

| | | | | | | | |
|---|---|----------------|----------|-----------------|-------------|---|---------------|
|  | GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS | | | | |    | |
| | CARTA DE AUTORIZACIÓN | | | | | | |
| CÓDIGO | AP-BIB-FO-06 | VERSIÓN | 1 | VIGENCIA | 2014 | PÁGINA | 1 de 2 |

Neiva, 19 de mayo de 2015

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

DIEGO EDUARDO MORA CUBILLOS, con C.C. No. 12.247.077

HEIDER FERNANDO LOSADA LOSADA, con C.C. No.1.075.252.824

Autor (es) de la tesis y/o trabajo de grado Titulado **EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE SUELOS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN**, presentado y aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de INGENIERO AGRÍCOLA, autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

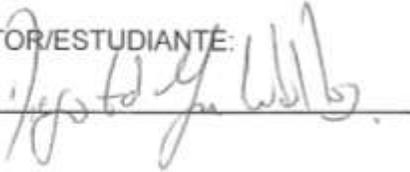
Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

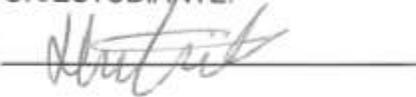
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

| | | | | | | | | | |
|---|---|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|--|--|--|
|  | GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS | | | | | |  IED 6081 SC 7384-1 |  IEP 205-1 |  ICNet CO-SC 7384-1 |
| | CARTA DE AUTORIZACIÓN | | | | | | | | |
| CÓDIGO | AP-BIB-FO-06 | VERSIÓN | 1 | VIGENCIA | 2014 | PÁGINA | 2 de 2 | | |

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:
Firma: 

EL AUTOR/ESTUDIANTE:
Firma: 

| | | | | | | | |
|---|---|----------------|----------|-----------------|---|---------------|---------------|
|  | GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS | | | |    | | |
| | DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO | | | | | | |
| CÓDIGO | AP-BIB-FO-07 | VERSIÓN | 1 | VIGENCIA | 2014 | PÁGINA | 1 de 3 |

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE SUELOS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN

AUTOR O AUTORES:

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| MORA CUBILLOS | DIEGO EDUARDO |
| LOSADA LOSADA | HEIDER FERNANDO |

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| TORRENTE TRUJILLO | ARMANDO |

ASESOR (ES):

| Primero y Segundo Apellido | Primero y Segundo Nombre |
|----------------------------|--------------------------|
| | |

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRICOLA

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: AGRICOLA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2015

NÚMERO DE PÁGINAS: 75

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías X Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general X Grabados___ Láminas___ Litografías___ Mapas X Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros X

| | | | | | | | |
|---|--|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---|
|  | GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS | | | | | |  |
| | DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO | | | | | | |
| CÓDIGO | AP-BIB-FO-07 | VERSIÓN | 1 | VIGENCIA | 2014 | PÁGINA | 2 de 3 |

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: ADOBE READER (pdf)

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

| <u>Español</u> | <u>Inglés</u> |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. Calidad del suelo | Soil quality |
| 2. Uso y manejo del suelo | use and soil management |
| 3. Degradación del suelo | soil degradation |
| 4. Indicador | indicator |
| 5. Función del Suelo | function of the floor |

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Se evaluaron algunas propiedades hidrofísicas de suelos bajo diferentes condiciones de manejo y conservación en cuatro unidades de suelos con diferentes características de manejo en el municipio de Aipe en el norte del departamento del Huila. El manejo antecedente de estos suelos es: Suelo con historial de uso intensivo en prácticas agrícolas tradicionales, suelo con algunas prácticas de manejo y conservación, suelo con intervención reciente en cultivos intensivos (arroz) y suelo con bosque nativo de galería como testigo. Los aspectos anteriores fueron considerados teniendo conocimiento de la tenencia de la tierra. Se describieron los suelos y se tomaron muestras para análisis físico y químico, cada dato obtenido se interpretó y comparó, luego se ordenaron y se sometieron a una normalización adansoniana para eliminar unidades y dar el mismo peso a cada propiedad, y posteriormente se obtuvo la carga factorial de cada propiedad mediante un análisis factorial. Una vez ajustados los valores se cuantificaron para determinar la calidad del suelo, el *suelo con algunas actividades de manejo y conservación* (41,07%), seguido por el *suelo con intervención reciente* (30,27%), seguido por el *suelo de bosque nativo de galería* (15,06%) y por último el *suelo con actividad de prácticas agrícolas tradicionales* resultó con la menor calidad (13,58%). Establecida la calidad de los suelos, se seleccionaron las propiedades más sensibles a los cambios para la función del suelo como regulador del agua, utilizando para ello la matriz Función del suelo-Indicador, propuesta por el NRCS, un análisis de correlación de Pearson y un análisis factorial. El mayor peso en la matriz Función del suelo-Indicador y la correlación a mayor carga factorial confirmaron que la densidad aparente, infiltración, materia orgánica y la estructura son las propiedades dinámicas que mejor indican los cambios en la calidad de los suelos estudiados



GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



| | | | | | | | |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|
| CÓDIGO | AP-BIB-FO-07 | VERSIÓN | 1 | VIGENCIA | 2014 | PÁGINA | 3 de 3 |
|---------------|---------------------|----------------|----------|-----------------|-------------|---------------|---------------|

Some hydrophysical properties of soils under different management and conservation units in four soils with different handling characteristics Aipe municipality in the northern department of Huila were evaluated. The management history of these soils is: Floor with a history of heavy use in traditional agricultural practices, soil with some management and conservation, soil recent intervention in intensive crops (rice) and native forest floor gallery as a witness. The above aspects were considered to have knowledge of land tenure. Soils were described and sampled for physical and chemical analysis, each data obtained was interpreted and compared, then ordered and underwent a adansoniana normalization to remove units and give equal weight to each property, and then the load was obtained factorial of each property by factor analysis. After setting the values were quantified to determine soil quality, soil with some management and conservation activities (41.07%), followed by the floor with recent intervention (30.27%), followed by the forest soil Native Gallery (15.06%) and finally the floor with traditional farming activity resulted with the lowest quality (13.58%). Established quality of the soil, the most sensitive to changes to soil function as a regulator of water properties were selected, using the matrix soil-indicator function, given by the NRCS, analysis and Pearson correlation factorial analysis. The greatest weight in the soil matrix-function indicator and factor loading greater correlation confirmed that the bulk density, infiltration, organic matter and structure are the dynamic properties that best indicate changes in the quality of the soils studied.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Jurado: JAIME IZQUIERDO BAUTISTA

Firma:

Nombre Jurado: RODRIGO ALBERTO PACHON-BEJARANO

Firma:



EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE SUELOS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN

EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE SUELOS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN



DIEGO EDUARDO MORA CUBILLOS

HEIDER FERNANDO LOSADA LOSADA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA – HUILA
2015



EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE SUELOS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN

EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE SUELOS BAJO
DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN



DIEGO EDUARDO MORA CUBILLOS
HEIDER FERNANDO LOSADA LOSADA

Proyecto de grado para optar el título de
INGENIERO AGRÍCOLA

Director
ARMANDO TORRENTE TRUJILLO
I. Agric. Ph.D.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
NEIVA – HUILA
2015



DEDICATORIA

Queremos dedicarle este trabajo a Dios, quien que nos ha dado la vida y fortaleza para llevar a feliz término la presente investigación.

A nuestros Padres por estar ahí cuando más los necesitamos; en especial a nuestras madres por su ayuda y constante cooperación.

A nuestras parejas por apoyarnos y ayudarnos en los momentos más difíciles.

A Rodrigo Alberto Pachón Bejarano, Ingeniero Agrónomo, M.Sc., profesor titular de la Universidad Surcolombiana, por sus consejos a nivel personal y profesional.

A Armando Torrente Trujillo, Ingeniero Agrícola Ph.D., Profesor titular de la Universidad Surcolombiana, por su dirección y asesoría en el desarrollo de la investigación.

A los amigos y resto de familiares que de una u otra manera contribuyeron al logro tan importante propósito.



TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN..... | 9 |
| ABSTRACT..... | 9 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 11 |
| 2. INTRODUCCIÓN | 12 |
| 3. MARCO TEÓRICO Y REVISION BIBLIOGRAFICA..... | 14 |
| 4. METODOLOGÍA | 20 |
| 4.1 Localización..... | 20 |
| 4.2 Geomorfología..... | 22 |
| 4.3 Métodos | 22 |
| 4.3.1 Selección de las Áreas de Estudio | 22 |
| 4.3.2 Descripción de los Perfiles de Suelo | 23 |
| 4.3.3 Muestreo | 23 |
| 4.3.4 Pruebas de Laboratorio:..... | 24 |
| 4.3.5 Interpretación de Propiedades y Procesos | 24 |
| 4.3.6 Listado de Propiedades del Suelo que Indican Calidad..... | 25 |
| 4.3.7 Obtención de Índices y Cuantificación de la Calidad Global de los Suelos | 25 |
| 4.3.8 Selección de un Conjunto Mínimo de Datos (CMD) | 26 |
| 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 27 |
| 5.1 Descripción de suelos | 27 |
| 5.2 Interpretación de componentes | 31 |
| 5.3 Discusión | 37 |
| 5.4 Calidad del Suelo | 42 |
| • Similitud entre los suelos | 46 |
| • Indicadores de calidad | 51 |
| • Plan de Manejo y Conservación de los Suelos de Bajo Índice de Calidad..... | 55 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 57 |



| | |
|-----------------------------|-----------|
| 7 BIBLIOGRAFÍA | 58 |
| ANEXOS | 64 |
| Anexo A | 64 |
| Anexo B | 66 |
| Anexo C | 68 |
| Anexo D | 70 |
| Anexo E | 72 |
| Anexo G | 74 |
| Anexo H | 74 |



ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Susceptibilidad a los procesos de degradación; **Error! Marcador no definido.**

Cuadro 2. Indicadores clave para la evaluación de calidad del suelo; **Error! Marcador no definido.**

Cuadro 3. Categorías según la escala para la evaluación de la calidad de suelo..; **Error! Marcador no definido.**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Evaluación de la calidad del suelo..... | 16 |
| Ilustración 2 metodología de estudio..... | 24 |

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | |
|--|----|
| Imagen 1. Foto aerea con localización del proyecto | 20 |
| Imagen 2. mapa de unidades cartográficas de los suelos en estudio | 21 |
| Imagen 3 suelo con prácticas agrícolas tradicionales | 28 |
| Imagen 4 Descripción suelo con prácticas agrícolas tradicionales cajuela | 28 |
| Imagen 5 suelo con algunas prácticas de manejo y conservación | 29 |
| Imagen 6 suelo de manejo y conservación con la diferencia de los perfiles | 29 |
| Imagen 7 Suelo con intervención reciente en cultivos intensivos | 30 |
| Imagen 8 perfil del suelo con intervención reciente en cultivos intensivos | 30 |
| Imagen 9 suelo bosque nativo de galerías | 31 |
| Imagen 10 Perfil del suelo bosque nativo de galerías | 31 |

ÍNDICE DE GRAFICAS

| | |
|---|----|
| Grafica 1 Dendrograma de los suelos estudiados | 46 |
| Grafica 2 La distribución de los suelos en cuadrantes diferentes | 48 |
| Grafica 3. Distribución de la carga factorial de las propiedades de los suelos estudiados | 49 |
| | 49 |
| Grafica 4. Tendencia de los suelos estudiados. | 50 |



ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 coordenadas de los suelos estudiados..... | 20 |
| Tabla 2 Parámetros físicos y químicos con la metodología utilizada..... | 25 |
| Tabla 3 componente morfológico de los suelos estudiados | 31 |
| Tabla 4 componente físico de los suelos estudiados | 33 |
| Tabla 5 componente hidraulico de los suelos estudiados | 35 |
| Tabla 6 componente químico de los suelos estudiados | 36 |
| Tabla 7.lista de atributos seleccionados | 42 |
| Tabla 8 Los atributos seleccionados para la evaluación de calidad global de los suelos | 42 |
| Tabla 9 Normalización simple de los valores de los atributos | 43 |
| Tabla 10. Valores normalizados bajo el principio adansoniano | 44 |
| Tabla 11. Cargas factoriales para cada propiedad del suelo. | 45 |
| Tabla 12. Valores ajustados con la carga factorial | 45 |
| Tabla 13. distancia de los suelos estudiados..... | 47 |
| Tabla 14. Matriz de proximidad (Coeficiente de correlación de Pearson). | 47 |
| Tabla 15. Coordenadas de las observaciones | 48 |
| Tabla 16. Cargas factoriales de los ejes F1 y F2 | 49 |
| Tabla 17. Leyendas de los suelos estudiados | 50 |
| Tabla 18. propiedades hidrodinámicas del suelo..... | 51 |
| Tabla 19. Selección de propiedades | 52 |
| Tabla 20. Matriz de correlación de Pearson de las propiedades de los suelos | 53 |
| Tabla 21. Determinación de las propiedades significativas | 52 |
| Tabla 22. Indicadores de calidad sensibles al cambio | 54 |
| Tabla 23. Datos de referencia de los suelos estudiados..... | 54 |
| Tabla 24. Característica de los indicadores | 74 |
| Tabla 25. Propiedades hidrodinámicas y su peso relativo como indicadores de calidad | 75 |



RESUMEN

Se evaluaron algunas propiedades hidrofísicas de suelos bajo diferentes condiciones de manejo y conservación en cuatro unidades de suelos con diferentes características de manejo en el municipio de Aipe en el norte del departamento del Huila. El manejo antecedente de estos suelos es: Suelo con historial de uso intensivo en prácticas agrícolas tradicionales, suelo con algunas prácticas de manejo y conservación, suelo con intervención reciente en cultivos intensivos (arroz) y suelo con bosque nativo de galería como testigo. Los aspectos anteriores fueron considerados teniendo conocimiento de la tenencia de la tierra. Se describieron los suelos y se tomaron muestras para análisis físico y químico, cada dato obtenido se interpretó y comparó, luego se ordenaron y se sometieron a una normalización adansoniana para eliminar unidades y dar el mismo peso a cada propiedad, y posteriormente se obtuvo la carga factorial de cada propiedad mediante un análisis factorial. Una vez ajustados los valores se cuantificaron para determinar la calidad del suelo, el *suelo con algunas actividades de manejo y conservación* (41,07%), seguido por el *suelo con intervención reciente* (30,27%), seguido por el *suelo de bosque nativo de galería* (15,06%) y por último el *suelo con actividad de prácticas agrícolas tradicionales* resultó con la menor calidad (13,58%). Establecida la calidad de los suelos, se seleccionaron las propiedades más sensibles a los cambios para la función del suelo como regulador del agua, utilizando para ello la matriz Función del suelo-Indicador, propuesta por el NRCS, un análisis de correlación de Pearson y un análisis factorial. El mayor peso en la matriz Función del suelo-Indicador y la correlación a mayor carga factorial confirmaron que la densidad aparente, infiltración, materia orgánica y la estructura son las propiedades dinámicas que mejor indican los cambios en la calidad de los suelos estudiados.

Palabras clave: Calidad del suelo, Uso y manejo del suelo, degradación del suelo.

ABSTRACT

Some hydrophysical properties of soils under different management and conservation units in four soils with different handling characteristics Aipe municipality in the northern department of Huila were evaluated. The management history of these soils is: Floor with a history of heavy use in traditional agricultural practices, soil with some management and conservation, soil recent intervention in intensive crops (rice) and native forest floor gallery as a witness. The above aspects were considered to have knowledge of land tenure. Soils were described and sampled for physical and chemical analysis, each data obtained was interpreted and compared, then ordered and underwent a adansoniano normalization to remove units and give equal weight to each property, and then the load was obtained factorial of each property by factor analysis. After setting the values were quantified to determine soil quality, soil with some management and conservation activities (41.07%), followed by the floor with recent intervention (30.27%), followed by the forest soil Native Gallery (15.06%) and finally the floor with traditional farming activity resulted with the



lowest quality (13.58%). Established quality of the soil, the most sensitive to changes to soil function as a regulator of water properties were selected, using the matrix soil-indicator function, given by the NRCS, analysis and Pearson correlation factorial analysis. The greatest weight in the soil matrix-function indicator and factor loading greater correlation confirmed that the bulk density, infiltration, organic matter and structure are the dynamic properties that best indicate changes in the quality of the soils studied.

Keywords: Soil quality, use and soil management, soil degradation



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según FAO & IITA 2000 los procesos de degradación de tierra en varias regiones de América Latina y África, tienen su origen en factores sociales, económicos y culturales, que se traducen en la sobreexplotación de los recursos naturales y en la aplicación de prácticas inadecuadas de manejo de suelos y aguas.

En el departamento del Huila el Estudio General de Suelos (IGAC, 1994), estableció que en la zona Norte del departamento en los municipios de Villavieja, Baraya, Tello, Colombia y Aipe se evidencian altos procesos erosivos, que cada día se incrementan por la condición natural de la zona y el sobrepastoreo. Este estudio es un punto de partida para intensificar las investigaciones relacionadas con la identificación, diagnóstico, diseño, formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de la degradación de los suelos.

Basados en lo anterior, se propone investigar las propiedades hidrofísicas de suelos bajo diferentes condiciones de manejo y conservación en cuatro unidades de suelos similares pero con características de manejo diferentes en el municipio de Aipe, departamento del Huila. Los manejos antecedentes de los suelos son: suelo bajo uso intensivo con prácticas tradicionales, suelo con prácticas de manejo y conservación, suelo con intervención reciente en cultivo intensivo de arroz y suelo con bosque nativo de galería (testigo).

La importancia de este estudio radica en verificar el estado de las propiedades hidrofísicas de los suelos y las consecuencias del manejo en la producción agrícola. Los resultados se podrán extrapolar a diferentes situaciones en la que el suelo tiene un uso agrícola y que servirán para realizar planes de mejoramiento, monitoreo y seguimiento destinados a diversificar la producción e incrementar la productividad mediante la capacitación del agricultor como eje fundamental para la salud del suelo.

Entre las variables del suelo a medir esta, la infiltración, la conductividad hidráulica, densidad aparente y real, textura, porosidad, estabilidad estructural y retención de humedad, además de propiedades químicas como CIC, MO, pH y CE, las cuales se someten a tratamiento estadístico para encontrar indicadores adecuados para la evaluación y que aporten al productor o agricultor en prácticas de manejo sostenible para mejorar la calidad del suelo, minimizando los efectos de la degradación del suelo.



2. INTRODUCCIÓN

El uso intensivo de los recursos naturales ha desencadenado el deterioro de los mismos por el afán de producir más, sin consultar con la sostenibilidad de los agrosistemas. Con el ánimo de intentar frenar esto, varias organizaciones han puesto en marcha diferentes programas para evitar la degradación de los recursos naturales. Es válido destacar a organizaciones como la ONU¹ que en su programa de desarrollo sostenible declaró el periodo 2010 – 2020 “Decenio de las Naciones Unidas para los Desiertos y la Lucha Contra la Desertificación”, o a la FAO con sus programas de Evaluación de la degradación de tierras como LADA², GLASOD³, y redes informales de instituciones como WOCAT⁴, ISRIC⁵, que han trabajado fuertemente desde sus campos en emplear técnicas para combatir la degradación del recurso suelo y agua.

Una de las estrategias de la FAO 2015, ha sido implementar el Año Internacional de los Suelos 2015 (AIS) en el marco de la Alianza Mundial por el Suelo y en colaboración con los gobiernos y la secretaría de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD). El AIS 2015 tiene como objetivo aumentar la concienciación y la comprensión de la importancia del suelo para la seguridad alimentaria y las funciones ecosistémicas esenciales. Y como uno de sus objetivos específicos promover inversiones en actividades de manejo sostenible de la tierra para desarrollar y mantener suelos saludables para los diferentes usuarios de la tierra.

Entendiendo las tendencias mundiales de conservación del suelo y sabiendo que es el sustento de la vida terrestre y uno de los principales impulsores de esta; se confirma que este recurso se encuentra amenazado por el acelerado cambio climático produciendo desbalances hídricos que repercuten en el régimen hídrico de los suelos, esto sumado al cambio de uso y mal manejo de los suelos que le ha dado el hombre han ocasionado una precipitada degradación química, biológica y física. Y es esta última, la que se aprecia con más preocupación en los suelos pues se manifiesta a través de problemas de compactación, sellado, encostrado, escorrentía, erosión hídrica y eólica, movimientos de masa, entre otros. Que en los suelos agrícolas se maximiza debido a un mal manejo de pendientes, uso de una labranza agresiva e intensiva, deficiente cubierta vegetal, uso diferente al su potencial, etc.

Los efectos negativos se reflejan cuando el agricultor percibe que la producción empieza a disminuir y su suelo es transportado fácilmente por el agua y el viento. La Evaluación de los sistemas de manejo de las tierras y su utilización en los sistemas agrícola o pecuario, es una herramienta que sirve para conocer si un área determinada está siendo utilizada en forma racional o no (Naranjo & Motta, 1990).

1 Asamblea General de Naciones Unidas, Sexagésimo noveno periodo de sesiones: Desarrollo sostenible A/69/311 aplicación de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, en Particular en África

2 <http://www.fao.org/nr/lada/>

3 <http://www.fao.org/docrep/t2351s/t2351s05.htm>

4 <https://www.wocat.net/>

5 <http://www.isric.org/>



La evaluación de los suelos permite apreciar sus diferencias cuantitativas y cualitativas a través de indicadores que contribuirán a elaborar planes integrales o planes de choque contra el mal uso y manejo de los suelos agrícolas. El propósito es evaluar las propiedades hidrofísicas de suelos representativos en su manejo y conservación en el norte del Huila, utilizando indicadores para determinar el grado de afectación con proyección a planes de manejo y conservación.



3. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 MARCO TEÓRICO

Degradación del Suelo El concepto de degradación del suelo según FAO 1993, se define como el proceso de la pérdida de las cualidades intrínsecas de suelo que disminuye sus funciones y su capacidad actual y potencial para producir (cuantitativa y cualitativamente) bienes y servicios. La degradación del suelo implica el cambio del suelo de una condición adecuada para un cierto uso a otra condición donde esa utilización se restringe (Lal, 1994). Frenar la degradación del suelo se ha convertido en uno de los grandes retos hoy en día (Becerra, 1999).

La jerarquización de los tipos de degradación del suelo reconoce dos categorías principales: la degradación por desplazamiento del material del suelo, que tiene como agente causativo a la erosión hídrica o eólica, y la degradación resultante de su deterioro interno, que tiene como agente causativos procesos químicos y físicos (Porta & Lopez, 2005).

Los factores causativos de la degradación de suelos, de acuerdo con SEMARNAT (2002), se agrupan en las siguientes categorías: Actividades agrícolas, Deforestación y remoción de la vegetación, Sobreexplotación de la vegetación para uso doméstico, Sobrepastoreo, actividades industriales y Urbanización. Estos factores causativos generan fuentes de estrés sobre el suelo, lo que intensifica el trabajo interno generando tensiones de tipo físico, químico o biológico, las cuales producen un deterioro progresivo del sistema de manera que no hay una transformación externa inmediata, por lo que es difícil percibir la degradación que está teniendo lugar (Porta & Lopez, 2005). Las fuentes de estrés se mencionan a continuación.

| | |
|--|--|
| Expansión/retracción elevada | Alto contenido de aluminio intercambiable |
| Disminución de C de la biomasa microbiana | Lavado de nutrientes |
| Disminución de la biodiversidad del suelo | Baja capacidad de almacenamiento de nutrientes |
| Elevadas temperaturas en el suelo | Elevada retención de P y N |
| Exceso de agua estacional | Presencia de sulfatos ácidos |
| Restricciones para el desarrollo radicular | Bajo contenido de humedad y nutrientes |
| Bajas temperaturas | Contenido de materia orgánica elevado |
| Baja estabilidad estructural | Salinidad / Sodicidad / Alcalinidad |
| Baja capacidad de infiltración | Aumento de contaminantes |
| Drenaje impedido | Profundidad insuficiente |
| Estrés hídrico estacional | Pendiente muy pronunciada |
| Elevada capacidad de intercambio aniónico | Elevado contenido en caliza |
| Elevado contenido en yeso | |



El nivel de afectación de la degradación del suelo puede ser ligero, moderado, fuerte y extremo, y abarcar diferentes extensiones y tasas SEMARNAT (2002), y está relacionado a la susceptibilidad a la degradación del suelo mediante clases.

Calidad del Suelo La preocupación por la degradación de los suelos, principalmente por las actividades antropogénicas no es nueva y ha conllevado, en las últimas décadas, a tomar conciencia del aumento de los efectos negativos sobre este recurso. Esta situación ha traído como consecuencia un gran interés por evaluar el estado actual que guardan los suelos, el cual es llamado polaridad del suelo algunos como Doran & Parkin (1994), indicaron que la salud del suelo dependía del estado de las propiedades dinámicas del suelo, tales como contenido de materia orgánica, diversidad de organismos en un tiempo particular, Doran, Liebing, & Sarrantonio (1996b) afirmaron que la salud del suelo dependía de su capacidad para cumplir con sus funciones, y Fageria, Baligar, & Clark, 2002 mencionaron a la salud del suelo como la habilidad para desempeñarse de acuerdo con su potencial.

Titonell (2004), mencionaba que la salud del suelo puede caracterizarse en un momento determinado, considerando uno o más aspectos de las funciones del suelo, y que contrastan los valores actuales de una variable con valores de referencia para la misma.

Sustentabilidad. La sustentabilidad se define como aquella que a largo plazo promueve la calidad del ambiente y de los recursos de los cuales depende la agricultura, provee los alimentos y fibras para el ser humano es económicamente viable y mejora la calidad de vida (EE.UU, 1994). Define. Agricultura sustentable significa manejar los recursos naturales para cubrir nuestras necesidades en el presente mientras que al mismo tiempo mantenemos estos recursos en una condición tal que pueden satisfacer los requerimientos de las generaciones futuras indefinidamente. Así, el manejo sustentable del suelo procura conservar el agua, el aire, el suelo, los recursos bióticos vegetales y animales, no degrada el ambiente, es económicamente viable y socialmente aceptable (SEMARNAT, 2002).

Evaluación de la Calidad del Suelo. A pesar de ya tenerse una definición consensada del concepto Calidad de Suelo, evaluar esta calidad es complejo ya que existe una calidad inherente, definida por el estado de equilibrio natural del suelo, y una calidad transformada, que surge luego de la adecuación de las tierras para el establecimiento de actividades productivas, por ejemplo, tierras que son habilitadas para riego, desmontadas o drenadas artificialmente. Pero además, existe una calidad percibida por el usuario **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, que depende del uso al que la tierra será destinada y responde a variables socioculturales y económicas, lo que le imprimen una mayor complejidad a dicha evaluación (Titonell, 2004).

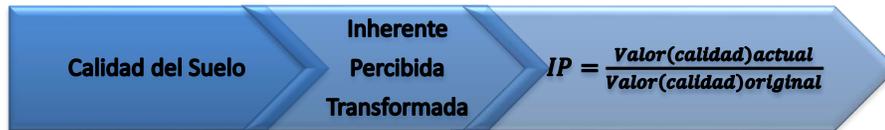


Ilustración 1. Evaluación de la calidad del suelo

Fuente: Evaluación de la calidad del suelo. Modificado por el autor, a partir de (Titonell, 2004)

Arshad, Lowery, & Grossman, 1992 y Pierce & Larson 1994, señalan que las características visuales y morfológicas que pueden ser usadas por productores y extensionistas para indicar cambios en la calidad del suelo, deben ser parte esencial en su medición y monitoreo, principalmente en regiones donde los recursos son limitados. Otros autores han relacionado las principales funciones del suelo con los indicadores de calidad consensados a partir de otras investigaciones.

Para evaluar la calidad del suelo, Pierce & Larson, 1994, propusieron un sistema que consiste en caracterizar el suelo e identificar una lista de propiedades relacionadas con los procesos más importantes de su funcionamiento. Las propiedades pueden ser físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él Sarrantonio, Doran, Liebig, & Halvorson, 1996 son utilizadas para establecer los límites de puntuación y cuantificación para la evaluación de la calidad del suelo (Titonell, 2004). Los cambios en la capacidad del suelo para la función, se reflejan en las propiedades del suelo que cambian en respuesta al manejo o al clima (Doran & Safey, 1997).

Índices e indicadores de Calidad del Suelo. Los índices de calidad del suelo son una herramienta útil para evaluar la sustentabilidad del suelo Andrews & Carroll, 2001 y cuantificar la capacidad del suelo para funcionar Seibold, Mausbash, Karlen, & Rogers, 1997. Los índices de calidad son valores base con los cuales se pueden monitorear los cambios que el uso o manejo imprimen sobre la calidad del suelo a través del tiempo, comparando los indicadores obtenidos contra valores de referencia que indican que tan próximo está un suelo de la calidad óptima (Kettler, et al., 2000). Estos valores pueden ser representados en funciones lineales o no lineales, ya que puede modificarse fácilmente y adaptarse a las diferencias del suelo.

Los *índices cualitativos* son subjetivos, pero puede ser más fácilmente valorados y más informativos para el agricultor o la sociedad. Estos se basan en la percepción personal de quien conoce el suelo. Para obtener este índice de calidad se realizan diversos protocolos que recogen las observaciones sensoriales, las cuales se expresan en puntuaciones cuyo promedio es un índice de calidad que puede ser usado para comparar suelos o evaluar el mismo suelo en tiempos diferentes (Harris & Bezdicek, 1994)

Los *índices cuantitativos* pueden ser combinados para obtener un valor integrativo de calidad del suelo, así como una medida del cambio en calidad respecto al tiempo, en



respuesta a prácticas de manejo alternas. Este índice de calidad cuantitativo puede ser desarrollado mediante la integración de una ecuación de propiedades del suelo, factores ambientales, productividad potencial, salud humana y animal, erodabilidad, diversidad biológica, calidad de alimentos o manejo (Parr, et al., 1992)

Un indicador es un instrumento de análisis que permite simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos y se usan en múltiples campos del conocimiento (Adrianse, 1993). Un indicador de calidad del suelo es una propiedad física, química o biológica que puede ser medida cualitativa o cuantitativamente y provee pistas acerca de cómo un suelo funciona (S, 1996). Utilizar todas las propiedades del suelo como indicadores de calidad sería imposible, por ello, es importante hacer primero una identificación y después seleccionar un conjunto mínimo de indicadores para un tipo específico de suelo, que pueda proveer información acerca de que tan adecuadamente esté funcionando (Porta, et al., 1999).

Para determinar el o los indicadores de calidad de un suelo Carter et al (1997), propusieron tomar en cuenta las siguientes consideraciones: Definir la función que el suelo debe cumplir, seleccionar las propiedades y los procesos específicos del suelo que influyan sobre la capacidad del suelo para realizar cada función y seleccionar aquellas propiedades o atributos mensurables que tienen influencia sobre la capacidad del suelo para cumplir la función, que reflejan cambios en los procesos específicos y proporcionen una medida segura de esos indicadores.

Durante las últimas dos décadas, se han generado diversos indicadores de calidad de suelo, que han sido propuestos por diferentes autores Ellos constituyen un conjunto mínimo de datos necesario para la evaluación de sustentabilidad de los agro ecosistemas a través de su componente edáfica (Arshad, et al., 1992).

3.2 REVISION BIBLIOGRAFICA

Se consultan algunas investigaciones relacionadas con la degradación del suelo por manejo, así:

Leyva 2012, evaluaron indicadores de calidad del suelo bajo tres condiciones en el municipio de la natividad, Oaxaca. Los manejos evaluados fueron suelo agrícola, suelo forestal y suelo urbano. Los resultados obtenidos a través de los indicadores de calidad del suelo muestran degradación con niveles 0 y 1.

Miralles 2006, en estudios sobre la calidad de los suelos en ambientes calizos mediterráneo bajo cobertura de bosque encontraron procesos significativos degradación del suelo que permiten verificar la acción de la materia orgánica y los organismos sobre la formación de estructuras estables del suelo para la sostenibilidad de estos medios naturales.



Cantú, Becker, Bedano y Schiavo 2007, desarrollaron y aplicaron un set mínimo de indicadores del recurso suelo para evaluar la calidad del suelo en agroecosistemas con Molisoles. La metodología se probó en una unidad ambiental homogénea con Hapludols típicos, bajo diferentes sistemas de uso y manejo, en una cuenca pedemontana de la provincia de Córdoba. Las propiedades medidas (carbono orgánico, pH, saturación de bases, agregados estables en agua, velocidad de infiltración, densidad aparente y el espesor horizonte) les establecieron rangos de calidad a partir de los cuales se normalizaron los indicadores. Los indicadores seleccionados son un número mínimo de variables con alto grado de agregación, fáciles de medir y repetibles, representando las condiciones locales. Estos indicadores de estado del recurso suelo no son universales, ya que fueron elegidos en función del tipo de ambiente y suelo de la región.

George 2006, identificó las variables físicas, químicas y especies claves del suelo que podrían ser usadas como indicadores de la calidad de los suelos de los cafetales de Turrialba. Bajo las condiciones del estudio, los resultados sugieren que las fincas bajo el manejo orgánico son más propensas para sostener mayor producción biológica y mantener las funciones básicas del ecosistema que las fincas bajo el manejo convencional y de pleno sol.

Cisneros 2006, analizó la variación de la calidad del agua y su relación con los usos de suelo y la época climática en fincas ganaderas de Costa Rica, mediante parámetros físico-químicos y de macroinvertebrados bentónicos, además se monitorearon ocho quebradas y el río Jabonal. La población en la zona de estudio mostró un gran interés por participar en acciones para disminuir los efectos negativos de la actividad ganadera en la calidad del agua y están prestos a recibir apoyo y capacitación sobre este tema.

Alvarez, Osterrieth, Laborde y Montti 2008, evaluaron la estabilidad, la morfología y la rugosidad de distintos tamaños de agregados como indicadores de calidad en Argiudols Típicos del sudeste Bonaerense sometidos a distintos usos de suelo y a distintas intensidades de manejo. Se trabajó con el epipedón mólico de parcelas con distinto uso de suelo: cultivadas, forestadas y naturales. Los resultados mostraron mayor estabilidad en los suelos no laboreados y en los forestados de más de treinta años. En los suelos cultivados y forestados se observaron agregados alargados, cuadrangulares y esféricos, mientras que en los suelos sin laboreo no se presentaron las formas esféricas. La rugosidad de los agregados fue mayor en los suelos sin laboreo, si bien ello varió con el tamaño de los agregados. La estabilidad, morfología y rugosidad de agregados demostraron ser buenos indicadores de calidad de suelos.

López y Lisseth 2012, realizaron análisis multitemporal del uso de suelo de la microcuenca del Río Déleg, analizando los períodos temporales entre 1991 y 2001. Mediante la utilización de herramientas SIG y con la ayuda de Sensores Remotos, fue posible cuantificar dichos cambios. Se utilizó la metodología de las Cadenas de Markov



cuyos resultados fueron validados mediante la construcción de una matriz de confusión. Este estudio determinó la incidencia que tiene el uso de suelo en la calidad ambiental de la microcuenca, para lo cual se establecieron valoraciones territoriales en función al uso de suelo, tomando como indicadores la valoración ecológica, en función a la complejidad del medio en la cual interviene de forma directa el uso de suelo, y la valoración paisajística en función de los parámetros de pendiente, altura y uso de suelo.



4. METODOLOGÍA

4.1 Localización

Los suelos estudiados se localizan en el municipio de Aipe - Huila, en la vereda la Manga y las Parcelas de San Cayetano. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la ubicación general de estos suelos los cuales se diferencian así: suelo con historial de uso intensivo en prácticas agrícolas tradicionales (color rojo), suelo con algunas prácticas de manejo y conservación (color amarillo), Suelo con intervención reciente en cultivos intensivos (color café) y suelo con bosque nativo de galería que se utilizó como testigo (color verde).

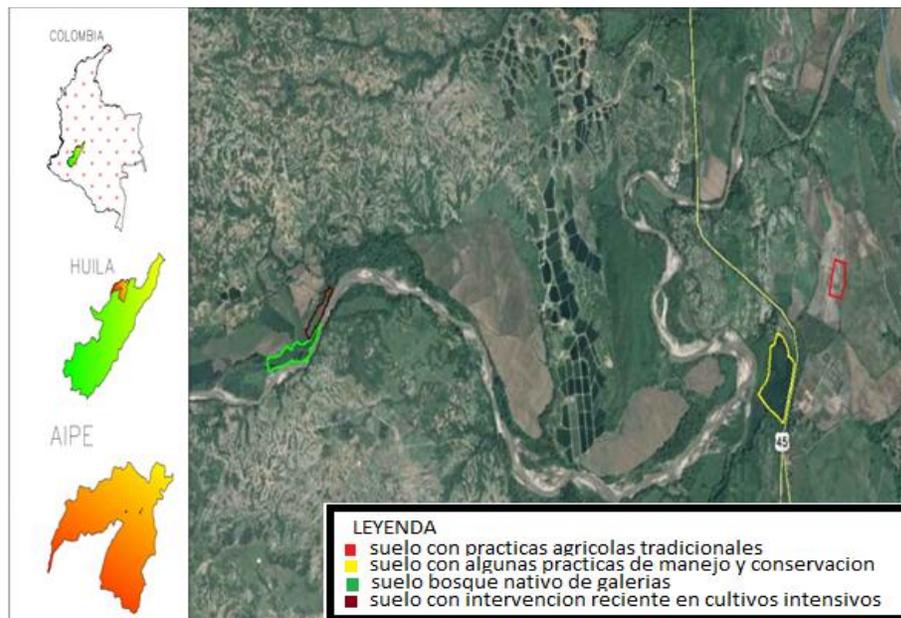


Imagen 1. Foto aerea con localización del proyecto

La ubicación de los suelos estudiados se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y sus coordenadas en el sistema MAGNA-SIRGAS tipo plana Gauss-Krueger se muestran en la tabla 1.

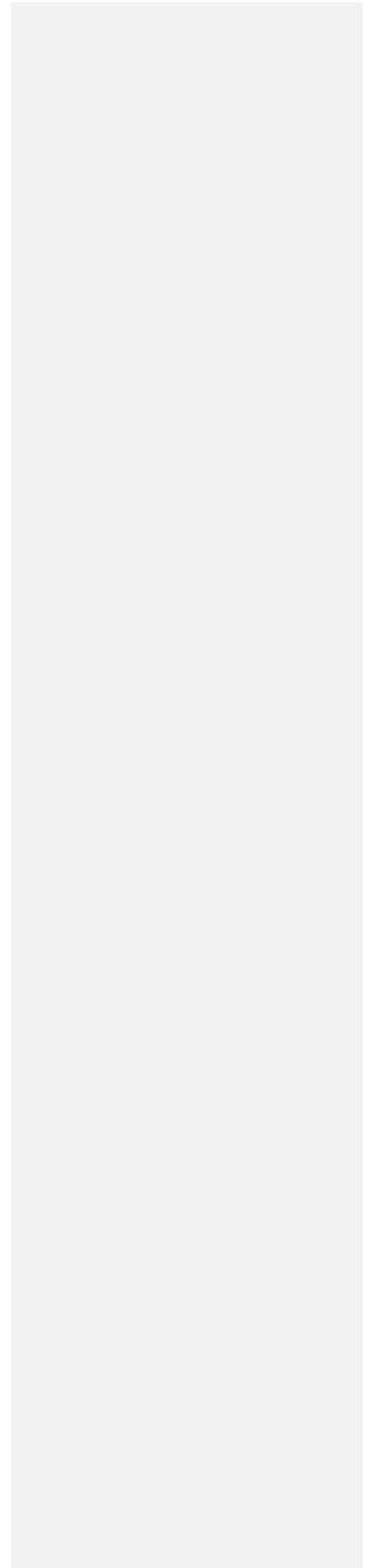
Tabla 1 coordenadas de los suelos estudiados

| SUELO | SITIO | NORTE | ESTE | ELEVACIÓN (msnm) |
|-------|-------|------------|------------|---------------------|
| 1 | PAT | 852263.311 | 870860.408 | 429.672 |
| 2 | PMC | 851308.442 | 870349.739 | 410.735 |
| 3 | IRCI | 851857.611 | 865959.214 | 425.654 |



| | | | | |
|---|-----|------------|------------|---------|
| 4 | BNG | 851747.088 | 865894.227 | 427.661 |
|---|-----|------------|------------|---------|

PAT: Prácticas Agrícolas Tradicionales; PAMC: Algunas Prácticas de Manejo y Conservación; IRCI: Intervención Reciente en Cultivos Intensivos; BNG: Bosque Nativo de Galerías





EVALUACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES HIDROFÍSICAS DE SUELOS BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE MANEJO Y CONSERVACIÓN

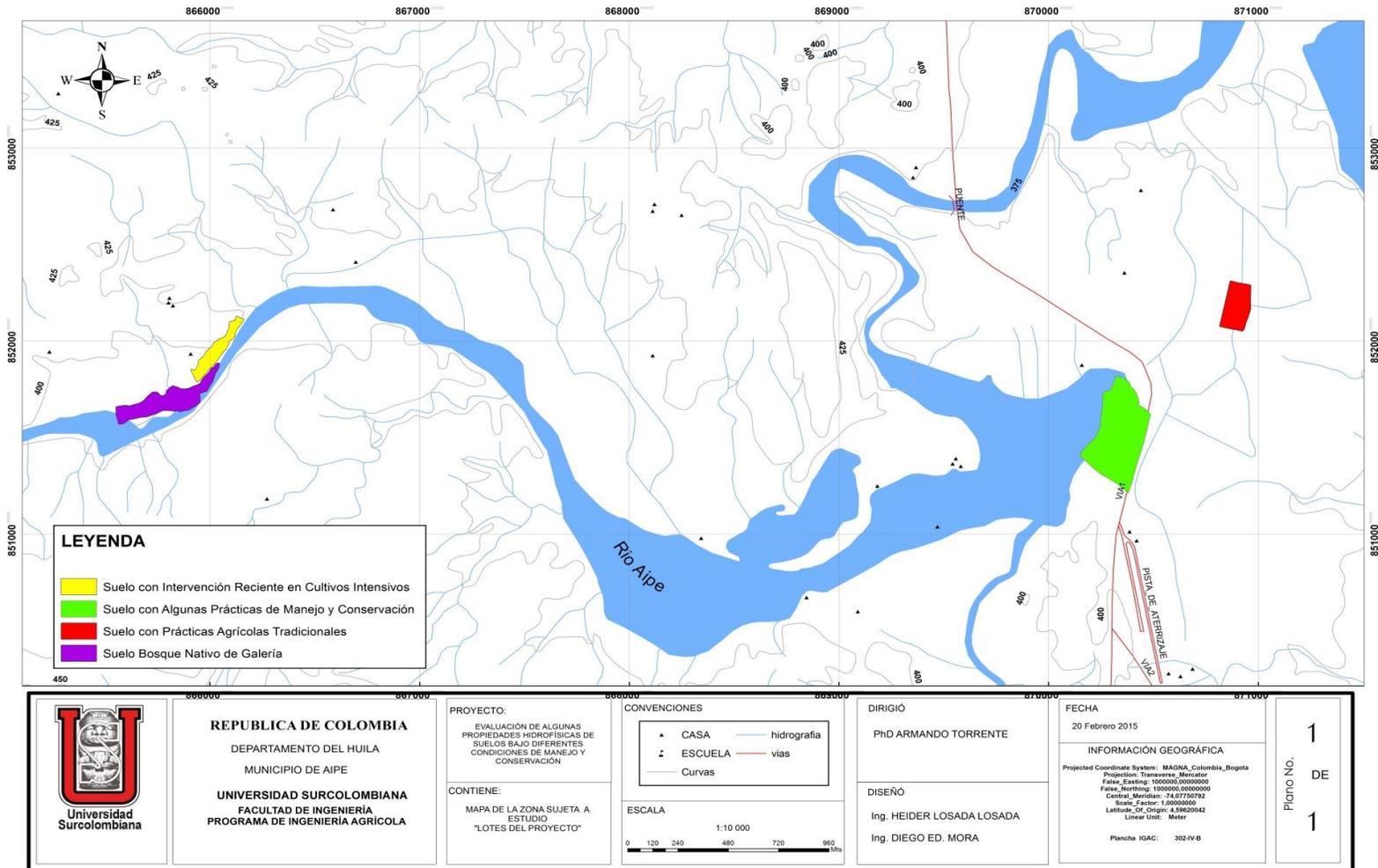


Imagen 2. Mapa de unidades cartográficas de los suelos en estudio



4.2 Geomorfología

La estructura geológica del área está fuertemente ligada a la evolución de las cordilleras Central y Oriental. Por tales razones se encuentra un paisaje con gran diversidad, variación en los tipos de relieve y en litología; también son variables los suelos en su estructura, su textura y niveles de fertilidad. La fuerte actividad tectónica que dio origen a las cordilleras deja como resultado una gran variedad geomorfológica, con relieves planos a escarpados, así como una abundante presencia de fallas geológicas que son el resultado de la actividad sísmica y volcánica (EPA S.A. E.S.P, 2013). Las áreas de estudio se localizan en el cono de deyección de la Cuenca del Rio Aipe en el cual se encuentran extensas coberturas de sedimentos cuaternarios. En estas zonas el río ha llegado a su madures, es la parte donde la topografía de la cuenca presenta las menores pendientes, por lo general es llana, es zona de desbordamientos y la desembocadura a la cuenca del rio Magdalena.

4.3 Métodos de Estudio

4.3.1 Selección de las Áreas de Estudio

Recopilación de la información: Se consultó información de la zona de estudio como son los mapas de suelos y geología, Capacidad de Uso y Regiones Fisiográficas, entre otros en el POT del municipio de Aipe, en la CAM, el IGAC y la USCO.

Selección de suelos y antecedentes de manejo: Para hacer una buena comparación entre diferentes tipos de manejo del suelo en actividades agrícolas, se seleccionaron cuatro suelos así: Suelo con historial de uso intensivo en prácticas agrícolas tradicionales, suelo con algunas prácticas de manejo y conservación, suelo con intervención reciente en cultivos intensivos y suelo con bosque nativo de galería (testigo).

Los suelos seleccionados correspondan a la misma consociación. Además se hizo la búsqueda de información histórica de los suelos seleccionados, para lo cual se abordaron propietarios, arrendatarios, mayordomos y obreros. A estas personas se les aplicó una encuesta debidamente preparada y de esta manera se recolectó la información sobre los antecedentes de uso y manejo, como de las distintas prácticas a que han sido sometidos.

Se georreferenciaron los sitios de muestreo, se tomaron muestras con barreno holandés y se hicieron mediciones con el permeámetro de Guelph obteniendo la Permeabilidad, la Sortividad y el flujo de potencial matricial. Además se describieron los perfiles de suelo (textura, estructura, profundidad efectiva, color, densidad, porosidad, etc.) en cajuela de 40 x 40 x 40 cm, del cual se extrajeron muestras para el laboratorio. Además se realizó una caracterización biofísica y socioeconómica de la zona de estudio.



4.3.2. Descripción de los Perfiles de Suelo

Para la descripción del suelo y del perfil de suelo se siguió la metodología USDA 2004, que consiste en excavar una cajuela y resaltar la variabilidad de los horizontes de suelo para obtener la mayor información. Las características descritas del perfil de suelo fueron las siguientes:

- *Profundidad y espesor del suelo por horizontes*
- *Color del suelo.* El color se determinó en húmedo y en seco con las cartas Munsell.
- *Pedregosidad:* Expresa la proporción de elementos gruesos (mayores de 2 mm) que se hallan en el perfil, los cuales fueron evaluados en cuanto a cantidad, tamaño, forma y litología.
- *Consistencia.* La consistencia se determinó por el método organoléptico en seco (para evaluar la compacidad), en húmedo (para determinar la plasticidad, friabilidad y dureza) y en saturado (para evaluar la adhesividad).
- *Estructura.* La estructura del suelo se evaluó con base al grado de desarrollo, la forma y el tamaño de las estructuras (organoléptica).
- *Porosidad.* La porosidad del suelo se determinó mediante la observación directa de los agregados y la presencia de poros y grietas (organoléptica).
- *Permeabilidad.* Se utilizó el permeámetro de Guelph y comparando las velocidades de infiltración en términos de clases relativas de permeabilidad, considerando su estructura, textura, porosidad, arreglo de las grietas y otras características observables. Las clases relativas de permeabilidad utilizadas fueron muy lenta, lenta, moderadamente lenta, moderada, moderadamente rápida, rápida y muy rápida según NRCS (1999) y FAO (2009).
- *Actividad biológica y humana.* Se identificó la naturaleza de la actividad humana mediante la presencia de relictos, objetos, residuos sólidos urbanos; de la actividad de la fauna en la formación de cámaras, cavidades, galerías y de la actividad de la flora en la conformación del sistema radicular, considerando orientación, distribución, cantidad y tamaño de las raíces. También se inspeccionaron micelios de hongos.

4.3.3 Muestreo

Una vez descrito el perfil se tomó una muestra por horizonte (2 kg de suelo), para los análisis físicos y químicos en el laboratorio como se muestra en la ilustración 2.

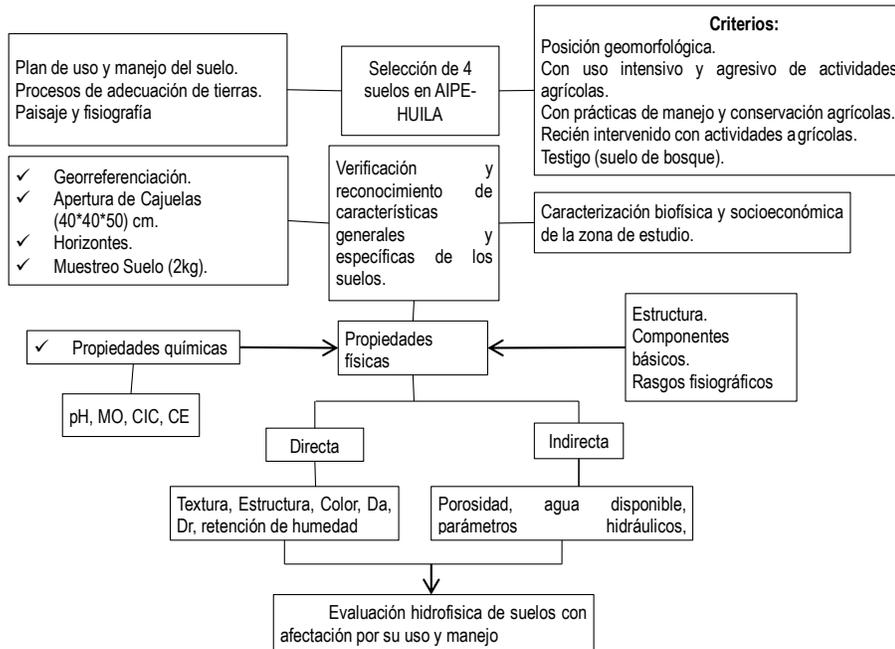


Ilustración 2 metodología de estudio

4.3.4 Pruebas de Laboratorio:

Las muestras de suelo se secaron al aire bajo sombra y una vez secas, se deshicieron los agregados más grandes, cuidando de no fragmentar las partículas minerales del suelo. Cuando los agregados estuvieron más pequeños, se utilizó un mazo de madera para desagregarlos hasta hacerlos pasar por una malla de 2 mm de diámetro (10 ASTM), a esta última se le realizaron los análisis físicos y químicos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En la ilustración 2 se muestra el proceso metodológico para el alcance de los objetivos del estudio.

4.3.5 Interpretación de Propiedades y Procesos

Una vez obtenidos los datos de campo y de laboratorio, éstos se interpretaron para ser edafológicamente comparados entre sí, para obtener las propiedades y procesos que indican diferencias en la calidad del suelo; verificando el manejo y la conservación de estos suelos en el municipio de Aipe.



Tabla 2 Parámetros físicos y químicos con la metodología utilizada

| ANÁLISIS FÍSICOS | |
|-----------------------------------|--|
| PARÁMETRO | METODO |
| Humedad a CC y PMP | Equipo de presión membranas de Richard |
| Textura | Bouyoucos |
| Conductividad hidráulica saturada | Permeámetro de Guelph |
| Estabilidad estructural | Yoder |
| Densidad Aparente | Cilindro de Volumen Conocido |
| Densidad Real | Picnómetro |
| ANÁLISIS QUÍMICOS | |
| PARÁMETRO | METODO |
| Conductividad eléctrica | NTC 5596 |
| Materia orgánica | NTC 5268 modificado |
| Carbono orgánico | NTC 5403 |
| pH | NTC 5264 |

4.3.6 Listado de Propiedades del Suelo que Indican Calidad

Ya identificadas las propiedades y los procesos que indican diferencias en la calidad de los suelos, se realizó una lista ordenada de dichas propiedades con sus valores respectivos. Esta lista permitió visualizar la tendencia de los datos de cada propiedad, y se determinó con un criterio edafológico, si el valor de una propiedad específica comparativamente, indicaba el tipo general de función de conteo siguiente:

- **Más es mejor:** los valores más altos significan una calidad del suelo más alta.
- **Menos es mejor:** los valores más altos significan más alta calidad del suelo.

4.3.7 Obtención de Índices y Cuantificación de la Calidad Global de los Suelos

Establecidas las funciones de conteo, se convirtieron los valores de las propiedades (éstas tienen unidades diferentes) a valores sin unidades (números índice), para cuantificar la calidad global de los suelos. Un índice es una función matemática sintetizadora (EE.UU, 1994), que se utiliza para resumir información compleja sobre un fenómeno a estudiar, con el objeto de detectar rápidamente cambios dentro de un sistema (Titonell, 2004)

Para obtener los índices se empleó un procedimiento de estandarización simple, de manera que el número base fuera 1; es decir, el rango de índices va de 0 a 1, para detectar que tanto una variable cambia con respecto a otra, y para convertir los valores de calidad a porcentaje.

Una vez determinada la calidad global de los suelos, en base a las propiedades morfológicas y de laboratorio que indicaron diferencias en la calidad, se procedió a determinar el grado de similitud entre los suelos; para esto se utilizó el paquete estadístico XLSTAT versión 2015, una Clasificación Ascendente Jerárquica (CAJ), que reagrupó a los suelos de acuerdo con los valores de sus propiedades y mostró la gran variabilidad entre los



mismos. Para determinar la variabilidad de los suelos y eliminar posibles confusiones o redundancias entre las propiedades analizadas y obtener las correlaciones, se realizó un análisis factorial para confirmar y explicar las diferencias entre los suelos estudiados.

4.3.8 Selección de un Conjunto Mínimo de Datos (CMD)

Determinada la calidad global de los suelos y establecidas sus diferencias, se seleccionaron de todo el conjunto de propiedades aquellas más sensibles al cambio en la función del suelo, para regular y distribuir agua. Como primer paso, se realizó dicha selección utilizando la matriz Función del Suelo-Indicador, diseñada por el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NCRS), que muestra la relación directa que existe entre la función del suelo, y las propiedades sensibles a los cambios de calidad, y propone las propiedades dinámicas con mayor peso, para determinada función del suelo.

Comentario [L1]: Servicio de conservación de los recursos naturales

Como segundo paso, se confirmó que la selección de las propiedades más sensibles estuviera en lo correcto, por medio de un análisis de correlación de Pearson, realizado con el paquete estadístico **XLSTAT** (2015). Se seleccionaron las propiedades que tuvieron mayor número de correlaciones entre sí, con significancia de $\alpha=0.05$.

Como tercer paso, mediante un análisis factorial con el paquete estadístico **XLSTAT** (2015), se obtuvo la carga factorial de cada propiedad y se otorgó a cada una el peso o importancia real, correspondiente. Las propiedades dinámicas que tuvieron el mayor peso factorial, fueron las seleccionadas para conformar el conjunto mínimo de indicadores de calidad.



5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Descripción de Suelos

Suelo 1. Prácticas Agrícolas Tradicionales. La fisiografía del paisaje se caracteriza por drenaje sencillo, relieve en terraza aluvial con pendiente del 4%, la morfología del suelo es suave, con una temperatura media anual superior a 24°C, precipitación media anual de 1.178 mm y régimen de lluvias bimodal, con dos periodos que se pueden considerar secos en consecuencia a los bajos niveles de precipitación media anual, el primero se inicia históricamente a mediados del mes de diciembre y se extiende hasta mediados de marzo; el segundo que es aún más seco, inicia a mediados de junio y se extiende hasta mediados de septiembre. Por consiguiente los periodos lluviosos van desde mediados de marzo, incrementándose en abril y mayo, disminuyendo la intensidad, pero la precipitación constante se extiende hasta mediados del mes de junio; el segundo periodo deja crecer su intensidad desde mediados de septiembre y tiene su pico medio histórico en noviembre; la zona de vida es clasificada por Holdrige como Bosque seco Tropical (bs-T), no se encuentra nivel freático, es pegajoso y plástico (anexo A).

La disponibilidad de agua para estos terrenos viene del canal La Manga que capta las aguas del río Aipe y consta de 4.2 km de longitud, el caudal asignado por la CAM en la resolución 3408 del 28 de diciembre del 2009 es de 52,52 lps a la Granja Experimental de FEDEARROZ.

La zona es reconocida por los habitantes del municipio de Aipe ya que es fuente de empleo en labores de campo por más de 45 años, ayudando al déficit económico del municipio. En su historial la tenencia del terreno perteneció primeramente a parceleros del municipio luego a un agricultor que compro varias hectáreas de la zona, y actualmente el dueño del terreno es FEDEARROZ. Los Primeros dueños campesinos de la zona aplicaban técnicas tradicionales de siembra como quemas para eliminar malezas, utilización de rastra y rastrillos intensiva entre cada cosecha, mal manejo de aguas, el uso intensivo de herbicidas y plaguicidas agrícolas sin un criterio técnico debido problemas graves como es la presencia del arroz rojo y el enmalezamiento de los lotes, los fertilizantes químicos son utilizados con excesiva frecuencia.

El propietario actual, ha disminuido la intervención al terreno y proyectado mejores técnicas agrícolas que vienen teniendo efectos positivos pero que no han logrado disminuir en gran medida los dañinos efectos de una agricultura intensiva. Históricamente el uso intensivo de agroquímicos unido a los proveedores del crédito que están aliados a casas comerciales hace que los porcentajes de ganancias sean muy bajos y estén los agricultores siempre ligados a estos proveedores para conseguir cultivar sus tierras (imagen 3).



Imagen 3 suelo con prácticas agrícolas tradicionales

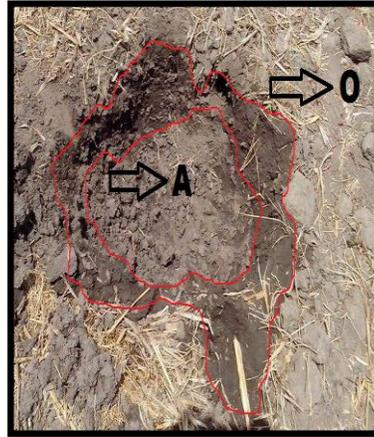


Imagen 4 Descripción suelo con prácticas agrícolas tradicionales cajuela

La imagen 4 muestra que la capa orgánica presenta hojas, tallos y fragmentos de raíces del cultivo del arroz, con una estructura poco reconocible, sus elementos gruesos son muy notorios, su consistencia tiende a ser compacta, su textura es franco arenosa y los poros son finos (anexo A). Los elementos gruesos son angulares (sin transporte), y su proporción y distribución en el perfil, fue considerada suficiente para no alterar las funciones del suelo lo cual la tierra fina (< 2 mm) promedio es de 63% y fragmentos gruesos (>2mm) promedio es de 37% (anexo A).

Suelo 2. Algunas Prácticas de Manejo y Conservación. La fisiografía del paisaje se caracteriza por un drenaje sencillo, un relieve normal situado en una terraza aluvial, y una pendiente del 4%, la morfología del suelo es suave, con una temperatura media anual superior a 24°C, precipitación media anual de 1.178 mm y régimen de lluvias bimodal, con dos periodos que se pueden considerar secos en consecuencia a los bajos niveles de precipitación media anual; el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación (imagen 5) tiene en producción un cultivo de algodón. Sobre el terreno hay presencia de diversos árboles y arbustos nativos de la zona, usados como barreras vivas (Anexo B)

En su historial la tenencia del terreno perteneció primeramente a parceleros del municipio luego a un agricultor que compro varias hectáreas de la zona, actualmente el dueño del terreno es de la familia Cardoso. Los primeros poseedores tenían este suelo como bosque nativo de galerías, el segundo poseedor intervino el suelo desarrollando prácticas agrícolas intensivas y el último propietario ha realizado una intervención agrícola, utilizando algunas prácticas de manejo y conservación del suelo aproximadamente hace 10 años. En consecuencia ha disminuido el deterioro al terreno y proyectado mejores técnicas agrícolas que vienen teniendo efectos positivos pero que no han logrado disminuir en gran



medida los dañinos efectos de una agricultura intensiva (imagen 5). La capa orgánica que se muestra en la imagen 5 contiene hojas, ramas de algodón en proceso de desintegración y la imagen 6 muestra los elementos gruesos en forma subangular, su consistencia es compacta ligeramente adherente, su grado desarrollo considerado muy débil (anexo B). En el sustrato se encontraron algunos microorganismos como la lombriz.



Imagen 5 suelo con algunas prácticas de manejo y conservación



Imagen 6 suelo de manejo y conservación con la diferencia de los perfiles

Los elementos gruesos encontrados fueron tanto angulares (sin transporte), y su proporción y distribución en el perfil, fue considerada suficiente para no alterar las funciones del suelo lo cual la tierra fina ($< 2 \text{ mm}$) promedio es de 55% y fragmentos gruesos ($> 2 \text{ mm}$) promedio es de 45%; como se puede observar en el anexo B.

Suelo 3. Con intervención reciente en cultivos intensivos. La fisiografía del paisaje se caracteriza por drenaje sencillo, relieve plano situado en una terraza aluvial, la morfología del suelo es suave, con temperatura media anual superior a 24°C , precipitación media anual de 1.178 mm y régimen de lluvias bimodal, con dos periodos secos. El uso principal es el cultivo de arroz., hay presencia de diversos árboles y arbustos nativos de la zona como barreras vivas (imagen 7).

El suelo de muestreo (imagen 8), se encuentra en una parcela agrícola en producción de la familia Dussan la cual ha aumentado la intervención al terreno y realizando malas técnicas agrícolas que vienen obteniendo efectos negativos en el suelo.

Los elementos gruesos encontrados fueron tanto angulares (sin transporte), y su proporción y distribución en el perfil, fue considerada suficiente para no alterar las funciones del suelo lo cual la tierra fina ($< 2 \text{ mm}$) promedio es de 57% y fragmentos gruesos ($> 2 \text{ mm}$) promedio es de 43% (anexo C).



Imagen 7 Suelo con intervención reciente en cultivos intensivos

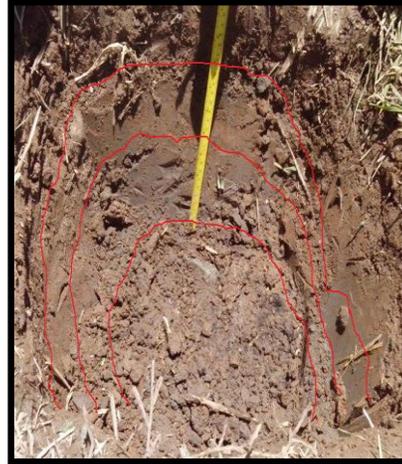


Imagen 8 perfil del suelo con intervención reciente en cultivos intensivos

En su historial el suelo perteneció primeramente a terratenientes luego pasó a manos de parceleros y hace aproximadamente cinco años la familia Dussan intervino el bosque nativo para hacer agricultura intensiva.

En la cajuela se pudo observar una capa orgánica que presentan hojas y raíces que son residuos del cultivo del arroz, además se puede notar elementos gruesos en forma subangular, que contiene una consistencia poco compacta, ligeramente plástica (anexo C).

Suelo 4. Bosque Nativo de Galería. La fisiografía se caracteriza por drenaje sencillo, un relieve normal situado en una terraza aluvial, y una pendiente del 5%, la morfología del suelo es suave, el material de origen del suelo es roca sedimentaria, la que se puede ver en afloramientos dispersos desde diámetros de 8 cm; con una temperatura media anual superior a 24°C, precipitación media anual de 1.178 mm y régimen de lluvias bimodal, con dos periodos. Esta zona es reconocida como la más conservada ya que se encuentra en la rivera del río Aipe. La representación del suelo se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Es una zona que presenta vegetación de enredaderas, Guácimos y Dindes. Actualmente se realiza aprovechamiento de leña.

La materia orgánica consiste en fragmentos de hojas y raíces como se muestra en la imagen 10, se observa elementos gruesos de forma subangular, su consistencia es ligeramente adherente y muy friable (anexo D).



Imagen 9 suelo bosque nativo de galerías



Imagen 10 Perfil del suelo bosque nativo de galerías

Los elementos gruesos encontrados fueron tanto angulares (sin transporte), y su proporción y distribución en el perfil, fue considerada suficiente para no alterar las funciones del suelo lo cual la tierra fina (< 2 mm) promedio es de 67% y fragmentos gruesos (>2mm) promedio es de 33%; como se puede observar en el anexo D

5.2 Interpretación de componentes

Se interpretaron algunos componentes morfológicos, hidráulicos, físicos y químicos obtenidos y se compararon los suelos evaluados.

• Componente morfológico

Tabla 3 componente morfológico de los suelos estudiados

| ATRIBUTO | PAT | PAMC | IRCI | BNG | |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| Ho(cm) | O | 0-4 | 0-7 | 0-6 | 0-12 |
| | A | 4-40 | 7-16 | 6-18 | 12-20 |
| | B | - | 16-20 | 18-40 | 20-40 |
| | BI | - | 20-40 | - | - |
| relieve | terrazza | terrazza | terrazza | terrazza | |
| Pendiente (%) | 4,00 | 4,00 | 0,00 | 5,00 | |
| Material parental | sedimentario | sedimentario | sedimentario | sedimentario | |
| paisaje | valle | valle | valle | valle | |
| Nivel freatico | no | No | no | no | |

PAT=prácticas agrícolas tradicionales; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; IRCI=intervención reciente en cultivos intensivos; BNG=bosque nativo de galerías

Suelo 1 con prácticas agrícolas tradicionales presentó un horizonte O, en el que predominan fragmentos de raíces del cultivo de arroz, parcialmente descompuestos, estos



fragmentos orgánicos corresponden al monocultivo que soporta el suelo. Las características de este horizonte O del suelo con prácticas tradicionales, corresponde a las presentadas en el horizonte O del suelo con intervención reciente de cultivos intensivos.

Es importante señalar que la presencia de un horizonte A bajo un horizonte O, aparentemente indicaría la presencia de un suelo natural de poco desarrollo, solo afectado en la superficie; sin embargo se observó un suelo completamente modificado por la actividad agrícola.

Suelo 2 con algunas prácticas de manejo y conservación generalmente es normal la presencia de un horizonte orgánico O con material proveniente de la vegetación que interactúa, y no es común encontrarlo en los suelos con prácticas agrícolas tradicionales. Y, aunque en el suelo con prácticas agrícolas tradicionales, los fragmentos orgánicos no corresponden a la vegetación que soporta, esta capa O cumple las funciones de protección de la superficie, e incorporación de materia orgánica al perfil.

En este suelo se encontró un horizonte A con mejor desarrollo pedológico frente a los otros suelo, esta diferencia puede deberse a que en este se presentan buenas prácticas agrícolas, entre las cuales la poca utilización de maquinaria agrícola pesada. El horizonte B tiene un espesor, bastante grande y se subdividió en dos horizontes, B y B1, este horizonte posee una combinación de estructura de bloques angulares y subangulares, con un grado de desarrollo que va de moderado a fuerte, propiedad que se relaciona con el alto contenido de arcillas.

Suelo 3 con intervención reciente de cultivos intensivos (Arroz) se encuentra residuos de la deforestación, y otra parte se encuentra intercalado de manera antropogénica, los restos de la primera cosecha, acomodado por el hombre. Este hecho evidencia la conformación natural del suelo y confirma la remoción y acomodo de materiales que ha ocurrido en este suelo, y la completa destrucción del bosque nativo por acciones de producción agrícola.

En el espesor del horizonte B es importante para el almacenamiento del agua y la provisión de nutrientes para el crecimiento de las plantas, se encontró que este horizonte está presentando los primeros síntomas negativos en las propiedades hidrofísicas, reduciendo sus capacidades naturales. La diferencia de espesores entre los horizontes B, marca una diferencia importante en la calidad de los suelos estudiados.

En el suelo 4 bosque nativo de galerías, el horizonte A propició la formación de bloques subangulares, la presencia de terrones muy poco compactos, muestran un horizonte muy perturbado, con gran pérdida de materiales finos. Por otro lado, el suelo en el horizonte B en su lugar se aprecia una capa de espesor de material fino y lo que reconfirma que este es un suelo que ha sufrido un lavado continuo. En este trabajo esta capa superficial se identificó como horizonte en A, por corresponder entre los espacios más grandes, entre



las piedras, se fue acomodando material de diámetro menor, el cual presenta una textura franco arenosa, lo que indica una fuerte pérdida de arcilla.

Componente Físico

Tabla 4 componente físico de los suelos estudiados

| ATRIBUTO | | PAT | PAMC | IRCI | BNG | |
|---|---------------|----------|------------|------------|-------------|-------|
| Arcilla (%) | | 25,5 | 23,1 | 27 | 15,6 | |
| Limo (%) | | 26,2 | 17,5 | 32 | 21,7 | |
| Arena (%) | | 48,3 | 59,5 | 41,1 | 62,8 | |
| Textura | | FArA | FArA | F | FA | |
| Densidad aparente (gr/cm ³) | | 1,6 | 1,6 | 1,4 | 1,5 | |
| densidad real (gr/cm ³) | | 2,2 | 2,5 | 2,1 | 3,2 | |
| Porosidad (%) | | 31,3 | 32,1 | 35,6 | 41,9 | |
| DPM(índice) | | 0,1 | 1,2 | 1,3 | 0,1 | |
| DGM(índice) | | 0,8 | 1,5 | 2,6 | 0,7 | |
| color seco | O | 5YR2.5/1 | 5YR5.5/1 | 5YR5.5/1 | 5YR5.5/1 | |
| | A | 10YR5/3 | 10YR5/6 | 10YR4/4 | 10YR5/3 | |
| | B | - | 10YR 3.5/3 | 10YR 3.5/3 | 10YR 3. 5/3 | |
| | B1 | - | 10YR 6/3.5 | - | - | |
| color húmedo | O | 5YR2.5/1 | 10YR2/2 | 10YR2/2 | 10YR2/2 | |
| | A | 10YR3/2 | 10YR3/2 | 10YR3/4 | 10YR3/4 | |
| | B | - | 10YR 6.5/3 | 10YR 6.5/3 | 10YR 6. 5/3 | |
| | B1 | - | 10YR 4.5/4 | - | - | |
| Retención de Humedad | presión (bar) | 0,25 | 23,95 | 18,3 | 31,15 | 24,4 |
| | | 0,5 | 22,1 | 17,5 | 29,05 | 18,23 |
| | | 1 | 17,15 | 14 | 25,25 | 16 |
| | | 3 | 17 | 11 | 19,25 | 10,25 |
| | | 5 | 10,05 | 10 | 16,25 | 9,75 |
| | | 13 | 9,5 | 9,1 | 14,1 | 8,95 |

BNG=bosque nativo de galerías; PAT= prácticas agrícolas tradicionales; IRCI= intervención reciente en cultivos intensivos; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; F=franco; Ar=arcilloso; A=arena.

Suelo1 En el suelo con prácticas agrícolas tradicionales, el contenido de arcilla en la profundidad fue baja, lo que se muestra un comportamiento textural (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) que tienen los suelos que poseen un horizonte argílico (con arcilla iluviada), que indicaría que podría tratarse de un vertisol. La textura del suelo es franco arcillo arenoso; indicando un suelo moderadamente pesado, incrementando la fracción sólida de las arenas señalando una baja capacidad de retención de humedad, baja capacidad de suministro de agua, susceptibilidad al encostramiento superficial y la erosión

Muestra una diferencia de densidad aparente con el valor ideal de 0.2 g/cm^3 , lo que quiere decir, que dicho suelo presenta procesos de compactación, ocasionando un déficit en el crecimiento radicular de la planta.



El suelo posee una porosidad moderadamente muy baja, debido al alto porcentaje de arenas, lo que explica su alto valor de densidad aparente, lo que indica un problema de compactación y por lo tanto una reducción del espacio poroso; esto trae consecuencias y restricciones en el crecimiento radicular. El dpm indica que es un suelo inestable y el dgm ligeramente estable, estos resultados indican que este suelo no posee capacidad para resistir una degradación estructural inmediata por el cual tiene una baja resiliencia, es decir cierta incapacidad de recuperar su estructura original.

Suelo 2. En el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación, su clase textural es un franco arcillo arenoso, el cual muestra un comportamiento de arenas superior lo cual demuestran que los medios internos y externos del suelo no afectan al desarrollo de la planta, desde la germinación hasta la maduración fisiológica; esto se corrobora con el crecimiento que ha tenido el algodón en su proceso de producción.

En este suelo se muestra un leve aumento en el contexto de producción agrícola en donde se ve reflejado una aceptación de nutrientes necesarios para el crecimiento vegetativo de la planta. Este suelo, posee una clasificación de porosidad baja; esto trae como consecuencia restricciones del crecimiento radicular. El dpm y el dgm con una interpretación ligeramente estable lo cual indica que este suelo está en vulnerabilidad debido a la baja estabilidad estructural ya que cualquier efecto de fuerza disruptiva puede ocasionar la incapacidad de recuperar su estructura original.

Suelo 3 en el suelo con intervención reciente de cultivos intensivos se tiene que el comportamiento textural es franco esto representa un mayor dinamismo hidromecánico que el suelo con prácticas agrícolas tradicionales, ya que presenta unas condiciones en términos generales para la actividad agropecuaria.

Este suelo no sufre compactación, ayudando a un crecimiento de raíces óptimas. Por esta razón la densidad aparente se considera un indicador de la calidad de los suelos estudiados. La porosidad muy baja sin embargo, el alto porcentaje de arena, elementos gruesos y pedregosidad permite una macro porosidad predominante. El dpm y el dgm es aceptable ya que nos indica que el suelo está moderadamente estable, es decir que tiene una buena calidad de espacio poroso así mismo una buena infiltración, ayudando a la distribución de las raíces.

Suelo 4 En el suelo bosque nativo de galerías el comportamiento textural es franco arenoso, lo cual demuestra que se encuentra en un continuo lavado por los efectos del río Aipe. Este suelo no sufre compactación ayudando a un crecimiento de raíces óptimas. Por esta razón la densidad aparente se considera un indicador de la calidad de los suelos estudiados.

La porosidad de este suelo es del criterio bajo ya que se encuentra en una zona que no ha sido explotada por el ser humano, lo cual nos indica que el agua es aprovechada. El dpm y dgm dio inestable debido a que esta zona sufre de inundaciones continuas del río Aipe.



- **Componente Hidráulico**

Tabla 5 componente hidráulico de los suelos estudiados

| ATRIBUTO | PAT | PAMC | IRCI | BNG |
|--|----------|----------|----------|----------|
| Conductividad hidráulica (cm/min) | 1,14E-03 | 8,76E-03 | 4,65E-03 | 5,51E-03 |
| potencial mátrico (cm ² /min) | 2,34E-03 | 1,22E-03 | 1,94E-03 | 2,55E-03 |
| Sortividad (cm*h ^{-1/2}) | 0,83 | 0,85 | 0,90 | 0,87 |
| velocidad infiltración (cm/min) | 48,4 | 159,4 | 42 | 12,5 |

BNG=bosque nativo de galerías; PAT= prácticas agrícolas tradicionales; IRCI= intervención reciente en cultivos intensivos; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación

Suelo 1 prácticas agrícolas tradicionales tiene una conductividad hidráulica con una interpretación de moderadamente lenta lo cual indica que este suelo tiene insuficiencias en la conducción de agua en el medio poroso. El potencial mátrico tiende a ser baja lo que demuestra que su absorción y capilaridad son muy deficientes, ocasionando que el flujo del agua sea lento, la sortividad es baja ya que su habilidad que tiene el suelo de absorber agua durante el proceso de humedecimiento, la velocidad de infiltración es moderadamente lenta lo cual indica que el flujo del agua es aprovechada por las raíces. En general el suelo no está en capacidad de retener una cantidad necesaria de volumen de agua que puede ser aprovechada por el cultivo.

Suelo 2 algunas prácticas de manejo y conservación tiene una conductividad hidráulica con una interpretación de moderadamente lenta, lo cual indica que tiene pérdidas de conducción de agua en el medio poroso. El potencial mátrico es moderadamente bajo. La sortividad es moderadamente baja indicando que su absorción está en el rango de aprovechamiento. La velocidad de infiltración en su interpretación es lenta lo que indica que se puede tener encharcamientos en algunas zonas del suelo. Este suelo por sus características hidráulicas es considerado como normal para la retención de agua en el suelo.

Suelo 3 el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos tiene una conductividad hidráulica moderadamente lenta lo cual indica que tiene pérdidas de conducción de agua en el medio poroso, esto a su vez se refleja en la deforestación que se hizo en este suelo pasando a un suelo de producción agrícola afectando su flujo hidráulico. El potencial mátrico es moderadamente bajo lo cual ratifica que su absorción y capilaridad son normales en la producción agrícola. La sortividad es moderada indicando que su absorción es normal, la velocidad de infiltración es moderadamente lenta, lo cual indica que el agua es más lenta al pasar por el interior del suelo donde se puede aprovechar por las raíces. Este suelo por sus características hidráulicas es moderado en sus mecanismos de retención de agua en el suelo.



Suelo 4 el suelo bosque nativo de galerías de la zona tiene una conductividad hidráulica con una interpretación moderada lo cual indica que tiene buena conducción de agua en el medio poroso. El potencial matricio es moderado ratificando que su absorción y capilaridad sean mejoradas frente a los otros tres suelos descritos. La sortividad es moderadamente bajo indicando que su absorción está en el rango de aprovechamiento. Este suelo por sus características hidráulicas es normal para la retención de agua en el suelo.

- **Componente químico**

Tabla 6 componente químico de los suelos estudiados

| ATRIBUTO | PAT | PAMC | IRCI | BNG |
|--------------------------------------|-------|-------|------|------|
| pH(índice) | 6,5 | 7,3 | 6,5 | 6,9 |
| Conductividad eléctrica(μ S/cm) | 130,5 | 555,8 | 190 | 315 |
| CIC (meq/100gr) | 14 | 14,6 | 13,7 | 12,1 |
| Materia orgánica (%) | 0,6 | 1,6 | 1,4 | 1,2 |
| Carbono orgánico (%) | 0,4 | 0,9 | 0,8 | 0,7 |

BNG=bosque nativo de galerías; PAT= prácticas agrícolas tradicionales; IRCI= intervención reciente en cultivos intensivos; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación

Suelo 1 suelo con prácticas agrícolas tradicionales tiene un pH ligeramente ácido lo que indica que está asociado a la agregación de fertilizantes y lixiviación de sustancias que contienen azufre. La mayor parte de los minerales son más solubles que en suelos neutros o ligeramente básicos. Esta característica hace posible un exceso de Co, Cu, Fe, Mn y Zn, y deficiencia de Ca, K, N, Mg Mo, P y S, la conductividad eléctrica tiende a que el suelo tenga un rango no salino esto indica que sus características no se ven afectados, la capacidad de intercambio catiónico en su interpretación es baja lo cual indica que tienen una disminución en retener y aportar nutrientes de cargas positivas, llamados cationes, los resultados de materia orgánica y carbono orgánico demuestran que este suelo está en un déficit para resistir todas las formas de degradación y, especialmente la erosión de acuerdo a esto su producción agrícola se ven influenciada por la materia orgánica

Suelo 2 suelo con algunas prácticas de manejo y conservación tiene un pH neutro lo que indica que esta en un balance de nutrientes normal para que sea aprovechado por el cultivo, la conductividad eléctrica tiende a que el suelo tenga un rango no salino esto indica que sus características no se ven afectados, la capacidad de intercambio catiónico su interpretación es baja lo cual indica que tienen una disminución en retener y aportar nutrientes al cultivo, los resultados de materia orgánica y carbono orgánico demuestra que este suelo está en un déficit para resistir todas las formas de degradación y, especialmente la erosión de acuerdo a esto su producción agrícola se ven influenciada por la materia orgánica.

Suelo 3 suelo con intervención reciente en cultivos intensivos tiene un pH neutro lo que indica que sus bases tienden a ser normales, la conductividad eléctrica tiende a que el suelo tenga un rango no salino esto indica que sus características no se ven afectados, la



capacidad de intercambio catiónico su interpretación es baja lo cual indica que tienen una disminución en retener y aportar nutrientes, los resultados de materia orgánica y carbono orgánico demuestran que este suelo está en un déficit para resistir todas las formas de degradación y, especialmente la erosión de acuerdo a esto su producción agrícola se ven influenciada por la materia orgánica.

Suelo 4 suelo bosque nativo de galerías tiene un pH neutro lo que indica que sus características minerales no sean afectadas, la conductividad eléctrica tiende a que el suelo tenga un rango no salino esto indica que sus características no se ven afectados, la capacidad de intercambio catiónico su interpretación es baja lo cual indica que tienen una disminución en retener y aportar nutrientes de cargas positivas, llamados cationes, los resultados de materia orgánica y carbono orgánico demuestran que este suelo están en un déficit para resistir todas las formas de degradación y, especialmente la erosión de acuerdo a esto su producción agrícola se ven influenciada por la materia orgánica.

5.3 Discusión

El suelo con prácticas agrícolas tradicionales es importante señalar que la presencia de un horizonte A bajo un horizonte O, aparentemente indicaría la presencia de un suelo natural de poco desarrollo, solo afectado en la superficie; sin embargo la excavación de las cajuelas de un perfil mostró un suelo completamente modificado por la actividad agrícola.

En el suelo con intervención reciente de cultivos intensivos es normal la presencia de un horizonte orgánico O con material proveniente de la vegetación que interactúa, y no es común encontrarlo en los suelos con prácticas agrícolas tradicionales, como es el caso, y, aunque en el suelo con prácticas agrícolas tradicionales los fragmentos orgánicos no corresponden a la vegetación que soporta, esta capa O cumple las funciones de protección de la superficie, e incorporación de materia orgánica al perfil. En este suelo con prácticas agrícolas tradicionales se encontró un horizonte A con un espesor mayor, en tanto que el horizonte A del suelo con algunas prácticas de manejo y conservación, se encontró con un espesor menor, el espesor del suelo del bosque nativo de galerías con un espesor mucho menor muy diferente en el horizonte A del suelo con prácticas agrícolas tradicionales alcanzó el mayor de espesor, casi cuatro veces más que los demás suelos de muestreo. La diferencia entre los espesores del horizonte A en estos suelos puede deberse a que en el suelo con prácticas agrícolas tradicionales su desarrollo natural, bajo un horizonte O, ha sido lento, modificado y, las propiedades resultantes abarcan un mayor espesor en el horizonte A de este mismo suelo también pudo haber contribuido a la diferencia de espesor, una pérdida importante del suelo superficial mencionado anteriormente, ocasionada por el mal manejo de maquinaria agrícola, por el movimiento de suelo para la apertura de caminos en las partes laterales de este lote, hechos que han propiciado la erosión hídrica, la cual ha



sido favorecida por la inclinación de la pendiente. Y, por tanto un deterioro más visible en las propiedades del horizonte superficial A, siendo la propiedad más afectada.

En cuanto a la estructura, en el suelo con prácticas agrícolas tradicionales se observaron, principalmente, agregados de bloques subangulares, y con un grado de desarrollo lento, mientras que en el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación se presentaron más agregados con estructura subangular, con un grado de desarrollo fuerte. Por otro lado, en el suelo con intervención reciente de cultivos intensivos, casi no se presentaron agregados, sino terrones. La presencia importante de terrones poco compactos en el horizonte sobrepuesto de este mismo suelo.

En el suelo con prácticas agrícolas tradicionales, un porcentaje de arcilla propició la formación de bloques subangulares, mientras que en el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación, la presencia importante de una estructura subangular, sobre todo en la parte superficial (horizonte A), se vio favorecida por la gran actividad biológica como lo evidencian la presencia de poros, cámara y cavidad por la labranza y por el porcentaje de arcilla y el incremento en la proporción de limo. En este mismo suelo con intervención reciente de cultivos intensivos, la presencia de un horizonte A con estructura de bloques subangulares, se explica por el ligero disminución de arcilla y una menor remoción por la labranza. Por otro lado, en el suelo del bosque nativo de galerías la presencia de terrones muy poco compactos y el muy bajo contenido de arcilla, muestran un horizonte muy perturbado, con gran pérdida de materiales finos. En el suelo con intervención reciente de cultivos intensivos, el horizonte B se subdividió en dos horizontes, B y B1, los cuales contienen en promedio alto de arcilla. En el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación, este horizonte B el espesor, alcanzó el 65% de arcilla. En ambos suelos, este horizonte posee una combinación de estructura de bloques angulares y subangulares, con un grado de desarrollo que va de moderado a fuerte, propiedad que se relaciona con el alto contenido de arcillas.

En el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación, la proporción de tierra fina fue mayor al 50%, por tanto, los elementos gruesos no restan calidad a las diferentes funciones de este suelo. El suelo con prácticas agrícolas tradicionales, se caracterizó por una proporción mayor al 50% de tierra fina en el perfil, los valores en el perfil variaron contrastantemente entre cada horizonte, los elementos gruesos abarcan desde partículas del tamaño de la grava hasta diámetros de más de 15 cm. En general la proporción de tierra fina en el perfil se consideró muy alta. En el suelo de bosque nativo de galerías, la proporción de tierra fina fue mayor al 50%, por tanto, los elementos gruesos no restan calidad a las diferentes funciones de este suelo.

En el suelo con prácticas agrícolas tradicionales el comportamiento textural nos indica que es un suelo moderadamente pesado, incrementando la fracción sólida de las arenas señalando una baja capacidad de retención de humedad, baja capacidad de suministro de



agua, susceptibilidad al encostramiento superficial y la erosión. En el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación en su parte, muestra un comportamiento textural de arenas superior lo cual demuestran que los medios internos y externos del suelo no afectan al desarrollo de la planta, desde la germinación hasta la maduración fisiológica; esto se corrobora con el crecimiento que ha tenido el algodón en su proceso de producción; en el suelo con intervención reciente de cultivos intensivos se tiene un comportamiento textural bajo esto representa un menor dinamismo hidromecánico que el suelo con prácticas agrícolas tradicionales, ya que presenta unas condiciones en términos generales para la actividad agropecuaria.

En la densidad aparente en el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación muestra una diferencia, lo cual muestra un leve aumento, en el contexto de producción agrícola en donde se ve reflejado una aceptación de nutrientes necesarios para el crecimiento vegetativo de la planta. Por el contrario, las densidades aparentes reportadas para el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos y el suelo bosque nativo de galerías, oscilan las diferencias muy bajas De acuerdo a la jerarquización del (USDA 1999). estos suelos no sufren de compactación ayudan a un crecimiento de raíces óptimas. Por esta razón la densidad aparente se considera un indicador de la calidad de los suelos estudiados. En el suelo con prácticas agrícolas tradicionales la porosidad promedio es muy baja en el criterio debido al alto porcentaje de arenas, lo que se explica un alto valor de densidad aparente, que indica un problema de compactación de este suelo, antes mencionado, y por lo tanto un reducción del espacio poroso; esto trae como consecuencia restricciones en el crecimiento. El suelo con algunas prácticas de manejo y conservación, posee un promedio de porosidad criterio muy bajo; esto trae como consecuencia restricciones del crecimiento radicular, como se ve reflejado en el cultivo (USDA, 1999). El suelo con intervención reciente en cultivos intensivos, posee un promedio de porosidad muy bajo sin embargo, el alto porcentaje de arena, elementos gruesos y pedregosidad permite una macro porosidad predominante. El suelo de bosque nativo de galerías posee un promedio del criterio bajo ya que se encuentra en una zona que no ha sido explotada por el ser humano, lo cual nos indica que el agua es aprovechada.

En la retención de humedad el suelo con prácticas agrícolas tradicionales, suelo bosque nativo de galerías y el suelo con prácticas de manejo y conservación, tienen al mismo comportamiento ya que sus texturas predominan las arenas en donde su capacidad de campo tiende a tener humedad discontinua para prevenir pérdidas por percolación y lixiviación de nutrientes debajo de la zona radical; mientras en el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos está en el rango más alto demostrando una zona en condiciones favorables de producción agrícola.

La estabilidad estructural nos muestra que en el suelo con prácticas agrícolas tradicionales el dpm es inestable y el dgm es ligeramente estable estos resultados indican que este suelo no posee capacidad para resistir una degradación estructural inmediata por el



cual tiene una baja resiliencia, es decir cierta incapacidad de recuperar su estructura original. En el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación el dpm y el de dgm es ligeramente estable lo cual indica que este suelo está en vulnerabilidad debido a la baja estabilidad estructural ya que cualquier efecto de fuerza disruptiva puede ocasionar la incapacidad de recuperar su estructura original. En el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos, se tiene que el dpm y el dgm son aceptable ya que nos indica que el suelo esta moderadamente estable, es decir que tiene una buena calidad de espacio poroso así mismo una buena infiltración, ayudando a la distribución de las raíces. En el suelo del bosque nativo de galerías, el dpm y dgm dio inestable debido a que esta zona sufre de inundaciones continuas del rio Aipe.

El suelo con actividades agrícolas tradicionales tiene una conductividad hidráulica moderadamente lenta lo cual indica que este suelo tiene insuficiencias en la conducción de agua en el medio poroso. El potencial matrico tiende hacer bajo lo que demuestra que su absorción y capilaridad son muy deficientes, ocasionando que el flujo del agua sea lento; la sortividad es baja. El suelo con algunas prácticas de manejo y conservación tiene una conductividad hidráulica moderadamente lenta lo cual indica que tiene pérdidas de conducción de agua en el medio poroso, esto se refleja por la deforestación que se hizo por cambiar a un suelo de producción agrícola afectando su flujo hidráulico. El potencial matrico es moderadamente bajo ratificando que su absorción y capilaridad son normales en la producción agrícola. La sortividad es moderada indicando que su absorción es normal. El suelo con intervención reciente en cultivos intensivos tiene una conductividad hidráulica lenta lo cual indica que tiene pérdidas de conducción de agua en el medio poroso, el potencial mátrico es moderadamente bajo. La sortividad es moderadamente baja indicando que su absorción está en el rango de aprovechamiento. Este suelo por sus características hidráulicas es normal para la retención de agua en el suelo. El suelo de bosque nativo de galerías de la zona tiene una conductividad hidráulica moderada lo cual indica que tiene buena conducción de agua en el medio poroso. El potencial matrico es moderado ratificando que su absorción y capilaridad sean mejoradas frente a los otros tres suelos descritos. La sortividad es moderadamente baja.

En el suelo con actividades agrícolas tradicionales y el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos la infiltración es moderadamente lento, lo cual indica que el agua es más lenta al pasar por el interior del suelo donde se puede aprovechar las raíces. En el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación la infiltración es lenta indicando que este suelo hay problemas de encharcamiento. En el suelo del bosque nativo de galerías se encontró que es moderado su resultado se demuestra ya que es una rivera del rio Aipe.

El suelo con actividades agrícolas tradicionales obtuvo el menor valor en la infiltración, en los demás suelos la infiltración aumentó con la intensidad de su uso. Este comportamiento en el suelo puede ser explicado por el arrastre o destrucción de sellos presentes en la superficie del suelo por efecto del aumento de la energía de la lluvia, se



observa que las mayores pendientes en las regresiones lineales para láminas pertenecen a los suelos con algunas prácticas de manejo y conservación y suelo con actividades agrícolas tradicionales, los de menor pendiente son bosque nativo de galerías y el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación. El suelo de bosque nativo de galerías fueron los que mayor infiltración permitió y por esto son los que menor escorrentía presentan.

En la velocidad de infiltración (anexo F), se observa que la infiltración del suelo con intervención reciente en cultivos intensivos osciló. El suelo de bosque nativo de galería presentó la menor lámina de agua infiltrada, mientras que el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación presentó la más alta. La baja infiltración presentada en el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos se debe a que este suelo presenta la más baja cantidad de macro poros en sus primeros 2.5 cm, lo que dificulta la entrada de agua al suelo. Los suelos que presentan la mayor pendiente en las rectas halladas por regresión son: el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación y el bosque nativo de galerías, que puede ser aprovechada por las plantas, evitan la escorrentía y por ende el proceso de erosión.

El pH en el suelo con prácticas agrícolas tradicionales tiene un pH ligeramente ácido, lo cual está asociado a la agregación de fertilizantes y lixiviación de sustancias que contienen azufre. La mayor parte de los minerales son más solubles que en suelos neutros o ligeramente básicos. Esta característica hace posible un exceso de Co, Cu, Fe, Mn y Zn, y deficiencia de Ca, K, N, Mg Mo, P y S. En el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos y el suelo bosque nativo de galerías y el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación tienen un pH neutro, esto nos indica una máxima disponibilidad de nutrientes, indicando que es apto para el cultivo.

En general los valores de CE para los cuatro suelos analizados se ubican dentro del rango de los suelos no salinos, con efectos despreciables a los cultivos y muy pocos organismos afectados. En los suelos estudiados la capacidad de intercambio catiónico su interpretación es baja, lo cual indica que tienen una disminución en retener y aportar nutrientes de cargas positivas, llamados cationes. Los resultados de materia orgánica demuestran que estos suelos están en un déficit para resistir todas las formas de degradación y, especialmente la erosión de acuerdo a esto su producción agrícola se ven influenciada por la materia orgánica. El carbono orgánico en su interpretación todos los suelos fueron bajos.



5.4 Calidad del Suelo

Con base en la interpretación y el análisis comparativo de los datos de los suelos en la sección precedente, se diseñó una lista de 15 atributos (propiedades morfológica, físicas, hidráulicas y químicas) que fueron consideradas importantes por mostrar información acerca de las potencialidades y debilidades de cada suelo y una mejor apreciación del comportamiento entre cada uno, y por lo tanto de su calidad. En la tabla 7 se muestra la lista de atributos seleccionada.

Tabla 7. lista de atributos seleccionados

| Atributo | Tipo de atributo |
|------------------------------------|------------------|
| Espesor del horizonte A | Morfológico |
| Espesor del horizonte B | |
| Pendiente | |
| Estructura | |
| Contenido de elementos gruesos | Físico |
| Textura (arcillas, limos, arenas) | |
| Porosidad | |
| Densidad aparente | |
| Infiltración | Hidráulico |
| pH | Químico |
| capacidad de intercambio catiónico | |
| Carbono orgánico | |
| materia orgánica | |

A partir de la lista preseleccionada de atributos, se ordenaron los valores medidos y las valoraciones estimadas, en caso de algunos parámetros, para cada tipo de suelo estudiado. En la tabla 8 se muestran los atributos seleccionados para la evaluación de calidad global de los suelos, los valores obtenidos y la condición de conteo.

Tabla 8 Los atributos seleccionados para la evaluación de calidad global de los suelos

| ATRIBUTOS | PAT | PAMC | IRCI | BNG | CONDICIÓN |
|---|-------|--------|-------|-------|----------------|
| Espesor del Ho A(cm) | 8,00 | 9,00 | 12,00 | 8,00 | Más es mejor |
| Espesor del Ho B(cm) | 0,00 | 24,00 | 22,00 | 10,00 | Más es mejor |
| Pendiente (índice) | 4,00 | 4,00 | 0,00 | 5,00 | Menos es mejor |
| Elementos gruesos (%) | 37,00 | 45,00 | 43,00 | 33,00 | Más es mejor |
| Arenas (%) | 48,29 | 59,46 | 41,06 | 62,78 | Menos es mejor |
| Arcillas (%) | 25,48 | 23,06 | 26,96 | 15,57 | Menos es mejor |
| Limos (%) | 26,23 | 17,48 | 31,98 | 21,65 | Más es mejor |
| Porosidad (%) | 31,30 | 32,12 | 35,58 | 41,87 | Más es mejor |
| Densidad aparente (gr/cm ³) | 1,60 | 1,58 | 1,43 | 1,48 | Menos es mejor |
| Estructura(índice) | 0,79 | 1,50 | 2,59 | 0,69 | Más es mejor |
| infiltración(min/cm) | 48,44 | 159,38 | 41,50 | 12,50 | Menos es mejor |



| ATRIBUTOS | PAT | PAMC | IRCI | BNG | CONDICIÓN |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| pH (índice) | 6,47 | 7,25 | 6,50 | 6,90 | Más es mejor |
| CIC(meq/100gr) | 14,04 | 14,61 | 13,67 | 12,08 | Más es mejor |
| Carbono orgánico (%) | 0,36 | 0,91 | 0,79 | 0,71 | Más es mejor |
| Materia orgánica (%) | 0,62 | 1,57 | 1,36 | 1,22 | Más es mejor |
| Promedio (%) | 9,38 | 20,97 | 9,11 | 9,66 | Más es mejor |

PAT=prácticas agrícolas tradicionales; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; IRCI=intervención reciente en cultivos intensivos; BNG=bosque nativo de galerías

Como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.8**, el promedio de los valores de las propiedades, considerando como valores “MÁS ES MEJOR” y “MENOS ES MEJOR” los resultados que sugiere una mayor calidad para el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación, por tener el valor más alto (20,97 unidades), una calidad intermedia para el suelo bosque nativo de galerías, con 9,66 unidades, para el suelo con algunas prácticas agrícolas tradicionales una calidad de un número 9,38 y el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos el más bajo con 9,11 unidades.

Sin embargo, el promedio de estos valores, con unidades diferentes solo indican una tendencia. Para poder cuantificar los datos de las propiedades y conseguir un valor de la calidad de los suelos estudiados, fue necesario convertir estos datos a números sin unidades, por medio de un procedimiento de estandarización. Por el cual se eligieron números índice con base 1. Para normalizar los datos y obtener números índice, se utilizó un proceso de normalización denominado de tipo simple como se muestra en la tabla 9

Tabla 9 Normalización simple de los valores de los atributos

| ATRIBUTOS | PAT | PAMC | IRCI | BNG |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Espesor del Ho A | 0,67 | 0,75 | 1 | 0,67 |
| Espesor del Ho B | 0,00 | 1 | 0,91 | 0,41 |
| pendiente | -0,8 | -0,8 | -1 | -1 |
| Elementos gruesos | 0,82 | 1 | 0,95 | 0,73 |
| arenas | -0,76 | -0,94 | -0,66 | -1 |
| arcillas | -0,94 | -0,85 | -1 | -0,57 |
| limos | 0,82 | 0,54 | 1 | 0,67 |
| Porosidad | 0,74 | 0,76 | 0,84 | 1 |
| Densidad aparente | -1 | -0,98 | -0,89 | -0,92 |
| Estructura | 0,3 | 0,57 | 1 | 0,26 |
| infiltración | 0,3 | 1 | 0,26 | 0,07 |
| pH | 0,89 | 1 | 0,89 | 0,95 |
| cic | 0,96 | 1 | 0,93 | 0,82 |
| carbono orgánico | 0,39 | 1 | 0,86 | 0,78 |
| materia orgánica | 0,39 | 1 | 0,86 | 0,77 |
| promedio | 0,19 | 0,40 | 0,39 | 0,24 |

PAT=prácticas agrícolas tradicionales; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; IRCI=intervención reciente en cultivos intensivos; BNG=bosque nativo de galerías



El promedio total de los índices normalizados de forma simple, muestran en porcentaje, la calidad de los suelos. El suelo con algunas prácticas de manejo y conservación tiene una calidad del 40%, el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos con el 39% cambiando respectivamente, el suelo bosque nativo de galerías 24% y el suelo con algunas prácticas agrícolas tradicionales con el 19% siendo este el de menor calidad.

Posteriormente se sometieron a otra normalización, bajo el principio adansoniano, que da el mismo peso a todas las variables para una medición más objetiva. Para esto se usó la fórmula:

Dónde:

$$ICP = \frac{Xi - Xmin}{Xmax - Xmin}$$

ICP=Indicador de calidad normalizado, mismo peso.

Xi=Valor de la variable a ponderar

Xmin= Valor mínimo de la variable

Xmáx=Valor máximo de la variable

Los datos normalizados bajo el principio adansoniano se muestran en la siguiente tabla 10

Tabla 10. Valores normalizados bajo el principio adansoniano

| Propiedades | PAT | PAMC | IRCI | BNG |
|-------------------|------|------|------|------|
| Espesor del Ho A | 0,00 | 0,25 | 1,00 | 0,00 |
| Espesor del Ho B | 0,00 | 1,00 | 0,85 | 0,00 |
| pendiente | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 |
| Elementos gruesos | 0,33 | 1,00 | 0,83 | 0,00 |
| arenas | 0,33 | 0,84 | 0,00 | 1,00 |
| arcillas | 0,87 | 0,65 | 1,00 | 0,00 |
| limos | 0,60 | 0,00 | 1,00 | 0,28 |
| Porosidad | 0,00 | 0,07 | 0,40 | 1,00 |
| Densidad aparente | 1,00 | 0,88 | 0,00 | 0,29 |
| Estructura | 0,05 | 0,42 | 1,00 | 0,00 |
| infiltración | 0,24 | 1,00 | 0,19 | 0,00 |
| pH | 0,00 | 1,00 | 0,03 | 0,55 |
| CIC | 0,77 | 1,00 | 0,62 | 0,00 |
| carbono orgánico | 0,00 | 1,00 | 0,78 | 0,63 |
| materia orgánica | 0,00 | 1,00 | 0,86 | 0,77 |
| Promedio (%) | 0,28 | 0,67 | 0,64 | 0,37 |

PAT=prácticas agrícolas tradicionales; .PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; IRCI=intervención reciente en cultivos intensivos; BNG=bosque nativo de galerías

El promedio de los valores normalizados con el principio adansoniano (Tabla 10), dan al suelo con algunas prácticas agrícolas tradicionales con la menor calidad (28%), el suelo bosque nativo de galerías con el 37% se determina una calidad tendiendo a baja mientras al



suelo con algunas prácticas de manejo y conservación con 67% y el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos con 64% con la mejor calidad de suelo.

Para determinar la importancia de cada propiedad y darle el peso según su importancia, se realizó un análisis factorial, el cual arrojó para cada propiedad las cargas factoriales que se muestran en la siguiente tabla 11.

Tabla 11. Cargas factoriales para cada propiedad del suelo.

| PROPIEDADES | F1 |
|--------------------|-----------|
| Espesor del Ho A | 0,771 |
| Espesor del Ho B | 0,833 |
| Pendiente | 0,115 |
| Elementos gruesos | 0,977 |
| Arenas | 0,444 |
| Arcillas | -0,674 |
| Limos | 0,169 |
| Porosidad | -0,490 |
| Densidad aparente | 0,152 |
| Estructura | 0,871 |
| Infiltración | 0,630 |
| pH | 0,163 |
| CIC | 0,697 |
| carbono orgánico | 0,624 |
| materia orgánica | 0,626 |

Posteriormente, los valores normalizados con el principio adansoniano, los cuales tienen el mismo peso para cada variable, fueron reajustados por medio de las cargas factoriales, para asignar a cada variable un peso diferente, según su importancia, Los valores ajustados se muestran en la siguiente tabla 12

Tabla 12. Valores ajustados con la carga factorial

| PROPIEDADES | PAT | PAMC | IRCI | BNG |
|--------------------|------------|-------------|-------------|------------|
| Espesor del Ho A | 0,00 | 0,62 | 0,77 | 0,00 |
| Espesor del Ho B | 0,00 | 0,83 | 0,06 | 0,00 |
| pendiente% | 0,00 | 0,00 | 0,75 | 0,75 |
| Elementos gruesos | 0,04 | 0,97 | 0,19 | 0,00 |
| arenas | 0,26 | 0,44 | 0,00 | 0,69 |
| arcillas | 0,24 | 0,33 | 0,67 | 0,00 |
| limos | 0,16 | 0,00 | 0,92 | 0,16 |
| Porosidad | 0,00 | 0,37 | 0,36 | 0,49 |
| Densidad aparente | 0,79 | 0,27 | 0,00 | 0,15 |
| Estructura | 0,04 | 0,48 | 0,87 | 0,00 |
| infiltración | 0,62 | 0,77 | 0,02 | 0,00 |
| pH | 0,00 | 0,79 | 0,16 | 0,27 |
| CIC | 0,42 | 0,69 | 0,27 | 0,00 |



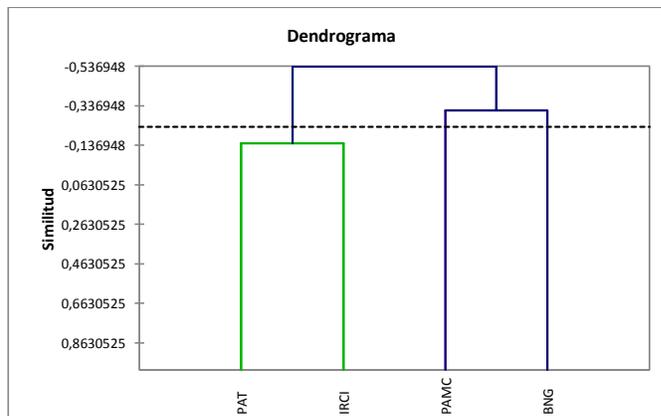
| | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
| carbono orgánico | 0,00 | 0,62 | 0,36 | 0,17 |
| materia orgánica | 0,00 | 0,62 | 0,35 | 0,18 |
| suma | 2,58 | 7,80 | 5,75 | 2,86 |
| porcentaje | 13,58 | 41,07 | 30,27 | 15,06 |

PAT=prácticas agrícolas tradicionales; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; IRCI=intervención reciente en cultivos intensivos; BNG=bosque nativo de galerías

Finalmente, la suma de los valores ajustados con la carga factorial, demuestran la mejor calidad para el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación con 7,8 puntos (41,07%); una calidad mediana el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos con 5,75 puntos (30,27%), una calidad baja para el suelo bosque nativo de galerías con 2,86 unidades (15,06%), y el suelo con prácticas agrícolas tradicionales el de menor calidad con 2,58 unidades (13,58%).

- **Similitud entre los suelos**

Una vez conocida la calidad de los suelos, y partiendo que son de la misma clase, se procedió a determinar el grado de similitud, cuya gráfica generada es un dendrograma (análisis de clúster) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Grafica 1 Dendrograma de los suelos estudiados

PAT=prácticas agrícolas tradicionales; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; IRCI=intervención reciente en cultivos intensivos; BNG=bosque nativo de galerías

El eje X muestra las distancias de similitud, las cuales mientras más cercanas sean a 1.0, mayor es la similitud. La línea punteada representa la distancia de truncamiento calculada según los valores analizados. A partir del truncamiento (distancia -0.3369482) se aprecian tres líneas que indican tres grupos, de un solo elemento cada uno que corresponden a los suelos con algunas prácticas de manejo y conservación y bosque nativo de galerías y el otro, suelo con intervención reciente en cultivos intensivos y suelo con prácticas agrícolas tradicionales. A una distancia más cerca (-0.136948), se forma un grupo homogéneo que corresponde a los suelos con prácticas agrícolas tradicionales y el suelo



con intervención reciente en cultivos intensivos; sin embargo, la gran distancia indica que el parecido es mínimo entre ambos suelos. El grupo del suelo con algunas prácticas de manejo y conservación y el suelo bosque nativo de galerías, por su parte, continúa solo lo que indica una diferenciación total de la otra agrupación. En la siguiente tabla 13 se muestra la distancia entre los suelos.

Tabla 13. distancia de los suelos estudiados

| SUELOS | PAT-IRCI | PAMC | BNG |
|-----------------|-----------------|-------------|------------|
| PAT-IRCI | 0 | 114,713 | 43,059 |
| PAMC | | 0 | 148,67 |
| BNG | | | 0 |

PAT=prácticas agrícolas tradicionales; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; IRCI=intervención reciente en cultivos intensivos; BNG=bosque nativo de galerías

En la tabla también se aprecia lo que muestra la gráfica, que entre el suelo con prácticas agrícolas tradicionales con el suelo intervención reciente en cultivos intensivos y el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación de 114,713 es mucho menor que entre el suelo de bosque nativo de galerías (43,059) y mucho mayor aún que entre el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación y el suelo bosque nativo de galerías que es de 148,670. Estos datos indican que existe gran variabilidad entre los suelos de Aipe, y que los suelos con algunas prácticas de manejo y conservación y el suelo bosque nativo de galerías se parecen lejanamente más entre sí, que con el suelo con prácticas agrícolas tradicionales. Para confirmar la variabilidad de los suelos, se realizó un análisis factorial, en la tabla 14 se muestra la matriz de proximidad (coeficiente de correlación de Pearson), en donde se observa que en todos los casos, la correlación entre los suelos es inversa.

Tabla 14. Matriz de proximidad (Coeficiente de correlación de Pearson).

| SUELOS | PAT | PAMC | IRCI | BNG |
|---------------|------------|-------------|-------------|------------|
| PAT | 1 | -0,173 | -0,148 | -0,508 |
| PAMC | | 1 | -0,537 | -0,314 |
| IRCI | | | 1 | -0,303 |
| BNG | | | | 1 |

PAT=prácticas agrícolas tradicionales; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; IRCI=intervención reciente en cultivos intensivos; BNG=bosque nativo de galerías

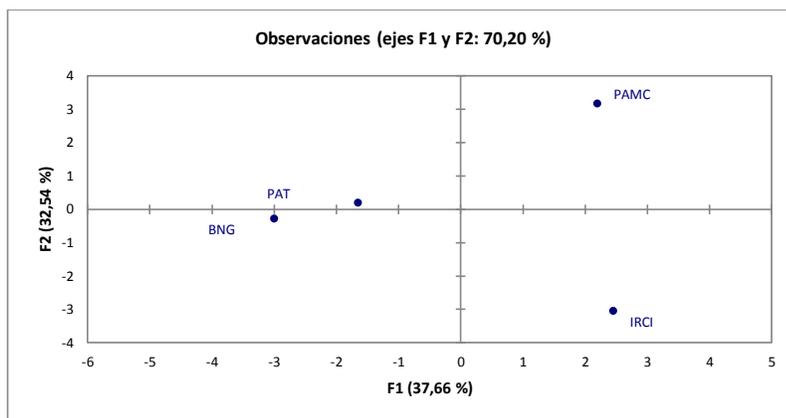
También es posible ver que existe una correlación baja entre los suelos con prácticas agrícolas tradicionales y suelo con intervención reciente en cultivos intensivos y una correlación media entre el bosque nativo de galerías y el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación, y entre el suelo bosque nativo de galerías y el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos. Por otro lado, las coordenadas del análisis factorial (Tabla 15) y su gráfica correspondiente (gráfica 2), muestran la distribución de los suelos en cuadrantes diferentes.



Tabla 15. Coordenadas de las observaciones

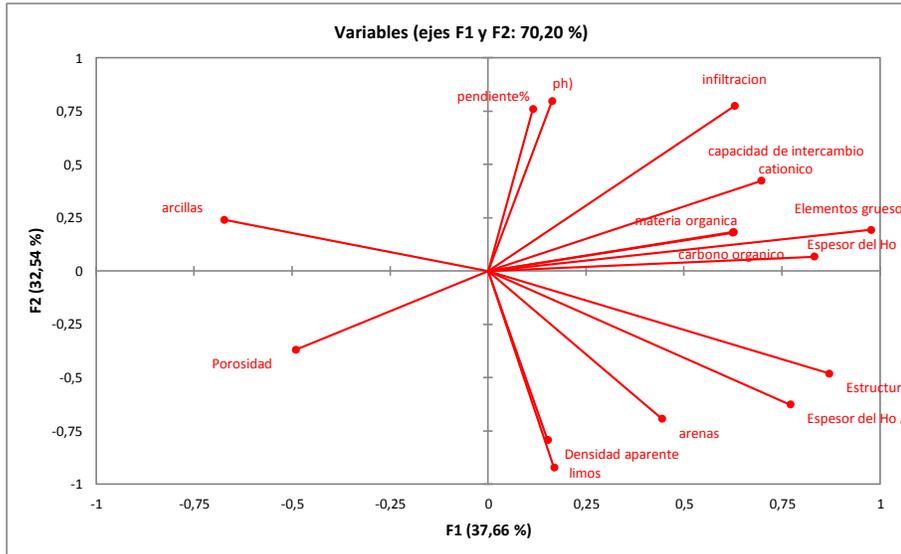
| Observación | F1 | F2 |
|-------------|--------|--------|
| PAT | -1,652 | 0,185 |
| PAMC | 2,197 | 3,167 |
| IRCI | 2,457 | -3,062 |
| BNG | -3,001 | -0,290 |

PAT=prácticas agrícolas tradicionales; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; IRCI=intervención reciente en cultivos intensivos; BNG=bosque nativo de galerías



Grafica 2 La distribución de los suelos en cuadrantes diferentes

Esta distribución tan distante confirma la gran diferencia entre cada uno de los suelos de Aipe. Las propiedades que marcan esta diferencia se muestran en la gráfica del análisis factorial (grafica 3) en donde se aprecia claramente la distribución de las características que marcan la distinción de cada suelo, de acuerdo a su acomodo en cada cuadrante. La carga factorial con que se graficaron los ejes F1 y F2.



Grafica 3. Distribución de la carga factorial de las propiedades de los suelos estudiados

Las mayores cargas factoriales se dieron en el eje F1 (los números en negritas indican mayor carga factorial), y éstas explican el 37,66% la diferencia entre los suelos estudiados. Las arcillas y la porosidad explican el 32,54% de las diferencias. La estandarización de la carga factorial (>0.70) de todas las propiedades analizadas, confirma que las propiedades seleccionadas para medir la calidad del suelo fueron las adecuadas y son importantes (tabla 16).

Tabla 16. Cargas factoriales de los ejes F1 y F2

| PROPIEDADES | F1 | F2 |
|-------------------|---------------|---------------|
| Espesor del Ho A | 0,771 | -0,627 |
| Espesor del Ho B | 0,833 | 0,067 |
| pendiente | 0,115 | 0,759 |
| Elementos gruesos | 0,977 | 0,193 |
| arenas | 0,444 | -0,694 |
| arcillas | -0,674 | 0,241 |
| limos | 0,169 | -0,923 |
| Porosidad | -0,490 | -0,369 |
| Densidad aparente | 0,152 | -0,794 |
| Estructura | 0,871 | -0,482 |
| infiltración | 0,630 | 0,776 |
| pH | 0,163 | 0,797 |
| CIC | 0,697 | 0,422 |
| carbono orgánico | 0,624 | 0,179 |
| materia orgánica | 0,626 | 0,182 |

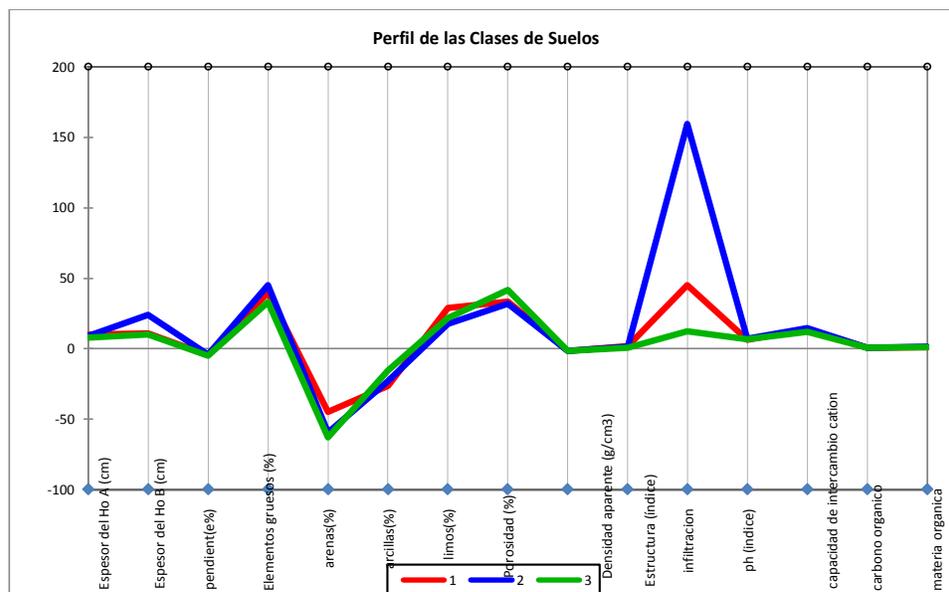


La gráfica del comportamiento de las líneas de tendencias de los suelos, conforme el total de las propiedades evaluadas, se presenta en la siguiente grafica 4.

Tabla 17. Leyendas de los suelos estudiados

| leyenda | |
|-------------|-------|
| Observación | Clase |
| PAT | 1 |
| PAMC | 2 |
| IRCI | 1 |
| BNG | 3 |

PAT=prácticas agrícolas tradicionales; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; IRCI=intervención reciente en cultivos intensivos; BNG=bosque nativo de galerías



Grafica 4. Tendencia de los suelos estudiados.

En dicha gráfica se aprecia claramente la calidad sobresaliente del suelo con algunas prácticas de manejo y conservación (línea azul), seguido por el suelo con prácticas agrícolas tradicionales (línea roja), y es claramente el comportamiento del suelo bosque nativo de galerías (línea verde) que permanece en los valores más bajos y negativos.

Hasta aquí se ha confirmado que existe una gran diferencia entre los suelos estudiados y que el suelo de mayor calidad corresponde al suelo con algunas prácticas de manejo y conservación (41,07%), segundo es por el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos (30,27%), tercero es el suelo del bosque nativo de galerías con 15,06% y el de menor calidad es el suelo con prácticas agrícolas tradicionales con (13,58%).



- **Indicadores de calidad**

Conocida la calidad de los suelos de Aipe y determinada su variabilidad, el paso siguiente fue determinar un conjunto mínimo de propiedades para monitorear la calidad de los suelos, y saber si estos mejoran, mantienen o pierden su calidad en el tiempo.

En los suelos estudiados se observó que el espesor del horizonte A, el pH, la textura, el orden de los horizontes, el contenido de elementos gruesos, consideradas propiedades estáticas, han sido especialmente modificadas por la actividad antrópica, en el suelo con prácticas agrícolas tradicionales. Por esta situación, ha resultado complejo seleccionar de la lista general de propiedades analizadas (anexo H), las propiedades hidrodinámicas que funcionarían como indicadores de calidad (Tabla 18).

Tabla 18. propiedades hidrodinámicas del suelo

| Propiedades (unidades) | PAT | PAMC | IRCI | BNG | Condición |
|---|-------|--------|-------|-------|----------------|
| Densidad aparente (gr/cm ³) | 1,6 | 1,58 | 1,43 | 1,48 | Menos es mejor |
| Estructura (índice) | 0,79 | 1,5 | 2,59 | 0,69 | Más es mejor |
| Infiltración (cm/min) | 48,44 | 159,38 | 41,5 | 12,5 | Menos es mejor |
| Porosidad (%) | 31,3 | 32,12 | 35,58 | 41,87 | Más es mejor |
| Materia orgánica (%) | 0,62 | 1,57 | 1,36 | 1,22 | Más es mejor |

PAT=prácticas agrícolas tradicionales; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; IRCI=intervención reciente en cultivos intensivos; BNG=bosque nativo de galerías

En esta primera selección, se puede apreciar que la densidad aparente es la de mayor peso; en segundo lugar la infiltración con la materia orgánica, y en tercer lugar la estructura con la porosidad. Una vez hecha esta primera selección, se analizó la correlación que existe entre una propiedad determinada con el resto de las propiedades, mediante una matriz de correlación de Pearson, la cual se muestra en la Tabla 19. En este se puede observar que las correlaciones fueron generalmente altas entre todas las propiedades. Para una selección objetiva, se utilizó el criterio *más es mejor*, y se seleccionaron las propiedades dinámicas con más alta correlación ($>\pm 0.8$) y con más correlaciones con otras propiedades, y con un nivel 0.05 de significancia.

Lo cual se demostró que estas propiedades fueron la de mayor peso lo cual la nueva selección quedó como se muestra en la Tabla 21



Tabla 19. Selección de propiedades

| Propiedades | PAT | PAM C | IRCI | BNG | Condición |
|---|-------|------------|------------|------|----------------|
| Densidad aparente (gr/cm ³) | 1,6 | 1,58 | 1,43 | 1,48 | Menos es mejor |
| Estructura (índice) | 0,79 | 1,5 | 2,59 | 0,69 | Más es mejor |
| Infiltración (cm/min) | 48,44 | 159,3 8 | 41,5 | 12,5 | Menos es mejor |
| Materia orgánica (%) | 0,62 | 1,57 | 1,36 | 1,22 | Más es mejor |
| Porosidad (%) | 31,3 | 32,12 | 35,58 7 | 41,8 | Más es mejor |

PAT=prácticas agrícolas tradicionales; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; IRCI=intervención reciente en cultivos intensivos; BNG=bosque nativo de galerías

Dado que en la primera selección la estructura tuvo el mayor peso, y en la segunda la infiltración, se realizó un Análisis Factorial, cuyo resultado arrojó una carga factorial muy alta para las propiedades dinámicas: estructura (0,871), infiltración (0,630) por materia orgánica (0,626), la porosidad (-0,490) y densidad aparente (0,152) como se muestra en la tabla 21

Tabla 20. Determinación de las propiedades significativas

| PROPIEDADES | F1 |
|-------------------|---------------|
| Densidad aparente | 0,152 |
| Estructura | 0,871 |
| Infiltración | 0,630 |
| materia orgánica | 0,626 |
| Porosidad | -0,490 |
| Espesor del Ho A | 0,771 |
| Espesor del Ho B | 0,833 |
| Pendiente | 0,115 |
| Elementos gruesos | 0,977 |
| Arenas | 0,444 |
| Arcillas | -0,674 |
| Limos | 0,169 |
| ph | 0,163 |
| CIC | 0,697 |
| carbono orgánico | 0,624 |

De esta manera, la nueva selección de propiedades sensibles al cambio, cambia el orden en cuanto a su grado de importancia, tal como se muestra en la Tabla 22.



Tabla 21. Matriz de correlación de Pearson de las propiedades de los suelos

| Variabes | Esp Ho A | Esp Ho B | pen | Eg | ar | arci | lim | Por | Dap | Estr | infi | ph | cic | co | mo |
|--------------|-------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|--------------|----------|----------|---------------|----------|--------------|
| Esp del Ho A | 1 | 0,661 | -0,457 | 0,623 | 0,716 | -0,594 | 0,671 | -0,060 | 0,679 | 0,984 | -0,005 | -0,310 | 0,209 | 0,452 | 0,452 |
| Esp del Ho B | | 1 | -0,206 | 0,778 | 0,012 | -0,161 | -0,111 | 0,001 | 0,397 | 0,744 | 0,553 | 0,509 | 0,290 | 0,950 | 0,950 |
| pe | | | 1 | 0,314 | -0,112 | -0,343 | -0,460 | -0,843 | -0,962 | -0,326 | 0,688 | 0,250 | 0,772 | -0,281 | -0,276 |
| Eg | | | | 1 | 0,350 | -0,673 | 0,017 | -0,620 | -0,056 | 0,750 | 0,769 | 0,262 | 0,814 | 0,577 | 0,581 |
| ar | | | | | 1 | -0,862 | 0,911 | -0,409 | 0,285 | 0,669 | -0,234 | -0,810 | 0,345 | -0,278 | -0,277 |
| arci | | | | | | 1 | -0,577 | 0,793 | 0,118 | -0,637 | -0,268 | 0,489 | -0,773 | 0,155 | 0,152 |
| lim | | | | | | | 1 | -0,014 | 0,556 | 0,560 | -0,595 | -0,909 | -0,073 | -0,322 | -0,324 |
| Por | | | | | | | | 1 | 0,683 | -0,175 | -0,629 | 0,085 | -0,955 | 0,229 | 0,224 |
| Dap | | | | | | | | | 1 | 0,571 | -0,545 | -0,265 | -0,570 | 0,401 | 0,397 |
| Estr | | | | | | | | | | 1 | 0,170 | -0,188 | 0,349 | 0,528 | 0,529 |
| infi | | | | | | | | | | | 1 | 0,696 | 0,792 | 0,499 | 0,503 |
| ph | | | | | | | | | | | | 1 | 0,113 | 0,687 | 0,688 |
| cic | | | | | | | | | | | | | 1 | 0,070 | 0,075 |
| co | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1,000 |
| ma | | | | | | | | | | | | | | | 1 |

Ho= Horizonte; Esp=Espesor; Pen=Pendiente; EG=Elementos gruesos; ar= arena; arci=Arcilla; lim=limo; por=porosidad Dap=Densidad aparente; Estr= Estructura; infi=infiltración; cic=capacidad de intercambio catiónico; CO= Carbono Orgánico; mo=materia orgánica. Las propiedades estáticas están sombreadas.

Los valores en negrita corresponden a correlaciones de un nivel de significancia de 0.05



Tabla 22. Indicadores de calidad sensibles al cambio

| IMPORTANCIA | PROPIEDADES |
|-------------|-------------------|
| 1 | Estructura |
| 2 | infiltración |
| 3 | materia orgánica |
| 4 | porosidad |
| 5 | Densidad aparente |

Es importante señalar, que las propiedades estáticas también presentaron altas correlaciones y alta carga factorial, de las que sobresalen por su importancia el cic (-0.955), con carga negativa por sus correlaciones inversas; pendiente (-0.962); todas ellas propiedades que difícilmente varían con el uso, pero que en su mayoría le imprimen las características y son indicativas del cambio antrópico profundo que han tenido los suelos. Sin embargo, un buen indicador de calidad debe cumplir con los requisitos que se muestran en el anexo h

Así pues, las propiedades que mejor cumplen para conformar el Conjunto Mínimo de Indicadores (CMI) son la estructura, infiltración, materia orgánica, densidad aparente y porosidad. De esta manera se propone el CMI para Aipe (CMI-AIPE), y los valores que servirán como referencia para monitorear la calidad de los suelos de Aipe. Los cuales se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Datos de referencia de los suelos estudiados

| Propiedades (unidades) | PAT | PAMC | IRCI | BNG | Condición |
|---|-------|--------|-------|-----------|----------------|
| Estructura (índice) | 0,79 | 1,5 | 2,59 | 0,69 | Más es mejor |
| Infiltración (min/cm) | 48,44 | 159,38 | 41,5 | 12,5 | Menos es mejor |
| Materia orgánica (%) | 0,62 | 1,57 | 1,36 | 1,22 | Más es mejor |
| Densidad aparente (gr/cm ³) | 1,6 | 1,58 | 1,43 | 1,48 | Menos es mejor |
| Porosidad (%) | 31,3 | 32,12 | 35,58 | 41,8 7 | Más es mejor |

PAT=prácticas agrícolas tradicionales; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación; IRCI=intervención reciente en cultivos intensivos; BNG=bosque nativo de galerías

Este CMI-Aipe diseñado para monitorear la calidad de los suelos del territorio de Aipe, pretende ser una herramienta efectiva y un punto de partida para saber si la



calidad de los suelos disminuye, mejora o se mantiene, y coadyuvar con la sustentabilidad y el desarrollo del municipio de Aipe. Dado que una meta de este estudio de investigación fue que los indicadores resultantes puedan ser utilizados por los dueños de los lotes y por sus habitantes del municipio de Aipe, fue fundamental elegir las propiedades económicas, fáciles de analizar, evaluar e interpretar.

- **Plan de Manejo y Conservación de los Suelos de Bajo Índice de Calidad**

De acuerdo al análisis de calidad de suelos se le realizó el plan de manejo y conservación de los suelos estudiados que mostraron un índice bajo en calidad, estos fueron los suelos con prácticas agrícolas tradicionales y el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos, los cuales se deben tomar en cuenta los siguientes pasos

A. Nivelación: Realizar en los campos que lo requieran la nivelación del terreno, para eliminar montículos, depresiones y desniveles, que ocasionan encharcamiento y la organización de la escorrentía.

B. Preparación del suelo: Sustituir el sistema convencional (6 o 7 labores) por el sistema conservacionista (laboreo mínimo).

- Reducir el número de labores a 2 o 3.
- Evitar el mullido excesivo de suelo y realizarlo solo en función del tipo de semilla a establecer.
- Reducir el tiempo que el suelo permanece descubierto o desnudo a no más de 20 días.
- Realizar las labores de labranza en el momento óptimo (tempero).
- La profundidad de la aradura será entre 20-30 cm, en dependencia de la profundidad efectiva del suelo o según el hábito radical del cultivo
- Evitar el uso de equipos pesados para disminuir la compactación del suelo.
- Introducir aperos de corte horizontal como el multi arado que facilitan dejar restos orgánicos en la superficie y reducen el uso de gradas y de labores innecesarias.
- Reducir el uso de arados de discos y gradas que invierten el prisma del suelo, entierra los restos orgánicos y crean piso de labor.
- Fomentar el uso del tiller como apero de mullido que deja a su vez mayor número de restos orgánicos en superficie y posibilita la infiltración del agua, evitando el desarrollo de procesos erosivos.

C. Momento de siembra: Realizar las siembras de los cultivos de primavera antes del comienzo de las lluvias el suelo tenga una cubierta vegetativa que lo proteja.

D. Manejo de la pendiente



- Sentido del laboreo: Se realizará en sentido perpendicular a la mayor pendiente en todos los suelos potencialmente erosionables, puede resultar la única medida necesaria por su efectividad en aquellos campos con pendiente ligeras entre 0,5-2 %.
 - Siembra en contorno: Cuando las pendientes estén comprendidas entre 2 y 5 %. Consiste en disponer las líneas de siembra y realizar todas las labores de cultivo en forma transversal a la pendiente, en curvas de nivel o contorno, conservando la fertilidad del suelo y el aprovechamiento de la humedad al proteger los terrenos de las escorrentías. 24
 - barreras vivas. Se realizará además del contorno en aquellos campos en que la pendiente sea superior al 5 %. Son hileras de plantas sembradas transversalmente a la pendiente casi siempre por las curvas de nivel, dispuestas en el terreno a 30 m una de otra y 2 m de ancho, pudiendo ser de vegetación natural o de algún cultivo en específico.
- E. Realizar las siembras de los cultivos de primavera antes del comienzo de las lluvias para que al comenzar las mismas, el suelo tenga una cubierta vegetativa que lo proteja.
- F. Labores de cultivo
- Organizar, perpendicular a la mayor pendiente, los residuos de las cosechas para amortiguar el volumen de escurrimiento del agua.
 - Utilizar la tracción animal en las labores de cultivo, para disminuir la compactación del suelo.
 - Establecer cultivos intercalados o asociación, que cubren mayor superficie de suelo e incrementa el índice de utilización de la tierra.
- G. Enmienda orgánica.
- Fuentes de Abonos orgánicos: Localizar y cuantificar las fuentes cercanas de abonos orgánicos para incrementar el uso de las mismas como mejoradores y conservadores del suelo.
 - Dosis y formas de aplicación:
 - Aplicar localizado 4-6 t/ha de estiércol vacuno, compost, gallinaza o humus de lombriz.
 - Aplicar 11,5 kg/planta de estiércol vacuno, compost y gallinaza en los cultivos.
 - Fomentar el uso de la fosforita a razón de 20 l/ha.



6. CONCLUSIONES

El suelo con algunas prácticas de manejo y conservación resultó con la mayor calidad (**41,07%**). El suelo con uso intensivo reciente tuvo una calidad intermedia (**30,27%**). El suelo del bosque nativo de galerías lo ubica en una calidad baja (**15,06%**). El suelo con prácticas agrícolas tradicionales con una calidad muy baja (**13,58%**).

Las propiedades hidrofísicas de los suelos evaluados indicaron que las propiedades que mejor cumplen para conformar el Conjunto Mínimo de Indicadores (CMI) son la **estructura, infiltración, materia orgánica, densidad aparente y porosidad**.

Los valores obtenidos del CMI serán los límites críticos para evaluar suelos con características similares o de la misma zona de estudio indicando si un suelo empeora, mantiene o mejora su calidad en el tiempo.

La Clasificación Ascendente Jerárquica (CAJ) mostro que existe una correlación entre el Suelo con Prácticas Agrícolas Tradicionales y el Suelo con Intervención Reciente en Cultivos Intensivos con una distancia de 13%. De igual manera el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación y el suelo de bosque nativo de galería obtuvieron una distancia de 34%.

Las características hidrofísicas de los suelos estudiados que se mantienen en el rango óptimo de agricultura aprovechable es el suelo con algunas prácticas de manejo y conservación y el suelo con prácticas agrícolas tradicionales no es apto para la agricultura.

El suelo con prácticas agrícolas tradicionales y el suelo con intervención reciente en cultivos intensivos se deben someter a un plan de manejo y conservación, para que mitigue los impactos negativos sobre el mal uso de prácticas agrícolas que se ha tenido durante el tiempo de explotación agropecuaria.

Los suelos estudiados pertenecen al valle aluvial del río Aipe, pero su uso y manejo lo han diferenciado en gran medida, por el cual se requiere un estudio de reclasificación de suelos para esta zona.

Las propiedades como espesor del perfil, horizonte, elementos gruesos, textura, pH, grado de pendiente, porosidad, densidad aparente, estructura, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, CO y la infiltración, fueron propiedades importantes e indicativas de la calidad del suelo.

Se identificó en el suelo con prácticas Agrícolas Tradicionales su destrucción parcial, por el movimiento de materiales debido a la actividad agrícola.



7 BIBLIOGRAFÍA

Adrianse, A., 1993. *Environmental Policy Performance Indicators. A Study on the Development of Indicators for Environmental Policy in the Netherlands.* The Netherlands.: Uitgeverij Koninkinnergrach.

aipe, g. d., 2015. *aipe.* aipe: aipe.

Almendros, G., 1995. *Sorptive interactions of pesticides in soils treated with modified humid acids.* s.l.:European Journal of Soil Science.

Altieri, M. A., 1996. *Bases agroecológicas para una agricultura sostenible.* la habana: En Agroecología .

Andrews, S. S. & Carroll, C. R., 2001. *Designing a Soil Quality Assessment Tool for Sustainable Agroecosystem Managemen.* s.l.:Ecological Applications.

Arshad, M. A., Lowery, B. & Grossman, B., 1992. *methods for assessing soil quality.* s.l.:society agrosistemas.

Barrow, C. J., 1991. *Land Degradation, Development and Breakdown of Terrestrial Environments.* Cambridge: Cambridge University Press.

Becerra, M. A., 1999. *escorrentia, erosion, y conservacion de suelos.* mexico: universidad autonoma de chapingo.

Brandy, N. C. & Weil, R. R., 2002. *then nature and properties of soils.* amsterdam: prentice hall upper saddle river.

Bullock, P., 1985. *hanbook for soil thin section description.* s.l.:s.n.

Cairo, P., 1995. *La Fertilidad Física de Suelo y la Agricultura Orgánica en el Trópico.* Managua: Universidad Nacional Agraria.

Campbell, D. J. & Henshall, J. K., 1991. *Bulk Density.* En K.A. Smith y Ch. E. Mullis: *Soil analysis.* Marcel Deber. New York : s.n.

Carter , M. R. y otros, 1997. *concepts of soil quality and their significanse.* netherlands, amsterdam, elsevier: soil quality for crop production and ecosystem health.

Ceja, M. C., 2008. *degradacion de los suelos.* mexico: mexico.

Chartres, C. J. & Geeves, G. W., 1998. The impact of soil seals and creests on soil water balance and runoff and their relationship with land management.. *Advances in GeoEcology*, Volumen 31, pp. 539-548.



- Cobertera, E., 1993. *Edafología Aplicada*. madrid: catedra.
- Dexter, A. R., 2004. *soil physical quality part I theory, efeccts of soil texture, density, and organic matter, and efeccts on root growth*. 1 ed. s.l.:geoderma.
- Donahue, R. L., Miller, R. W. & Shickluna, J. C., 1983. *Soils, An Introduction to Soils and Plant Growth*. 5th ed. Englewood Cliffs(New Jersey): Prentice-Hall. Inc..
- Doran, J. W., Liebing, M. A. & Sarrantonio, M., 1996b. *Soil Health and Sustainability*. Advances in Agronomy ed. San Diego(California): Academic Press.
- Doran, J. W. & Parkin, T. B., 1994. *defining and assessing soil quality*. america: america madison.
- Doran, J. W. & Safey, M., 1997. *defining and assessing soil health and sustainable productivity*. international wallinfor ed. pankhurst: biological indicators of soil health.
- Doran, R. L., Miller, R. W. & Shickluna, J. C., 1983. *Soils, An Introduction to Soils and Plant Growth*. 5 ed. Englewood Cliffs(New Jersey): Prentice-Hall. Inc..
- Douglas, L., Karlen, A., Ditzler, S. & Andrews, D. L., 2003. *Soil Quality: Why and How?*. s.l.:Journal of Elsevier.
- Dumanski, Gameda, S. & Pieri, C., 1998. *Indicators of Land Quality and Sustainable Land Management*. Washington DC, USA: The world bank.
- Duran, 1997. *procesos de formacion del suelo*. s.l.:facultad de agronomia cod 420.
- EE.UU, d. d. a. d. l., 1994. *comite para reconocimiento de suelos*. s.l.:claves de taxonomia de reconocioento de suelos sexta edicion.
- EPA S.A. E.S.P, 2013. *Formulación del Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental de la Cuenca Hidrografica de los Rios Aipe y Bache en el Municipio de Aipe*, Aipe: s.n.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C. & Clark, R. B., 2002. Micronutrients in Crop Production. *Advances in Agronomy* , Issue 77, pp. 185-268.
- FAO, 1993. *FAO*. s.l.:s.n.
- FAO, 2009. *guia para la descripcion de suelos*. roma: nairobi.
- FAO, 2015. *Año Internacional de los Suelos*. [En línea] Available at: <http://www.fao.org/soils-2015/es/> [Último acceso: 28 octubre 2014].



FAO & IITA, 2000. Bolrtin de Tierras y Agua de la FAO. En: L. Chalk, ed. *Manual de Prácticas Integradas de Manejo y Conservación de Suelos*. Roma: FAO.

Gomez , P. & Romero, G., 2004. *evaluacion de la degradacion y la reserva energetica del suelo en tres sistemas de cultivos de caña de azucar en el valle del cauca - el cerrito.trabajo de grado(ing. agricola)*. palmira: universidad nacional.

Hakansson, I. & Voorhees, W. B., 1998. *Soil compaction*. Boca Raton(Florida): CRC Press.

Harris, R. F. & Bezdicek, D. F., 1994. *Descriptive Aspects of Soil Quality*. In: J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, and B. A. Stewart. SSSA Spec. Pub. No. 35. ASA, CSSA, and SSSA ed. MADISON: Defining Soil Quality for a Sustainable Environment.

Henriquez, H. & Cabalceta, G., 1999. *Guía práctica para el estudio Introductorio de los suelos con un enfoque agrícola*. Primera ed. San Jose: ACC.

Hernández, J., 2006. *el suelo. fundamentos sobre su formacion, los cambios globales y su manejo*. primera edicion ed. s.l.:s.n.

IGAC, IDEAM, MAVDT, 2010. *PROTOCOLO PARA LA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS DE DEGRADACION DE SUELOS Y TIERRAS POR EROSION*, Bogota: s.n.

IGAC, 1994. *ESTUDIO GENERAL DE SUELOS DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA*, Bogota: Instituto Geografico Agustín Codazzi.

Jaramillo, D. F., 2002. *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellin: Universidad Nacional de Colombia.

Karlen, D. L. y otros, 1997. *soil quality: a concept definition, and framework for evaluation..* EEUA: soil science society of america journal.

Kettler, T. A. y otros, 2000. *Soil Quality Assessment After Weed control Tillage in a no-till Wheat-Fallow Cropping System*. s.l.:Soil Sci.

Lal, R., 1994. *methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics*. 21 ed. estados unidos de america: the ohio state university,columbus.

Larson, W. E. & Pierce, F. J., 1994. *Conservation and Enhancement of Soil Quality*. In *Evaluation for sustainable land management in the developing world*. Bangkok: International Board for Research and Management.



Logan, T. J., 1990. *Chemical degradation of soil*. Springer-Verlag(New York): R. Lal, B.A. Stewart.

Lopez Falcon, R., 2002. *Degradación del Suelo: causas, procesos, evaluación e investigación*. Mérida: CIDIAT.

Magdoff, F. & Weil, R. R., 2004. *soil organic matter in sustainable agriculture..* new york: crc.

Martinez , P., Iberra, O. & Zarate, R., 1999. *estudio hidrogeologico del suelo*. mexico: 4.

Masera, O. M., Astier, S., Lopez & Ridaura, 1999. *sustentabilidad y manejo de recursos naturales*. mexico: mundi prensa.

Mullins, C. E., 1998. *Hardsetting*. Boca Raton(Florida): CRC Press.

Naranjo, E. H. & Motta, H. H., 1990. *Efecto del Uso y Manejo de los Suelos del Centro Experimental Tarpeya, Sobre Algunas características Fisicas*, Neiva: s.n.

Navarro Bravo, A. y otros, 2008. *Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos*, s.l.: Agricultura Técnica en México.

Núñez Solis, J., 1981. *Fundamentos de Edafología*. San Jose: Universidad Estatal a Distancia EUNED.

Parr, J. F., Papendick, R. I., Hornick, S. B. & Meyer, R. E., 1992. *Soil Quality: Attributes y Relationship to Alternative and Sustainable Agriculture. Journal of Alternative Agriculture*. s.l.:s.n.

Perez, J. L. & Rodonet, L., 1995. . *La turba como enmendante orgánico de los suelos dedicados al. .* Inst. Invest. Tabaco. La Habana ed. Habana: s. Reunión Nacional .

Pierce, F. E. & Larson, W. E., 1994. *conservation and enchancement of soil quality*. thailand: IBSRAMP.

Porta, J. & Lopez, M., 2005. *agenda de campo de suelos:informacion de suelos para la agricultura y el medio ambiente*. mexico: mundi-prensa.

Porta, J., Lopez, M. & Poch, R., 2008. *Introduccion a la Edafología*. Mexico: Mundi - Prensa.

Porta, J., Lopez, M. & Roquero, C., 1999. *edafología:para la agricultura y el medio ambiente*. madrid: mundi- prensa.



Quintana, J., Blandón, J., Flores, A. & Mayorga, E., 1983. *Manual de Fertilidad para los Suelos de Nicaragua*. Managua: Primer Territorio Libre de América Ithaca.

Rhagavan, G. S., Alvo, P. & Mc Kyes, E., 1990. *Soil compaction in agriculture: a view toward managing the problem..* Springer-Verlag(New York): Soil Degradation. Advances in Soil Science.

Rodriguez, R., 1986. *El laboreo mínimo de los suelos. Revista Mecanización de la Agricultura..* s.l.:s.n.

Sarrantonio, M., Doran, J. W., Liebig, M. A. & Halvorson, J. J., 1996. *manual de conservacion del suelo y el agua*. madison: science society of america.

Seibold, C. A., Mausbash, M. J., Karlen, D. L. & Rogers, H. H., 1997. . *Quantification of Soil Quality*. In R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett and B.A. Stewart. CRC ed. Washington, D.C., USA: Soil Processes and the Carbon Cycle.

SEMARNAT, 2002. *evaluacion de la degradacion del suelo causada por el hombre en la republica mexicana*. mexico: postgraduados.

Singer, M. J. & Ewing, S., 2000. *Soil Quality*. En *Handbook of Soil Science*. Sumner, M. E ed. Florida: En Handbook of Soil Science.

S, Q. I., 1996. *Indicators for Soil Quality Evaluation*. USDA, Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Institute. Agricultural Research Service. USA: s.n.

Summer, M. E., 1998. *Acidification*. Advances in Soil Science ed. Boca Raton.(Florida): CRC Press.

Szabolcs, I., 1998a. *Soil buildup as a factor of soil degradation..* Boca Raton(Florida): CRC Press.

Titonell, P., 2004. *el carbono organico en los suelos de la region central de argentina.tesis de maestria*. rio: universidad nacional del rio cuarto.

Truog, E., 1948. *lime in relation to availability of plant nutrients*. s.l.:soil.

USDA, 1970. *Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos*. Agencia para el Desarrollo Internacional ed. s.l.:Departamento de Agricultura de los EE.UU.

USDA, 2004. *national soils hanbook,soil conservation service*. s.l.:s.n.

Vazquez, M. E. y otros, 1990. *Evaluación de la Estabilidad Estructural y Diferentes Propiedades Químicas Según el Uso de los Suelos en Tres Áreas de la Pradera Pampeana*. s.l.:ciencia del suelo.



Watler, R. & Thompson, C., 2002. *Clasificación y Caracterización Taxonómica Agrológica de los suelos de la Microcuenca Cuscamá, con una propuesta Agro ecológica del uso mayor de la Tierra*. El Tuma - La Dalia: s.n.

Wilding, L. P., Smeck, N. E. & Hall, G. F., 1983. *pedogenesis and soil taxonomy .I concepts and interactions*. amsterdam: elsevier.



Anexos

Anexo A

Descripción del perfil en campo de suelo con prácticas agrícolas tradicionales

| Perfil de suelo | Pat | Unidad cartográfica | Complejo vxga |
|---------------------------------------|---|------------------------|--------------------------|
| Localización | Vereda la manga | Altura s.n.m. | 429.7 |
| Paisaje | Valle | Clima edáfico | Údico - isohipertérmico |
| Relieve macro | Terraza | Relieve micro | Plano |
| Pendiente | 4 % | Erosión | Ligera |
| Susceptibilidad a erosión | Por escorrentía en riego superficial, antrópica | | |
| Vegetación natural | Matarratón, guácimo, dinde, cactus | | |
| Susceptibilidad a mecanización | Si | Uso actual | Arroz |
| Grupo textural | Liviano | Aptitud riego | Buena |
| Nivel freático | No se encontró | Prof. efectiva | 40 cm |
| Drenaje natural | Moderadamente bien drenado | Inundabilidad | Riego por curvas a nivel |
| Drenaje externo | Medio | Drenaje interno | Medio |
| Material parental | Sedimentario, de origen coluvial | | |
| Horizonte | O | A | |
| PROFUNDIDAD (cm) | 0 – 4 | 4 – 40 | |
| Limites | Ondulado gradual | Ondulado gradual | |
| Color en húmedo | 5YR2.5/1 | 10yr3/2 | |
| Textura | Franco arcillo arenoso | Franco arcillo arenoso | |
| Estructura tipo | Granular | Masiva - grumosa | |
| Estructura clase | Muy fino | Fino | |
| Estructura grado | Débil | Débil | |
| Consistencia seco | Suelto | Suelto | |
| Consistencia húmedo | Friable | Friable | |
| Plasticidad | Pegajosa y plástica | Pegajosa y plástica | |
| Poros | 1-2 mm | 1-2 mm | |
| Macroorganismos | Poca | Poca | |
| Raicillas | Común | Pocas | |
| Observaciones | Se presentó día soleado. Lluvias ligeras 2 días antes de la descripción. | | |



Análisis hidráulico del suelo con prácticas tradicionales

| par | Kfs (cm/min) | | potencial mátrico (cm ² /min) | | Sortividad (cm*h ^{-1/2}) | | VI (cm/min) | Clase |
|-----|-----------------|-----------|---|-----------|---------------------------------------|-----------|----------------|-------|
| | h (5 cm) | h (10 cm) | h (5 cm) | h (10 cm) | h (5 cm) | h (10 cm) | | |
| M1 | 7,16E-04 | 1,04E-03 | 1,19E-03 | 1,74E-03 | 0,67 | 1,03 | 40,44 | ML |
| M2 | 7,16E-04 | 1,57E-03 | 1,05E-03 | 2,61E-03 | 0,67 | 1,03 | 53,79 | ML |
| M3 | 7,16E-04 | 2,09E-03 | 1,05E-03 | 3,48E-03 | 0,67 | 1,03 | 51,1 | ML |

Kfs=conductividad hidráulica suelo saturado; h=carga hidráulica; ML= moderadamente lento; VI=velocidad de infiltración; .Par=parámetro; M=muestra

Proporción de tierra fina y elementos gruesos

| Horizonte | Tierra Fina % (< 2 mm) | Fragmentos Gruesos % (> 2 mm) |
|------------------|---------------------------|----------------------------------|
| O | - | - |
| A | 63 | 37 |
| Sumatoria | 63% | 37% |

Análisis físicos del suelo con prácticas agrícolas tradicionales

| M | Ar (%) | L (%) | A (%) | Tex | Estabilidad estructural | | | | Da (gr/cm ³) | Dr (gr/cm ³) | Po (%) |
|---|--------|-------|-------|------|-------------------------|-----|-------------|-----|-----------------------------|-----------------------------|--------|
| | | | | | DPM (mm) | Int | DGM (mm) | Int | | | |
| 1 | 27,2 | 25,3 | 48 | FArA | 0,1 | Ine | 0,6 | Le | 1,6 | 2,3 | 33,3 |
| 2 | 24,6 | 25 | 50,4 | FArA | 0,07 | Ine | 0,6 | Le | 1,8 | 2,3 | 22,7 |
| 3 | 24,7 | 28,4 | 46,9 | FArA | 0,26 | Ine | 1,2 | Me | 1,6 | 2,1 | 26,6 |

M= muestra; Ar=arcilla;L=limo; A=arena; Tex=textura; DPM= diámetro promedio métrico; DGM= diámetro geométrico medio; Int= interpretación; DAp=densidad aparente; DR=densidad real; Po= porosidad; Pr=presión; P=prueba; F=franco; Le=ligeramente estable; In=interpretación; Me=moderadamente estable; Ine=inestable

Retención de humedad del suelo con prácticas agrícolas tradicionales

| presión(bar) | Humedad (%) |
|--------------|-------------|
| 0,25 | 23,95 |
| 0,5 | 22,1 |
| 1 | 17,15 |
| 3 | 17 |
| 5 | 10,05 |
| 13 | 9,5 |

Análisis químicos del suelo con práctica agrícola tradicional

| M | pH | CE (mS/cm) | CIC (meq/100gr) | Co (%) | MO (%) |
|---|-----|---------------|--------------------|-----------|-----------|
| 1 | 6,5 | 115,3 | 14,4 | 0,4 | 0,6 |
| 2 | 6,6 | 136,8 | 14,3 | 0,4 | 0,6 |
| 3 | 6,6 | 134,6 | 13,9 | 0,4 | 0,6 |
| 4 | 6,2 | 135,3 | 13,6 | 0,5 | 0,5 |

CE=conductividad eléctrica; CIC=capacidad de intercambio catiónico; Co= carbono orgánico; Mo=materia orgánica



Anexo B

Descripción del perfil en campo de suelo con algunas prácticas de manejo y conservación

| PERFIL DE SUELO | PAT | | UNIDAD CARTOGRÁFICA | COMPLEJO VXGa |
|---------------------------------------|---|------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| LOCALIZACIÓN | Vereda La Manga | | ALTURA S.N.M. | 410.735 |
| PAISAJE | Valle | | CLIMA EDÁFICO | Údico - Isohipertérmico |
| RELIEVE MACRO | Terraza | | RELIEVE MICRO | Plano |
| PENDIENTE | 4% | | EROSIÓN | Ligera |
| SUSCEPTIBILIDAD A EROSIÓN | Por escorrentía en riego superficial, antrópica | | | |
| VEGETACIÓN NATURAL | Matarraton, Guácimo, Dinde | | | |
| SUSCEPTIBILIDAD A MECANIZACIÓN | Si | | USO ACTUAL | algodón |
| GRUPO TEXTURAL | Liviano | | APTITUD RIEGO | Buena |
| NIVEL FREÁTICO | No Se Encontró | | PROFUNDIDAD EFECTIVA | 20 Cm |
| DRENAJE NATURAL | Moderadamente bien drenado | | INUNDABILIDAD | Riego por curvas a nivel |
| DRENAJE EXTERNO | Medio | | DRENAJE INTERNO | Medio |
| MATERIAL PARENTAL | Sedimentario, de Origen Coluvial | | | |
| HORIZONTE | O | A | B | B1 |
| PROFUNDIDAD (cm) | 0 – 4 | 7-16 | 16-20 | 20-40 |
| LIMITES | Ondulado Gradual | Ondulado Gradual | Ondulado Gradual | Ondulado Gradual |
| COLOR EN HUMEDO | 5YR2.5/1 | 10YR3/2 | 10YR3/2 | 10YR3/2 |
| TEXTURA | Franco Arcillo Arenoso | Franco Arcillo Arenoso | Franco Arcillo Arenoso | Franco Arcillo Arenoso |
| ESTRUCTURA TIPO | Granular | Masiva – Grumosa | masiva-grumosa | Masiva - Grumosa |
| ESTRUCTURA CLASE | Muy fino | Fino | fino | Fino |
| ESTRUCTURA GRADO | moderado | Moderado | moderado | moderado |
| CONSISTENCIA SECO | Suelto | Suelto | Suelto | suelto |
| CONSISTENCIA HÚMEDO | Friable | Friable | friable | Friable |
| PLASTICIDAD | Pegajosa y plástica | Pegajosa y Plástica | Pegajosa y plástica | Pegajosa y Plástica |
| POROS | 1-2 mm | 1-2 mm | 1-2 mm | 1-2 mm |
| MACROORGANISMOS | común | Común | común | común |
| RAICILLAS | Común | Común | Común | Pocas |
| OBSERVACIONES | Lluvias 2 días antes de la descripción del suelo. | | | |



Descripción de los análisis hidráulicos del suelo con algunas prácticas de manejo y conservación

| par | kfs (cm/min) | | potencial matrico (cm ² /min) | | Sortividad (cm*h ^{-1/2}) | | VI (min/cm) | Clase |
|-----|-----------------|----------|---|----------|---------------------------------------|----------|----------------|-------|
| | h(5 cm) | h(10 cm) | h(5 cm) | h(10 cm) | h(5 cm) | h(10 cm) | | |
| M1 | 5,1E-04 | 1E-03 | 7,19E-03 | 1,7E-03 | 0,65 | 1,1 | 139,4 | M |
| M2 | 5,1E-04 | 1,5E-03 | 7,15E-03 | 2,6E-03 | 0,65 | 1,1 | 155,4 | M |
| M3 | 5,1E-04 | 1,4E-03 | 7,1E-03 | 2,5E-03 | 0,65 | 1,1 | 185 | M |

Kfs=conductividad hidráulica suelo saturado; h=carga hidráulica; M= moderadamente; VI=velocidad de infiltración; Par=parámetro; M=muestra

Elementos gruesos y finos del suelo con algunas prácticas de manejo y conservación

| Símbolo del horizonte | Tierra Fina % (< 2 mm) | Elementos Gruesos % (> 2 mm) |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|
| O | - | - |
| A | 28 | 12 |
| B | 10 | 20 |
| C | 17 | 13 |
| Sumatoria | 55 | 45 |

Descripción de los análisis físicos de los suelos con algunas prácticas de manejo y conservación

| M | Ar (%) | L (%) | A (%) | TEX | estabilidad estructural | | | | Da (gr/cm3) | Dr (gr/cm3) | Po (%) |
|---|--------|-------|-------|------|-------------------------|-----|-------------|-----|----------------|----------------|--------|
| | | | | | DPM (mm) | Int | DGM (mm) | Int | | | |
| 1 | 24,1 | 14,1 | 61,9 | FARa | 2,1 | Me | 2,2 | Me | 1,5 | 2,9 | 48,8 |
| 2 | 23,4 | 18,3 | 58,3 | FARa | 0,7 | Le | 1,1 | Le | 1,7 | 2,7 | 38 |
| 3 | 21,8 | 20,1 | 58,2 | FARa | 0,8 | Le | 1,2 | Le | 1,6 | 1,8 | 10,4 |

M= muestra; Ar=arcilla; L=limo; A=arena; Tex=textura; DPM= diámetro promedio métrico; DGM= diámetro geométrico medio; Int= interpretación; DAp=densidad aparente; DR=densidad real; Po= porosidad; Pr=presión; P=prueba; H= humedad; F=franco; Le=ligeramente estable; Me=moderadamente estable

Retención de humedad

| Presión (bar) | Humedad (%) |
|---------------|-------------|
| 0,25 | 18,3 |
| 0,5 | 17,5 |
| 1 | 14 |
| 3 | 11 |
| 5 | 10 |
| 13 | 9,1 |

Análisis químicos del suelo con algunas prácticas de manejo y conservación

| M | pH | CE (mS/cm) | CIC (meq/100gr) | Co (%) | Mo (%) |
|---|-----|---------------|--------------------|-----------|-----------|
| 1 | 7,3 | 554 | 14,35 | 0,78 | 1,34 |
| 2 | 7,4 | 561 | 14,71 | 0,97 | 1,67 |
| 3 | 7,4 | 556 | 15,45 | 0,89 | 1,54 |
| 4 | 6,9 | 558 | 13,97 | 1,01 | 1,73 |

CE=conductividad eléctrica; CIC=capacidad de intercambio catiónico; Co= carbono orgánico; Mo=materia orgánica; M=muestra



Anexo C

Descripción del suelo con intervención reciente en cultivos intensivos

| PERFIL DE SUELO | PAT | UNIDAD CARTOGRÁFICA | COMPLEJO VXGa |
|---------------------------------------|---|-----------------------------|--------------------------|
| LOCALIZACIÓN | Vereda La Manga | ALTURA S.N.M. | 410.735 |
| PAISAJE | Valle | CLIMA EDÁFICO | Údico - Isohipertérmico |
| RELIEVE MACRO | Terraza | RELIEVE MICRO | Plano |
| PENDIENTE | 0% | EROSIÓN | Ligera |
| SUSCEPTIBILIDAD A EROSIÓN | Por escorrentía en riego superficial, antrópica | | |
| VEGETACIÓN NATURAL | Matarraton, Guácimo, Dinde | | |
| SUSCEPTIBILIDAD A MECANIZACIÓN | Si | USO ACTUAL | arroz |
| GRUPO TEXTURAL | Liviano | APTITUD RIEGO | Buena |
| NIVEL FREÁTICO | No Se Encontró | PROFUNDIDAD EFECTIVA | 20 Cm |
| DRENAJE NATURAL | Moderadamente bien drenado | INUNDABILIDAD | Riego por curvas a nivel |
| DRENAJE EXTERNO | Medio | DRENAJE INTERNO | Medio |
| MATERIAL PARENTAL | Sedimentario, de Origen Coluvial | | |
| HORIZONTE | O | A | B |
| PROFUNDIDAD (cm) | 0-6 | 6-18 | 18- 40 |
| LIMITES | Ondulado Gradual | Ondulado Gradual | Ondulado Gradual |
| COLOR EN HUMEDO | 10YR2/2 | 10YR3/4 | 10YR 6.5/3 |
| TEXTURA | Franco Arcillo Arenoso | Franco Arcillo Arenoso | Franco Arcillo Arenoso |
| ESTRUCTURA TIPO | Granular | masiva-grumosa | masiva- grumosa |
| ESTRUCTURA CLASE | Muy fino | muy fino | muy fino |
| ESTRUCTURA GRADO | moderado | moderado | moderado |
| CONSISTENCIA SECO | Suelto | Suelto | suelto |
| CONSISTENCIA HÚMEDO | Friable | friable | friable |
| PLASTICIDAD | Pegajosa y plástica | Pegajosa y plástica | Pegajosa y plástica |
| POROS | 1-2 mm | 1-2 mm | 1-2 mm |
| MACROORGANISMOS | común | común | común |
| RAICILLAS | Común | Común | Común |
| OBSERVACIONES | 2 días antes de la descripción hubo presencia de llluvias ligeras | | |



Análisis hidráulico suelo con intervención reciente en cultivos intensivos

| par | kfs (cm/min) | | potencial matricio (cm ² /min) | | Sortividad (cm*h ^{-1/2}) | | VI (cm/min) | Clase |
|-----|-----------------|----------|--|----------|---------------------------------------|----------|----------------|-------|
| | h(5 cm) | h(10 cm) | h(5 cm) | h(10 cm) | h(5 cm) | h(10 cm) | | |
| M1 | 2,5E-03 | 6,78E-03 | 1,1E-03 | 2,8E-03 | 0,7 | 1,1 | 52,8 | ML |
| M2 | 2,5E-03 | 5,09E-03 | 1,1E-03 | 2,1E-03 | 0,7 | 1,1 | 37,0 | ML |
| M3 | 2,5E-03 | 6,78E-03 | 1,1E-03 | 2,8E-03 | 0,7 | 1,1 | 36,1 | ML |

Kfs=conductividad hidráulica suelo saturado; h=carga hidráulica; ML= moderadamente lento; VI=velocidad de infiltración; Par=parámetro; M=muestra

Proporción tierra fina y elementos gruesos del suelo con intervención reciente en cultivos intensivos

| Símbolo del horizonte | Tierra Fina (%) (< 2 mm) | Elementos Gruesos (%) (> 2 mm) |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| O | | |
| A | 15 | 30 |
| A-B | 42 | 13 |
| Sumatoria | 57 | 43 |

Análisis físicos de los suelos con intervención reciente en cultivos intensivos

| M | AR (%) | LI (%) | A (%) | TEX | estabilidad estructural | | | | DAp (gr/cm3) | DR (gr/cm3) | Po (%) |
|---|--------|--------|-------|-----|-------------------------|-----|-------------|-----|-----------------|----------------|-----------|
| | | | | | DPM (mm) | Int | DGM (mm) | Int | | | |
| 1 | 26,9 | 28,6 | 44,4 | FAR | 2,1 | Me | 3,7 | E | 1,5 | 2,2 | 33,3 |
| 2 | 27,6 | 35 | 37,4 | F | 0,8 | Le | 2 | Me | 1,3 | 1,9 | 32,1 |
| 3 | 26,3 | 32,3 | 41,4 | F | 1,1 | Le | 2,1 | Me | 1,5 | 2,3 | 35,3 |

M= muestra; AR=arcilla; L=limo; A=arena; Tex=textura; DPM= diámetro promedio métrico; DGM=diámetro geométrico medio; Int= interpretación; DAp=densidad aparente; DR=densidad real; Po= porosidad; Pr=presión; P=prueba; H= humedad; F=franco; Le=lento; In=interpretación; Me=moderadamente estable Le=ligeramente estable; E = estable

Análisis retención de humedad de los suelos con intervención reciente en cultivos intensivos

| Presión (bar) | Humedad (%) |
|---------------|-------------|
| 0,25 | 31,15 |
| 0,5 | 29,05 |
| 1 | 25,25 |
| 3 | 19,25 |
| 5 | 16,25 |
| 13 | 14,1 |

Análisis químicos del suelo con intervención reciente en cultivos intensivos

| M | pH | CE (mS/cm) | CIC (meq/100gr) | Co (%) | Mo (%) |
|---|-----|---------------|--------------------|-----------|-----------|
| 1 | 6,6 | 203,3 | 13,18 | 0,67 | 1,16 |
| 2 | 6,6 | 199,3 | 13,17 | 0,83 | 1,44 |
| 3 | 6,7 | 175,1 | 13,97 | 0,81 | 1,4 |
| 4 | 6,1 | 182,3 | 14,37 | 0,83 | 1,44 |

CE=conductividad eléctrica; CIC=capacidad de intercambio catiónico; Co= carbono orgánico; Mo=materia orgánica; M=muestra.



Anexo D

Descripción del suelo con bosque nativo de galerías

| PERFIL DE SUELO | PAT | UNIDAD CARTOGRÁFICA | COMPLEJO VXGa |
|---------------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------|
| LOCALIZACIÓN | Vereda La Manga | ALTURA S.N.M. | 427.661 |
| PAISAJE | Valle | CLIMA EDÁFICO | Údico - Isohipertérmico |
| RELIEVE MACRO | Terraza | RELIEVE MICRO | Plano |
| PENDIENTE | 5% | EROSIÓN | Ligera |
| SUSCEPTIBILIDAD A EROSIÓN | Por escorrentía en riego superficial, antrópica | | |
| VEGETACIÓN NATURAL | Matarraton, Guácimo, Dinde | | |
| SUSCEPTIBILIDAD A MECANIZACIÓN | no | USO ACTUAL | bosque |
| GRUPO TEXTURAL | Liviano | APTITUD RIEGO | Buena |
| NIVEL FREÁTICO | No Se Encontró | PROFUNDIDAD EFECTIVA | 20 Cm |
| DRENAJE NATURAL | Moderadamente bien drenado | INUNDABILIDAD | Riego por curvas a nivel |
| DRENAJE EXTERNO | Medio | DRENAJE INTERNO | Medio |
| MATERIAL PARENTAL | Sedimentario, de Origen Coluvial | | |
| HORIZONTE | O | A | B |
| PROFUNDIDAD (cm) | 0-12 | 12-20 | 20- 40 |
| LIMITES | Ondulado Gradual | Ondulado Gradual | Ondulado Gradual |
| COLOR EN HUMEDO | 10YR2/2 | 10YR3/4 | 10YR 6.5/3 |
| TEXTURA | Franco Arcillo Arenoso | Franco Arcillo Arenoso | Franco Arcillo Arenoso |
| ESTRUCTURA TIPO | Granular | masiva-grumosa | masiva- grumosa |
| ESTRUCTURA CLASE | Muy fino | muy fino | muy fino |
| ESTRUCTURA GRADO | moderado | moderado | moderado |
| CONSISTENCIA SECO | Suelto | Suelto | suelto |
| CONSISTENCIA HÚMEDO | Friable | friable | friable |
| PLASTICIDAD | Pegajosa y plástica | Pegajosa y plástica | Pegajosa y plástica |
| POROS | 1-2 mm | 1-2 mm | 1-2 mm |
| MACROORGANISMOS | común | común | común |
| RAICILLAS | Común | Común | Común |
| OBSERVACIONES | 2 días antes de la descripción hubo presencia de lluvias ligeras | | |



Análisis hidráulicos del suelo bosque nativo de galerías

| Par | Kfs (Cm/Min) | | Potencial Matrico (Cm ² /Min) | | Sortividad (Cm*H ^{1/2}) | | Vi (Min/Cm) | Clase |
|-----|-----------------|--------------|---|--------------|--------------------------------------|--------------|----------------|-------|
| | H (5 Cm) | H (10 Cm) | H(5 Cm) | H (10 Cm) | H(5 Cm) | H (10 Cm) | | |
| M1 | 6,70E-02 | 4,40E-02 | 3,10E-03 | 2,00E-03 | 0,7 | 1,1 | 8,4 | Mr |
| M2 | 6,70E-02 | 5,30E-02 | 3,10E-03 | 2,40E-03 | 0,7 | 1,1 | 12,5 | Mo |
| M3 | 5,80E-02 | 5,70E-02 | 2,70E-03 | 2,60E-03 | 0,7 | 1,1 | 16,6 | Mo |

Kfs=conductividad hidráulica suelo saturado; H=carga hidráulica; Mr= moderadamente rápido; Mo=moderado; Vi=velocidad de infiltración; Par=parámetro; M=muestra

Proporción de tierra fina y elementos gruesos del suelo bosque nativo de galerías

| Símbolo del horizonte | Tierra Fina(%) (< 2 mm) | Elementos Gruesos(%) (> 2 mm) |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------------|
| O | | |
| A | 15 | 25 |
| B | 52 | 8 |
| Sumatoria | 67 | 33 |

Granulometría del suelo bosque nativo de galerías

| M | AR (%) | LI (%) | A (%) | TEX | estabilidad estructural | | | | DAp (gr/cm3) | DR (gr/cm3) | Po (%) |
|---|--------|--------|-------|-----|-------------------------|-----|----------|-----|--------------|-------------|--------|
| | | | | | DPM (mm) | Int | DGM (mm) | Int | | | |
| 1 | 11,5 | 20,8 | 67,7 | FA | 0,14 | I | 0,8 | Le | 1,4 | 3 | 51,5 |
| 2 | 17,5 | 22,1 | 60,4 | FA | 0,08 | I | 0,7 | Le | 1,3 | 2,3 | 41,7 |
| 3 | 17,7 | 22 | 60,24 | FA | 0,05 | I | 0,6 | Le | 1,5 | 4,4 | 64,9 |

M= muestra; Ar=arcilla; L=limo; A=arena; Tex=textura; DPM= diámetro promedio métrico; DGM=diámetro geométrico medio; Int= interpretación; DAp=densidad aparente; DR=densidad real; Po= porosidad; Pr=presión; P=prueba; H= humedad; F=franco; Le=lento; In=interpretación; Me=moderadamente estable Le=ligeramente estable; I= inestable

Retención de humedad del suelo bosque nativo de galerías

| Presión (bar) | Humedad (%) |
|---------------|-------------|
| 0,25 | 24,4 |
| 0,5 | 18,23 |
| 1 | 16 |
| 3 | 10,25 |
| 5 | 9,75 |
| 13 | 8,95 |

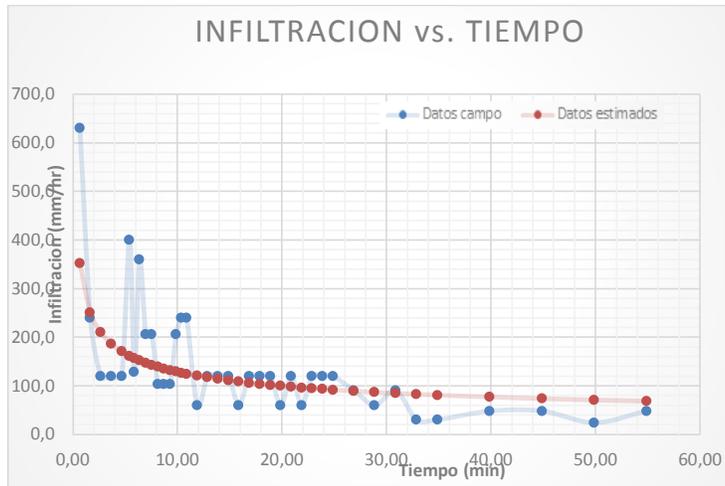
Análisis químicos del suelo de bosque nativo de galerías

| M | pH | CE (mS/cm) | CIC (meq/100gr) | Co (%) | Mo (%) |
|---|-----|------------|-----------------|--------|--------|
| 1 | 7 | 318 | 12,9 | 0,8 | 1,3 |
| 2 | 7,1 | 304 | 12,2 | 0,7 | 1,2 |
| 3 | 6,9 | 321 | 13,9 | 0,7 | 1,2 |
| 4 | 6,6 | 317 | 12,2 | 0,7 | 1,2 |

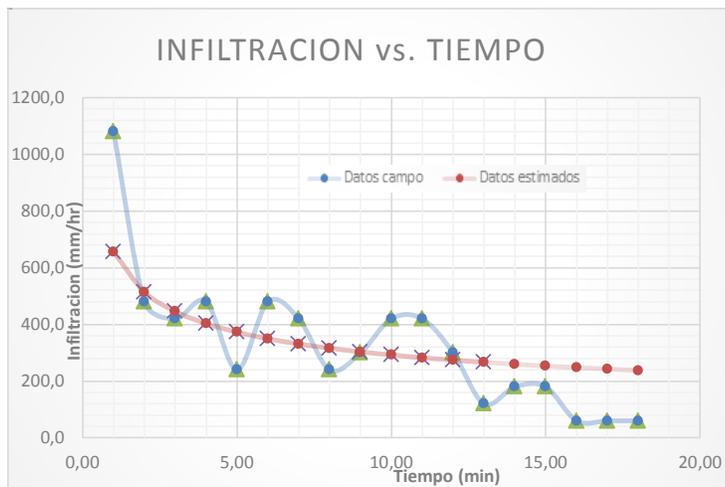
CE=conductividad eléctrica; CIC=capacidad de intercambio catiónico; Co= carbono orgánico; Mo=materia orgánica



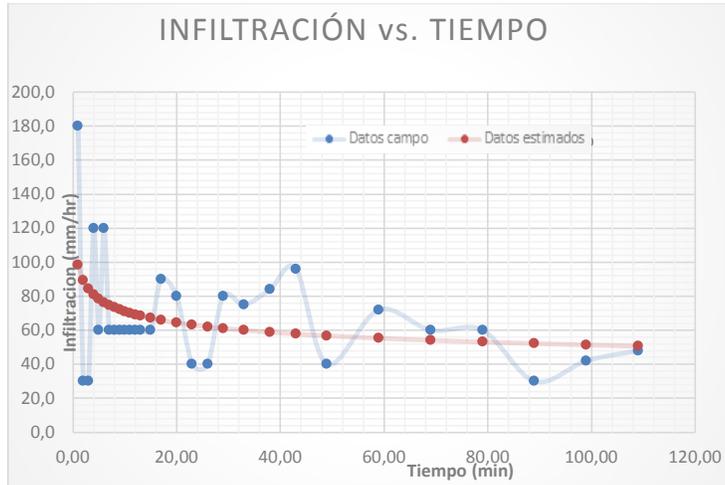
Anexo E



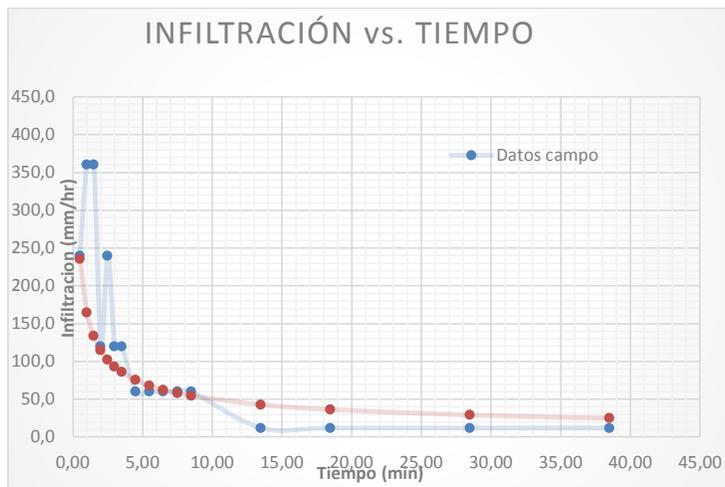
Grafica infiltración vs tiempo de suelo con prácticas agrícolas tradicionales



Grafica Infiltración vs tiempo en suelo con algunas prácticas de manejo de conservación



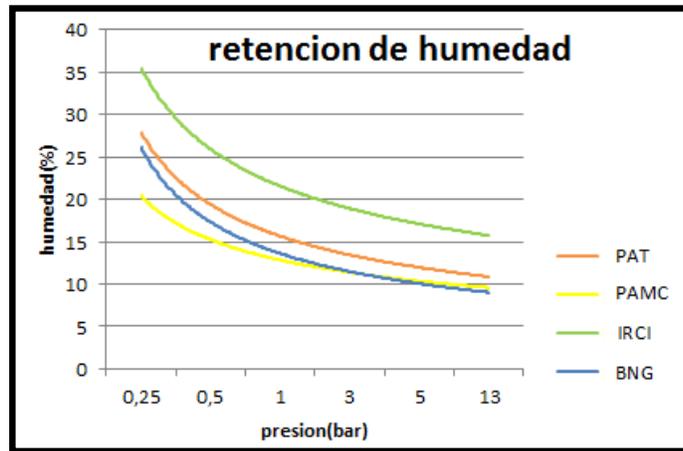
Grafica Infiltración vs tiempo de suelo con intervención reciente en cultivos intensivos



Grafica infiltración vs tiempo de suelo bosque nativo de galerías



Anexo G



BNG=bosque nativo de galerías; PAT= prácticas agrícolas tradicionales; IRCI= intervención reciente en cultivos intensivos; PAMC=algunas prácticas de manejo y conservación

Anexo H

Tabla 24. Característica de los indicadores

| Característica | Descripción |
|-----------------------------|--|
| Disponibilidad de los datos | Fácil de obtener sin restricciones de ningún tipo |
| Simplicidad | Fácil elaboración |
| Validez | Capacidad de medir el fenómeno real |
| Confiabilidad | Fuentes de información satisfactorias |
| Sensibilidad | Capacidad de identificar las distintas variaciones del suelo |
| Alcance | Capacidad de sintetizar el mayor número posible de |
| | Condiciones o factores que puedan afectar el suelo. |
| Comparable en el tiempo | Capacidad de ser comparable en un lapso corto de tiempo |
| Correlacionable | Capacidad para relacionarse con diferentes variables. |



Tabla 25. Propiedades hidrodinámicas y su peso relativo como indicadores de calidad

| Indicador/función del suelo | Regula y reparte el agua y el flujo de solutos | Estabilidad física y soporte para plantas y habitación humana |
|-----------------------------|--|---|
| Densidad aparente | ★ ★ ★ | ★ ★ ★ |
| Estructura | ★ ★ | ★ ★ |
| infiltracion | ★ ★ | ★ ★ |
| materia organica | ★ ★ | ★ ★ |
| Porosidad | ★ ★ | ★ ★ |

A mayor número de ★ mejor indicador. (NRCS, 2009)