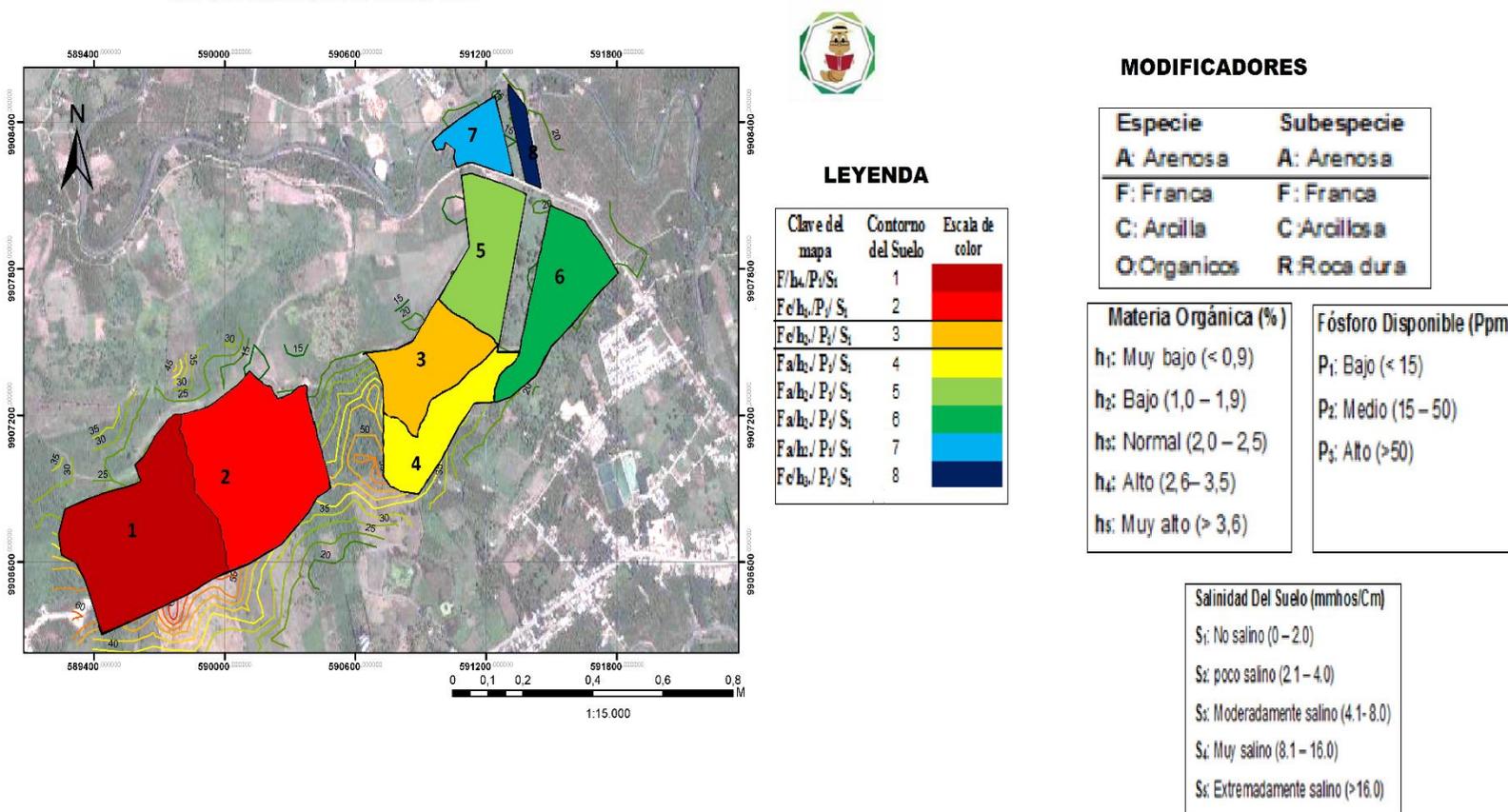


Foto 4.6. Mapa de fertilidad del suelo

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El suelo de todos los contornos evaluados del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L, mostraron niveles de fertilidad natural adecuado para la producción agrícola pecuaria y forestal, a excepción del fósforo.
- Las herramientas del (SIG) utilizadas en este estudio constituyeron una herramienta eficaz en el diagnóstico, mapeo y georeferenciación de la fertilidad natural del suelo de área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L.

5.2. RECOMENDACIONES

- Aplicar buenas prácticas agrícolas relacionadas al manejo y conservación e incrementos de los niveles de fertilidad natural que presentan los suelos del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L, con fines de potencializar la producción agrícola, pecuaria y forestal.

- Utilizar las herramientas (SIG) en el diagnóstico, mapeo, y georeferenciación de la fertilidad de los suelos como una estrategia del buen uso del suelo.

- Realizar el diagnóstico de la fertilidad biológica de los suelos en el área de investigación, innovación y desarrollo ESPAM-M.F.L.

BIBLIOGRAFÍA

- Ansorena, J. 2005. Fertilidad del suelo: acidez y complejo de cambio. laboratorio agrario diputación foral de gipuzkoa. (En línea). Consultado 30 de abril. 2014. Formato PDF. Disponible en <http://blog.ucc.edu>.
- Blanco, J. 2006. Materia orgánica del suelo. (En línea). ICA. Consultado el 01 de may. 2014. Formato PDF. Disponible en: <http://www.agronet.gov>.
- Báscones, E. 2005. Análisis de suelo y consejos de abonado. p 10. (En línea). INEA. Consultado el 21 de mar. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.larioja.org>
- Calvache, M. 2009. Curso de física de suelos. Quito, EC. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. p. 20.
- Casanova, E. 2005. Introducción a la ciencia del suelo. UCV- CDCH. Editorial torino caracas, VE. p 393.
- Clunes, J; Navarro, J y Pinochet, D. 2014. Variación temporal del contenido de materia orgánica en dos suelos volcánicos bajo diferentes manejos agrícolas. Independencia Valdivia, Chile. Revista Agro Sur. 42 (3).
- Cacuango, D.2013.Diagnóstico de la fertilidad del suelo en las unidades productoras referenciales, en siete barrios y una comunidad en la parte baja de la parroquia la esperanza del cantón pedro Moncayo. Tesis. Ing. Agropecuario. UPS. Quito- EC. p 88.
- De Noni, G y Trujillo, G. 2008. Degradación del suelo en el ecuador. (En línea).EC.Consultado el 30 de abril. 2014. Formato PDF. Disponible en <http://horizon.documentation.ird>.
- De la rosa, D. 2008. Evaluación agro -ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible. Madrid, ES. Mundi - Prensa. p. 45.

- Enciso, J; Porter, D; Périès X. 2007. Determinación de densidad real. (En línea).Tex. Consultado el 01 de mayo del 2014. Formato PDF. Disponible en: <http://repository.tamu>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT.). 2009. Guía para la descripción de suelo. Trad. por Ronald Vargas Rojas 4 ed. Roma, IT. Cuarta ed. Roma, IT. p. 50
- _____. 2012. Subíndice de uso sustentable del suelo – metodología de cálculo. (En línea). IT. Consultado el 12 de oct. 2015. Formato PDF. <http://www.faoevaluacion.org>.
- Fadda, G. 2010. Cartografía de suelos. Cátedra de edafología. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán Argentina, p1.
- Fernández, L y Rojas, N. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. (En línea). Mx. Consultado el 12 de oct. 2015. Formato PDF. <http://www2.inecc.gob>.
- Ferrera, R. y Alarcón, A. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. Revista Ciencia Ergo Sum. 8 (2):175- 183.
- Guerasimov, P y Glazovskaya, A. 1965. Fundamentals of soil science and soil geography. Israel program for scientific translations, jerusalem, p 382.
- Guillermo, S. 2010. Cartografía de suelo. cátedra de edafología. FAZ. UNT. (En línea). Consultado el 01 de may. 2014. Formato PDF. Disponible en <http://www.edafo.com>.
- Hernández, A.; Paneque, J; Pérez, J y Fuentes, E. 1995. Metodología integral para la cartografía detallada y evaluación de los suelos. Revista Espam Ciencia 3 (E): 88 -89.

- _____Ascanio, M; Morales, M; Bojórquez, L; García, N y García, J. 2006. El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo. Universidad autónoma de nayarit (UAN), México, Instituto nacional de ciencias agrícolas (INCA), Cu. p 168.169. Editorial de la universidad autónoma de nayarit (UAN).
- _____Ascanio, M. Morales, M. Bojórquez, J. García, N. García, J.2009. El suelo: fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo. Mx. p 4-5.
- Henríquez, C. 2015. Efecto del uso del suelo sobre las formas de fósforo de un andisol. Universidad de costa rica. Revista Agronomía Costarricense, Vol. 39. p 79-85.
- Huerta, H. 2010. Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de san Joaquín, gro., y su relación con el crecimiento bacteriano. Tesis. Lcd. biología. Universidad Autónoma de Querétaro. Mx. p 7- 11.
- Hugo, E; Castro, F; Manuel, I y Gómez, S. 2004. El diagnóstico integral de la fertilidad del suelo a partir de indicadores analíticos. (En línea). CO. Consultado, 11 de mayo. 2014. Formato PDF. Disponible en <http://www.ppublicacion05.unipamplona.edu>.
- Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. (En línea). Medellín, CO. Consultado el 11 de jul. 2014. Formato PDF. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu>.
- Jaramillo, V; Arahana, V; Torres, M. 2014. Determinación del nivel de tolerancia a salinidad en condiciones in vitro de plantas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) provenientes de distintas localidades de la sierra ecuatoriana. Universidad san francisco de quito.EC. Avances en Ciencias e Ingenierías, Vol. 6, p 44-50.
- Jordán, A. 2005. Determinación de textura. (En línea). Sevilla. Consultado el 10 de sept 2015. Formato PDF. Disponible en: <http://libnet.unse.edu>.

- López, D; Salgado, S y Triano, A. 2005. Diagnóstico de suelos para el mantenimiento de la fertilidad en áreas tropicales. (En línea). Campus tabasco. Consultado el 11 de jun. 2014. Formato (PDF). Disponible en <http://www2.inecc.gob>.
- López, D. 2006. Confección de un sector de referencia en la finca “La Rosita” de la UJC nacional como fundamento para el manejo de los suelos en la producción agropecuaria. Tesis de Maestría. Universidad agraria de la habana “Fructuoso Rodríguez Pérez” Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas p 97.
- Lozano, Z; Hernández, R; Bravo, C; Rivero, C y Delgado, M. 2012. Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. Revista Interciencia 11 (37): 820-827.
- Munsell, W. 2000. Munsell Soil Color Charts. Revised Wadable Edition. Gretag Macbeth, New Windsor, NY.
- Padilla, W. 2007. Fertilización de suelos y nutrición vegetal. Quito, EC. Clínica Agrícola. Agrobiolab. p 327.
- Peña, C. 2011. Levantamiento y cartografía de suelo. Universidad de los andes. (En línea). Consultado el 01 de may. 2014. Formato PDF. Disponible en <http://webdelprofesor.ula>.
- Porta, J.; López, M. 2008. Introducción a la edafología: Uso y Protección del Suelo. Cataluña, ES. Mundi-Prensa. p. 220-223.
- Rioja, M. 2007. Anexo a estudio climático. (En línea). ES. Consultado el 12 de oct .2015. Formato PDF. <https://upcommons.upc>.
- Romero, C. 2008. Fertilidad natural. s.e. p. 4. (En línea). Consultado 22 de feb. 2016. Formato PDF. Disponible en: <http://www.crc.gov.co>.
- Rubio, A. 2010. La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales. Proyecto de fin de carrera. Universidad Sevilla p 22.

- Rucks, L; García, F; Kaplan, A; Ponce de León, J. y Hill, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. (En línea). UR.Consultado 09 de jul. 2014. Formato PDF. Disponible en <http://www.fagro.edu>.
- Sánchez, P., Couto, W, Buol, S.W. 1982. The fertility capability soil classification system: interpretation, applicability and modification geoderma. *Revista science direct*. 27 (4): 283-309.
- Sheifa J. Mckeon, 1993. Manual de análisis de suelo y tejido vegetal. Centro internacional de agricultura tropical CIAT. (En línea). Consultado el 12 de oct. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org>.
- Siebe, C.; Bocco, G.; Sánchez, J.; Velásquez, A. 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. México df., MX. Universidad nacional autónoma de méxico. p 80-85.
- Silva, S. Correa, F. 2009. Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica. *Semest. Econ.* 12 (23):13 – 34.
- Solís, M. 2011. Levantamiento edafológico y agrológico con fines de planificación agropecuaria de la hacienda Bernabé Pedro Vicente Maldonado Ecuador. Tesis Ing. Agr. Quito. p. 30-35.
- Vargas, R. 2006. Texto base metodología para el levantamiento del recurso suelo. CLAS-UMSS. (En línea). Consultado el 01 de may. 2014. Formato PDF. Disponible en <http://www.itc.nl>
- Vásquez, A. Santiago, G. Estrada, A. 2002. Influencia del pH en el crecimiento de quince cepas de hongos ectomicorrizógenos. *Serie Botánica* 73 (1): 1-15.
- Venegas, A .2008. Caracterización de la materia orgánica de suelos de praderas naturales y cultivadas de la ix región. (En línea). Chile. Consultado el 10 de mar.2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.tesis.uchile.cl>.

Villarreal, J. Name, B. Garcia, R. 2012. Monitoreo de cambios en la fertilidad de suelos por medio de análisis de laboratorio. Alajuela-Costa Rica. Vol. 23. Consultado el 12 de octubre. 2015. Formato PDF. Disponible en: <http://www.redalyc.org>.

Zúñiga, O. Osorio, J. Cuero, R. Peña, J. 2011. Evaluación de tecnologías para la recuperación de suelos degradados por salinidad. Rev.Fac.Nac.Agron 64 (1): 1-2.

Zhu, A. X. 2001. Soil mapping using gis, expert knowledge y fuzzy logic. Solim workshop. p 65.

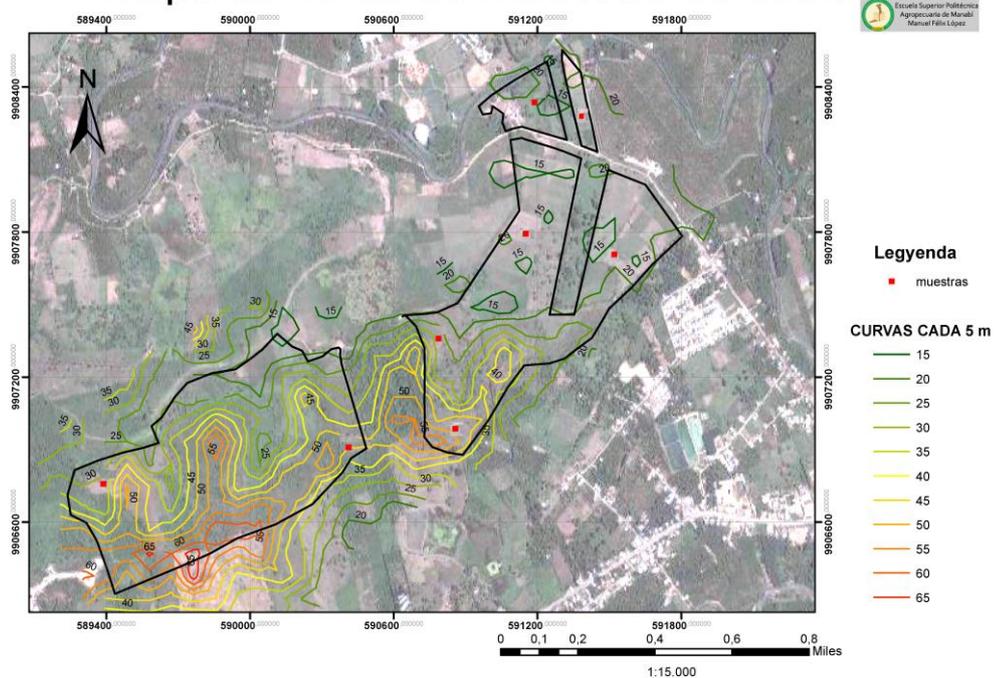
ANEXOS

Anexo 1.- Foto satelital aérea del área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM-M.F.L.



Anexo 2.- Levantamiento altimétrico de la ESPAM-M.F.L. por medio del modelo digital de elevación.

Mapa de Toma de muestras de suelo



Anexo 3. Planilla para factores limitantes de los puntos con barrena en el campo.

PROFUNDIDAD EFECTIVA	INT. EROSIÓN	TIPO DE EROSIÓN	PENDIENTE	DRENAJE	PEDREGOSIDAD (%) EN SUPERFICIE
1	1	1	1	0	0
2	2	2	2	1	1
3	3	3	3	2	2
4	4		4	3	3
5	5		5	4	4
			6	5	5
			7	6	
			8 - 9 - 10		

PROFUNDIDAD EN cm.

FACTORES						
<u>GLEYZACION</u>						
COMPACTACION						
<u>TEXTURA</u>						
<u>ESTRUCTURA</u>						
<u>PEDREGOSIDAD</u>						
ROCOSIDAD						
GRAVILLOSIDAD						
PEDREGONES						
<u>HIDRATACION</u>						

Anexo 4: Descripción del contorno 1**N0 Perfil: 2 Fecha:** 15/12/2014 **Autor (s):** López Gema y Rafael Zamora

Localización. Ubicación: campus "2" Hoja cartográfica: 1 Altura (msnm): 70 m	Coordenadas: N:0591479 E: 9907696 Provincia: Manabí País: Ecuador
Factores de formación 1. Forma del terreno. 1.1 Posición fisiográfica del lugar: Irregular 1.2 Topografía del terreno circundante: Parte alta 1.3 Micro relieve: Notable 2. Pendiente donde se toma el perfil: Mayor a 2% 3. Vegetación o uso de la tierra: Pasto común 4. Clima: Tropical Subhúmedo Precipitac. anuales: 838,7 mm Temp media anual: 26°C 5. Material de origen: Roca sedimentaria 6. Tiempo: Cuaternario reciente 7. Drenaje: Bien drenado	

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
A	0 – 1.0	Textura arcillosa, estructura granular prismática, humedad bastante seco, presencia de actividad biológica, presencia de raicillas, transición notable. Color 10YR2/1 negro con manchas de color 10YR6/6 pardo amarillento.
B	1.0 – 1.5	Textura Arcillosa con mezcla del horizonte a, estructura granular prismática, humedad seco, presencia de raíz, actividad biológica. Color 10YR6/6 pardo amarillento.

Anexo 5: Descripción del contorno 2

N0 Perfil: 3 Fecha: 15/12/2014 **Autor (s):** López Gema y Rafael Zamora

Localización. Ubicación: campus "2" Hoja cartográfica: 2 Altura (msnm): 45 m	Coordenadas: N:0591479 E: 9907696 Provincia: Manabí País: Ecuador
Factores de formación 1. Forma del terreno. 1.1 Posición fisiográfica del lugar: Irregular 1.2 Topografía del terreno circundante: Parte alta 1.3 Micro relieve: Notable 2. Pendiente donde se toma el perfil: Mayor a 2% 3. Vegetación o uso de la tierra: Arboles- pasto 4. Clima: Tropical subhúmedo Precipitac. anuales: 838,7 mm Temp media anual: 26°C 5. Material de origen: Roca sedimentaria 6. Tiempo: Cuaternario reciente 7. Drenaje: Bien drenado	

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
A	0 – 50	Textura arcillosa, estructura granular prismática, humedad bastante seco, presencia de actividad biológica, presencia de raicillas, transición notable. Color 10YR2/1 negro con manchas de color 10YR6/6 pardo amarillento.
B	50 – 80	Textura Arcilla, mezcla del horizonte a, estructura granular prismática, humedad seco, presencia de raíz, actividad biológica. Color 10YR6/6 pardo amarillento.
E	80- 150	Textura arcilla arenosa, estructura granular prismática, humedad seco, presencia de raíz, actividad biológica. Color 10YR5/6 pardo amarillento.

Anexo 6: Descripción del contorno 3

N0 Perfil: 4 Fecha: 27/11/2014 Autor (s): López Gema y Rafael Zamora

Localización. Ubicación: campus "2" Hoja cartográfica: 3 Altura (msnm): 22 m	Coordenadas: N: 0591288 E: 9907507 Provincia: Manabí País: Ecuador
Factores de formación 1. Forma del terreno. 1.1 Posición fisiográfica del lugar: Llanura 1.2 Topografía del terreno circundante: Llano 1.3 Micro relieve: No se observa 2. Pendiente donde se toma el perfil: Menos 2 % 3. Vegetación o uso de la tierra: Pasto 4. Clima: Tropical Subhúmedo Precipitac. anuales: 838,7 mm Temp media anual: 26°C 5. Material de origen: Roca sedimentaria 6. Tiempo: Cuaternario reciente 7. Drenaje: Bien drenado	

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
A1	0 – 30	Textura arcillosa, estructura granular prismática, consistencia friable, humedad fresco, presencia de actividad biológica, presencia de raicillas, transición notable. Color 7.5YR3/3 café pardo oscuro.
A2	30 - 60	Arcilla, estructura prismática, consistencia friable, humedad fresco, presencia de raíz, actividad biológica. Color 7.5YR3/4 café oscuro.
B	60 - 75	Textura, Arena, estructura sin estructura, consistencia friable, humedad fresco, presencia de raíz, actividad biológica. Color 10YR6/4 pardo amarillento.
E	75 – 1.50	Estructura sin estructura, textura arena, consistencia suelto, humedad fresco, presencia de raicillas. Color 10YR6/1 grisáceo.

Anexo 7: Descripción del contorno 4

N0 Perfil: 5 Fecha: 15/12/2014 Autor (s): López Gema y Rafael Zamora

Localización. Ubicación: campus "2" Hoja cartográfica: 4 Altura (msnm): 24 m	Coordenadas: N: 0591479 E: 9907696 Provincia: Manabí País: Ecuador
Factores de formación 1. Forma del terreno. 1.1 Posición fisiográfica del lugar: Llanura 1.2 Topografía del terreno circundante: Llano 1.3 Micro relieve: no se observa 2. Pendiente donde se toma el perfil: Menos 2 % 3. Vegetación o uso de la tierra: Pasto- arbusto 4. Clima: Tropical Subhúmedo Precipitac. anuales: 838,7 mm Temp media anual: 26°C 5. Material de origen: Roca sedimentaria 6. Tiempo: Cuaternario reciente 7. Drenaje: Bien drenado	

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
IA	0 – 30	Textura arcillosa, estructura granular prismática, consistencia friable, humedad fresco, presencia de actividad biológica, presencia de raicillas, transición notable. Color 7.5YR.2.5/1 negro.
IE	30 - 40	Textura Arcilla arenosa, estructura sin estructura, consistencia friable, humedad seca, presencia de raíz, actividad biológica. Color 10YR6/1 grisáceo.
IIA	40 - 75	Textura arcillosa, estructura granular prismática, consistencia friable, humedad fresco, presencia de raicillas poco, Color 7.5YR5/4 café claro.
IIB	75- 1.10	Suelo negro profundo, Textura arcillosa, estructura prismática, consistencia friable, humedad húmeda, presencia de raicillas, transición notable. Color 10YR3/1 grisáceo oscuro, con manchas de color 10YR5/6 pardo amarillento.
IIE	1.10 – 1.50	Textura arena, estructura sin estructura, consistencia suelto, humedad medianamente húmedo. Color 10YR6/1 grisáceo.

Anexo 8: Descripción del contorno 5

N0 Perfil: 4 Fecha: 15/12/2014 Autor (s): López Gema y Rafael Zamora

Localización. Ubicación: campus "2" Hoja cartográfica: 5 Altura (msnm): 24 m	Coordenadas: N: 0591066 E: 9907816 Provincia: Manabí País: Ecuador
Factores de formación 1. Forma del terreno. 1.1 Posición fisiográfica del lugar: Llanura 1.2 Topografía del terreno circundante: Llano 1.3 Micro relieve: No se observa 2. Pendiente donde se toma el perfil: Menos 2 % 3. Vegetación o uso de la tierra: arboles- pasto – 4. Clima: Tropical Subhúmedo Precipitac. anuales: 838,7 mm Temp media anual: 26°C 5. Material de origen: Roca sedimentaria 6. Tiempo: Cuaternario reciente 7. Drenaje: Bien drenado	

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
A1	0 – 60	Textura arcilla, presencia de raíz secundaria, suelo húmedo, consistencia friable, sin estructura. Color 10YR3/2 café oscuro grisáceo.
A2	60 – 75	Textura arcilla, poca presencia de raíz, suelo con presencia de humedad, Color10YR3/3 café pardo oscuro.
E1	75 – 85	Textura arenosa, suelo con presencia de una franja negra, humedad húmeda, compactado, Color10YR4/2 café oscuro grisáceo.
E2	85 – 1.5	Textura arenosa, suelo con presencia de agua, humedad bastante húmeda, compactado, Color10YR4/3 café.

Anexo 9: Descripción del contorno 6

NO Perfil: 5 Fecha: 25/11/2014 Autor(s): López Gema y Rafael Zamora

Localización. Ubicación: campus "2" Hoja cartográfica: 6 Altura (msnm): 21 m	Coordenadas: N: 0591484 E: 9907973 Provincia: Manabí País: Ecuador
Factores de formación 1. Forma del terreno. 1.1 Posición fisiográfica del lugar: Llanura 1.2 Topografía del terreno circundante: Llano 1.3 Micro relieve: No se observa 2. Pendiente donde se toma el perfil: Menos 2 % 3. Vegetación o uso de la tierra: Pasto estrella 4. Clima: Tropical subhúmedo Precipitac. anuales: 838,7 mm Temp media anual: 26°C 5. Material de origen: Roca sedimentaria 6. Tiempo: Cuaternario reciente 7. Drenaje: Bien drenado	

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
A1	0 - 30	Textura arcillosa, estructura granular prismática, consistencia friable, humedad fresco, presencia de actividad biológica, presencia de raicillas, transición notable. Color 5YR3/2 café pardo oscuro.
A2	30 - 40	Arcilla, estructura prismática, consistencia friable, humedad fresco, presencia de raíz, actividad biológica. Color 2,5Y3/3 café pardo oscuro.
B1	40 - 60	Textura, Arcilla, estructura prismática, consistencia friable, humedad fresco, presencia de raíz poco, actividad biológica. Color 7.5YR3/1 grisáceo oscuro.
B2	60 - 80	Arcilla, estructura prismática, consistencia friable, humedad húmeda, presencia de raíz poco notable, actividad biológica. Color 7.5YR3/3 café oscuro.
E	80 - 1.50	Estructura sin estructura, textura arena, consistencia suelto, humedad medianamente húmeda, presencia de raicillas .Color 10YR6/1 grisáceo.

Anexo 10: Descripción del contorno 7

N0 Perfil: 3 Fecha: 25/11/2014 Autor (s): López Gema y Rafael Zamora

Localización. Ubicación: campus "2" Hoja cartográfica: 7 Altura (msnm): 24 m	Coordenadas: N: 0591229 E: 9908205 Provincia: Manabí País: Ecuador
Factores de formación 1. Forma del terreno. 1.1 Posición fisiográfica del lugar: Llanura 1.2 Topografía del terreno circundante: Llano 1.3 Micro relieve: No se observa 2. Pendiente donde se toma el perfil: Menos 2 % 3. Vegetación o uso de la tierra: Arboles 4. Clima: Tropical subhúmedo Precipitac. anuales: 838,7 mm Temp media anual: 26°C 5. Material de origen: Roca sedimentaria 6. Tiempo: Cuaternario reciente 7. Drenaje: Bien drenado	

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
A	0 – 33	Textura arcillosa, estructura granular prismática, consistencia friable, humedad fresco, presencia de actividad biológica, presencia de raicillas, transición notable, Color 10YR3/3 café oscuro.
B	33 – 55	Franco limoso, estructura prismática, consistencia friable, humedad ligeramente húmeda, sin presencia de raíz, actividad biológica. Color 10YR7/6 amarillo claro.
E	55 – 1.50	Textura, Arenoso, estructura sin estructura, consistencia suelto, humedad húmeda, actividad biológica. Color 10YR5/2 café grisáceo.

Anexo 11: Descripción del contorno 8

N0 Perfil: 4 Fecha: 18/11/2014 Autor (s): López Gema y Rafael Zamora

Localización: parte baja – plano Ubicación: campus “2” Hoja cartográfica: 8 Altura (msnm): 23 m	Coordenadas: N: 0591363 E: 9908198 Provincia: Manabí País: Ecuador
Factores de formación 1. Forma del terreno. 1.1 Posición fisiográfica del lugar: Llanura 1.2 Topografía del terreno circundante: Llano 1.3 Micro relieve: No se observa 2. Pendiente donde se toma el perfil: Menos 2 % 3. Vegetación o uso de la tierra: Pasto de corte 4. Clima: Tropical subhúmedo Precipitac. anuales: 838,7 mm Temp media anual: 26°C 5. Material de origen: Roca sedimentaria 6. Tiempo : Cuaternario reciente 7. Drenaje: Bien drenado	

DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

Horizonte	Prof. (cm)	Descripción
A1	0 – 20	Textura arcillosa, estructura granular prismática, consistencia friable, humedad fresco, presencia de actividad biológica, presencia de raicillas, transición notable. Color 10YR4/2 pardo grisáceo oscuro.
A2	20 – 50	Arcilla, estructura prismática, consistencia friable, humedad fresco, presencia de raíz, actividad biológica. Color 2,5Y3/2 café pardo.
B	50 – 95	Textura arcillo arenoso, poca presencia de raicillas, humedad fresco, sin estructura. Color 2,5Y3/3 café oliva oscuro.
A	95-1.50	Textura arcillo arenoso, Humedad mojado – plástico, sin estructura, sin presencia de raicillas, Color 10YR2/1 negro oscuro.