



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
E INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

**IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS DE EROSIÓN POR
MONOCULTIVO (CAÑA DE AZÚCAR) EN LA
PARROQUIA DE PACTO Y PROPUESTAS DE
LÍNEAS DE ACCIÓN**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AMBIENTAL
Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

FRANCISCO XAVIER RODRÍGUEZ TOSCANO

DIRECTOR: PhD. FAUSTO VITERI

Quito, febrero, 2019

© Universidad UTE. 2019 Reservados todos
los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172324531-0
APELLIDO Y NOMBRES:	Rodríguez Toscano Francisco Xavier
DIRECCIÓN:	Enrique Garcés S19-97 y Anastasio Viteri, El Comercio.
EMAIL:	franciscor94@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	02 2678 503
TELÉFONO MOVIL:	0984609592
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Identificación de procesos de erosión por monocultivo (caña de azúcar) en la parroquia de Pacto y propuestas de líneas de acción.
AUTOR O AUTORES:	Rodríguez Toscano Francisco Xavier
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	14 de febrero del 2019
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	PhD. Fausto Viteri
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	Pacto es una parroquia ubicada en las estribaciones de la cordillera de los Andes, al extremo noroccidente de la provincia de Pichincha – Ecuador. Se caracteriza por tener un relieve con pendientes que van desde los 5 hasta los 70 grados, con temperatura promedio de 25 grados Celsius lo que le permite tener una diversidad de cultivos. La principal actividad económica de la parroquia es la elaboración artesanal de la panela, siendo el monocultivo de caña de azúcar su principal actividad agrícola. Debido a esto, el objetivo del

	<p>presente trabajo de titulación es identificar si este monocultivo contribuye a generar daños al medio ambiente, como podría ser la erosión causada por la absorción excesiva de nutrientes por parte de la caña o por la escorrentía presente en el lugar, ya que dichas plantaciones se ubican en pendientes pronunciadas. Para estimar el daño causado, se identificaron grietas en el suelo de las fincas, de las cuales se tomaron medidas y se recolectaron muestras de suelo, posteriormente se hicieron análisis de laboratorio. Además, con la ayuda de los docentes de la facultad y un software, se identificaron diferentes plantas dentro del cultivo de la caña. La principal conclusión fue que el daño causado durante el monocultivo es mínimo. También se analizó el Año Meteorológico Típico de la parroquia Nanegalito, con características climáticas y altitudinales similares a Pacto, obteniéndose los meses más representativos de la variable precipitación a lo largo de los 12 años estudiados. Esto servirá a futuro para proyectos de gestión de riesgos, políticas agrícolas para enfrentar sequías, entre otros.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Pacto, monocultivo, caña de azúcar, AMT.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>Pacto is a parish located in the foothills of the Andes mountain range, in the northwest corner of the province of</p>

Pichincha - Ecuador. It is characterized by having a relief with slopes ranging from 5 to 70 degrees, with an average temperature of 25 degrees Celsius which allows it to have a diversity of crops. The main economic activity of the parish is the artisanal elaboration of panela, being the monoculture of sugarcane its main agricultural activity. Due to this, the objective of the present work is to identify if this monoculture contributes to generate damages to the environment, such as the erosion caused by the excessive absorption of nutrients by the cane or by the runoff present in the place, since these plantations are located on steep slopes. To estimate the damage caused, cracks were identified in the soil of the farms, from which measurements were taken and soil samples were collected, later laboratory analyzes were made. In addition, with the help of the teachers of the faculty and a software, different plants were identified within the cane crop. The main conclusion was that the damage caused during the monoculture was minimal. The Typical Meteorological Year of the Nanegalito parish, was also analyzed, with climatic and altitudinal characteristics similar to Pacto, obtaining the most representative months of the variable rainfall over the 12 years studied. This will be useful in the future for risk management projects, agricultural policies to face droughts,

	among others
KEYWORDS	Pacto, monoculture, sugarcane, TMY.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el

Repositorio Digital de la Institución

A handwritten signature in blue ink, reading "FRANCISCO RODRÍGUEZ". The signature is written in a cursive style with a vertical line through the middle of the name.

f. _____

FRANCISCO XAVIER RODRÍGUEZ TOSCANO

172324531-0

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **RODRÍGUEZ TOSCANO FRANCISCO XAVIER**, CI: 1723245310 autor del proyecto titulado: **Identificación de procesos de erosión por monocultivo (caña de azúcar) en la parroquia de Pacto y propuestas de líneas de acción**. Previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 14 de febrero del 2019

A handwritten signature in blue ink, consisting of the name 'FRANCISCO' on the top line and 'RODRÍGUEZ' on the bottom line, with a horizontal line crossing through both.

f: _____

RODRÍGUEZ TOSCANO FRANCISCO XAVIER

172324531-0

DECLARACIÓN

Yo **FRANCISCO XAVIER RODRÍGUEZ TOSCANO**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, consisting of the name 'FRANCISCO' on the top line and 'RODRÍGUEZ' on the bottom line, with a vertical stroke separating the two parts.

RODRÍGUEZ TOSCANO FRANCISCO XAVIER

C.I. 172324531-0

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Identificación de procesos de erosión por monocultivo (caña de azúcar) en la parroquia de Pacto y propuestas de líneas de acción.**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales** fue desarrollado por **Francisco Xavier Rodríguez Toscano**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



PhD. FAUSTO VITERI
DIRECTOR DEL TRABAJO
C.I. 171956740-4

DEDICATORIA

A mi madre por su apoyo y amor incondicional a lo largo de este proceso.

A mi hermana por su constante presión para que culmine mi trabajo, y por brindarme muchas alegrías.

A toda mi familia por estar siempre para mí.

A Karen por ser parte de mi vida, por acompañarme a lo largo de este arduo camino que con su apoyo, confianza y paciencia, me ayudaron a culminar esta tesis

A mis profesores que con sus enseñanzas han guiado mi camino.

A mis amigos, todos y cada uno de ellos, por haberme apoyado en los momentos más difíciles y haber compartido conmigo momentos inolvidables.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia por confiar en mí, y por haberme formado con todos los buenos valores, hábitos y sentimientos.

A Karen por sus aportaciones que hicieron posible este proyecto, y por su amor y ayuda incondicional.

A mi tutor, Dr. Fausto Viteri, por su paciencia, colaboración y enseñanzas a lo largo de este proceso.

A los estudiantes de vinculación, que contribuyeron a la culminación de esta tesis.

A todos mis amigos que hice a lo largo de mi vida universitaria.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. METODOLOGÍA.....	9
2.1. MEDICIÓN Y CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DEL SUELO (CAPA ARABLE).....	11
2.1.1. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DEL SUELO.....	11
2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DEL SUELO DE PACTO.....	14
2.2.1. DETERMINACIÓN DE PH.....	14
2.2.2. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD.....	14
2.2.3. DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD.....	15
2.2.4. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HIERRO.....	15
2.2.5. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE FOSFATOS.....	15
2.3. DENSIDAD DE SIEMBRA E IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES VEGETALES.....	16
2.4. DATOS PLUVIOMÉTRICOS.....	18
2.4.1. CÁLCULO DEL AÑO METEOROLÓGICO TÍPICO (AMT).....	19
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
3.1. MEDICIÓN DE GRIETAS, PROFUNDIDAD DE LA CAPA ARABLE Y CÁLCULO DPA.....	22
3.2. CÁLCULO DE LA EROSIÓN DEL SUELO.....	26
3.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO DE PACTO.....	27
3.4. DIVERSIDAD DE SIEMBRA E IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES VEGETALES.....	29
3.4.1. DENSIDAD DE SIEMBRA.....	29
3.4.2. IDENTIFICACIÓN DE PLANTAS.....	30
3.4.3. CÁLCULO DEL NDVI.....	31
3.5. PLUVIOSIDAD DE LA ZONA.....	34
3.5.1. AÑO METEOROLÓGICO TÍPICO.....	34

	PÁGINA
3.6. PROPUESTAS	35
3.6.1. INGENIERÍA NATURALÍSTICA	35
3.6.2. MODELOS DE PREDICIÓN DE EROSIÓN	36
3.6.3. IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....	36
3.6.4. GENERACIÓN DE BASE DE DATOS DEL SUELO	37
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	44

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1. Componentes de los principales horizontes del suelo.....	3
Tabla 2. Grado de pérdida del suelo por erosión laminar.....	12
Tabla 3. Clases de erosión en base a la profundidad.....	13
Tabla 4. Interpretación de análisis de suelos	16
Tabla 5. Variables de ponderación para cada variable del Año Meteorológico Típico.....	21
Tabla 6. Dimensiones de las grietas en la finca 1	22
Tabla 7. Datos obtenidos en laboratorio Finca 1	22
Tabla 8. Resultados de la profundidad de la capa arable y DPA finca 1	23
Tabla 9. Dimensiones de las grietas en la finca 2	23
Tabla 10. Datos obtenidos en laboratorio Finca 2	24
Tabla 11. Resultados DPA finca 2.....	25
Tabla 12. Resultados de la pérdida del suelo en la finca 1 y 2.....	26
Tabla 13. Análisis físico-químico	27
Tabla 14. Datos de humedad (finca 1 y 2).....	28
Tabla 15. Distancia de cultivos de caña de azúcar.....	29
Tabla 16. Densidad de siembra.....	30
Tabla 17. Plantas encontradas en las fincas de caña de azúcar.....	31
Tabla 18. Valores del NDVI	32
Tabla 19. Selección de AMT de la estación Nanegalito	35

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Composición ideal del suelo	3
Figura 2. Órdenes del suelo presentes en el Ecuador	6
Figura 3. Mapa de la ubicación de los predios estudiados.....	10
Figura 4. Ubicación de la estación de Nanegalito y la parroquia de Pacto.....	20
Figura 5. Dimensiones de las grietas de la finca 1	23
Figura 6. Dimensiones de las grietas de la finca 2.....	24
Figura 7. Capa arable de las fincas visitadas.....	25
Figura 8. Cálculo NDVI	33
Figura 9. Pluviosidad de los 12 años analizados	34

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
Anexo 1. VISITA A LA PARROQUIA DE PACTO PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS E INFORMACIÓN	44
Anexo 2. ANÁLISIS DE LABORATORIO	45
Anexo 3. CÁLCULO AMT	45
Anexo 4. GRÁFICAS WS.....	45

RESUMEN

Pacto es una parroquia ubicada en las estribaciones de la cordillera de los Andes, al extremo noroccidente de la provincia de Pichincha – Ecuador. Se caracteriza por tener un relieve con pendientes que van desde los 5 hasta los 70 grados, con temperatura promedio de 25 grados Celsius lo que le permite tener una diversidad de cultivos. La principal actividad económica de la parroquia es la elaboración artesanal de la panela, siendo el monocultivo de caña de azúcar su principal actividad agrícola. Debido a esto, el objetivo del presente trabajo de titulación es identificar si este monocultivo contribuye a generar daños al medio ambiente, como podría ser la erosión causada por la absorción excesiva de nutrientes por parte de la caña o por la escorrentía presente en el lugar, ya que dichas plantaciones se ubican en pendientes pronunciadas. Para estimar el daño causado, se identificaron grietas en el suelo de las fincas, de las cuales se tomaron medidas y se recolectaron muestras de suelo, posteriormente se hicieron análisis de laboratorio. Además, con la ayuda de los docentes de la facultad y un software, se identificaron diferentes plantas dentro del cultivo de la caña. La principal conclusión fue que el daño causado durante el monocultivo es mínimo. También se analizó el Año Meteorológico Típico de la parroquia Nanegalito, con características climáticas y altitudinales similares a Pacto, obteniéndose los meses más representativos de la variable precipitación a lo largo de los 12 años estudiados. Esto servirá a futuro para proyectos de gestión de riesgos, políticas agrícolas para enfrentar sequías, entre otros.

Palabras clave: Pacto, monocultivo, caña de azúcar, erosión laminar, AMT.

ABSTRACT

Pacto is a parish located in the foothills of the Andes mountain range, in the northwest corner of the province of Pichincha - Ecuador. It is characterized by having a relief with slopes ranging from 5 to 70 degrees, with an average temperature of 25 degrees Celsius which allows it to have a diversity of crops. The main economic activity of the parish is the artisanal elaboration of panela, being the monoculture of sugarcane its main agricultural activity. Due to this, the objective of the present work is to identify if this monoculture contributes to generate damages to the environment, such as the erosion caused by the excessive absorption of nutrients by the cane or by the runoff present in the place, since these plantations are located on steep slopes. To estimate the damage caused, cracks were identified in the soil of the farms, from which measurements were taken and soil samples were collected, later laboratory analyzes were made. In addition, with the help of the teachers of the faculty and a software, different plants were identified within the cane crop. The main conclusion was that the damage caused during the monoculture was minimal. The Typical Meteorological Year of the Nanegalito parish, was also analyzed, with climatic and altitudinal characteristics similar to Pacto, obtaining the most representative months of the variable rainfall over the 12 years studied. This will be useful in the future for risk management projects, agricultural policies to face droughts, among others.

Key words: Pacto, monoculture, sugarcane, laminar erosion, TMY.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El suelo se define como la capa sólida y superficial de la corteza terrestre, considerado también como un medio natural, que gracias a los minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua ayuda al crecimiento de las plantas y sirve como un soporte para la construcción de estructuras (FAO, 2018), en él se cultivan toda clase de alimento vegetal que a su vez sirve para alimentar a especies de animales que sirven como alimento para el hombre.

Como se indica la Figura 1, el suelo se compone por un 5% de materia orgánica, 45% de materia mineral, 25% de agua y 25% de aire, lo que determina una fase sólida, líquida y gaseosa (Jaramillo, 2002).

La parte orgánica y mineral del suelo, fase sólida, ocupa un volumen total del 50%, mientras que la parte gaseosa alberga gases como el nitrógeno (80%), oxígeno (20%), anhídrido carbónico (0.1%), entre otros gases (Fassbender, 1975)

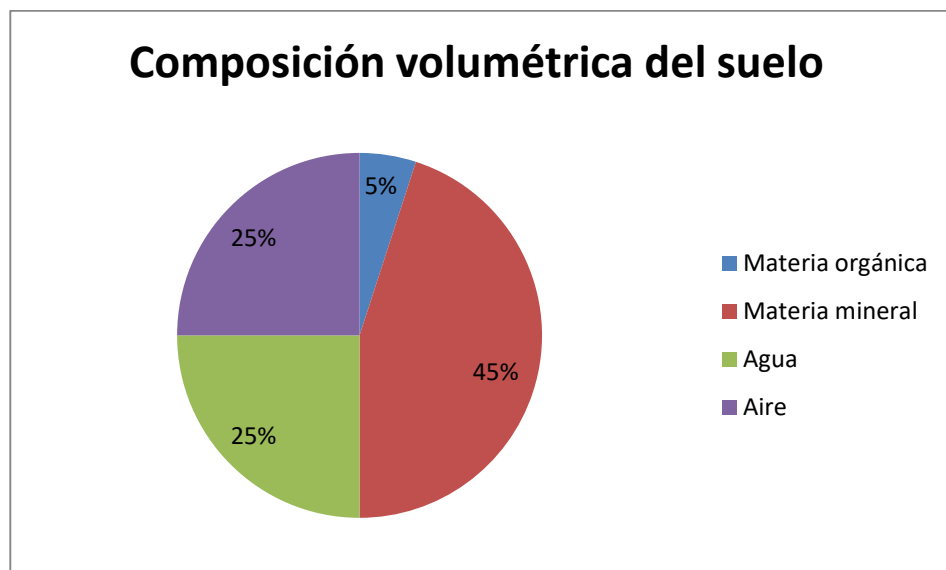


Figura 1. Composición ideal del suelo (Jaramillo, 2002).

La textura del suelo se define como la relación entre el contenido y la proporción de las diferentes partículas; el predominio de partículas de un tamaño determinado da a conocer las propiedades físicas del suelo (Hernández, y otros, 2006).

Los suelos se dividen por su tamaño de partícula en tres clases USDA:

- Arena (A): desde 0.05 hasta 2 mm
- Limo (L): desde 0.002 hasta 0.05 mm
- Arcilla (Ar): menores a 0.002 mm

A la cantidad de agua en el suelo se conoce como humedad, característica específica que se encuentra en función del porcentaje de materia orgánica, textura, composición de la fase orgánica y mineral y el aporte del medio edáfico (Jaramillo, 2002).

Los horizontes del suelo son evaluados a profundidad en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), que en su manual de levantamiento de suelos, representa a los diferentes horizontes o capas con las siguientes letras en mayúscula: O, L, V, A, E, B, C, R, M y W; a estos caracteres se agregan otros símbolos para poder completar las respectivas designaciones. Los horizontes B comúnmente tienen tonalidades más rojas que el horizonte V y carecen de poros vesiculares (USDA, Soil Survey Manual, 2017).

Tabla 1. Componentes de los principales horizontes del suelo

Horizontes del suelo	Componentes
A	Horizonte con materia orgánica humificada, mezclada con la fracción mineral del suelo.
E	Capa que posee características similares, donde el sistema coloidal ha sido expuesto a factores meteorológicos.
B	Se evidencia la adición o remoción de carbonatos, anhídridos y yeso,
C	Sedimentos, roca fragmentada y saprolitos*
R	Sustrato rocoso continuo y duro.
W	Capa de agua.
O	Presenta gran cantidad de materia orgánica

(SSS, 2000)

*Saprolito: Roca meteorizada hasta tal punto de ser una masa de arcilla o grava

La Tabla 1 muestra un resumen con los componentes de los principales horizontes del suelo, datos que fueron obtenidos según la SSS (Soil Survey Staff) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (SSS, 2000)

Según el Sistema Americano de Taxonomía de los suelos (Soil Survey Staff, 1999), estos se clasifican en 12 órdenes: Alfisol, Andisol, Ardosil, Entisol, Gelisol, Histosol, Inceptisol, Molisol, Oxisol, Espodosol, Ultisol y Vertisol, cada uno con diferentes propiedades físicas y químicas.

Los suelos más productivos y fértiles son los Molisoles, Histosoles y Andisoles, representando un 33% de los suelos del mundo (Urquiaga, Jantalia, Luzio, Alves, y Boddey, 2005).

En el caso de Ecuador está dividido en cuatro regiones: Costa, Sierra y Amazonía, e insular, cada una posee gran variedad de suelos, climas, paisajes y biodiversidad. Al estar en la línea ecuatorial y poseer diversas altitudes, los rayos del sol no llegan de forma uniforme a todo el territorio nacional, lo que ocasiona presencia de vientos y lluvias variadas, controlando de esta manera el desarrollo de los suelos (Espinosa, Moreno, & Bernal, 2018).

En la Región Costa, las zonas húmedas se encuentran suelos del orden Ardisol, y en las zonas áridas Molisol; ocupando 12 millones de hectáreas, representando un 20% del total de la región costera (Moreno, y otros, 2018).

La gran parte de la región Sierra está gobernada por suelos del orden Andisol (origen volcánico de color oscuro) e Inceptisoles (presentan alto contenido de materia orgánica), en los páramos norte y sur respectivamente (Moreno, Yeovi, Herrera, Yáñez, y Espinoza, 2018).

La región amazónica se ubica por debajo de los 1300 m.s.n.m., constituyendo la parte occidental de la cuenca amazónica; caracterizada por la presencia, en su gran mayoría del territorio (43%), de suelos Inceptisoles (Ulloa, 2016).

En Galápagos, al estudiar los tipos de suelos presentes, se deben separar por las islas más grandes: los suelos de la Isla de Santa Cruz están dominados por el orden Alfisol, Molisol e Inceptisol, esto se debe a la alteración de depósitos piroclásticos; en cambio la isla de San Cristóbal el orden de suelo predominante es el Alfisol, en esta isla las actividades agrícolas ocupan un 17.7% del área total (Lasso y Espinosa, 2018).

En la Figura 2 se muestra el porcentaje de órdenes de suelos presentes en el territorio nacional

El estado, cobertura vegetal del suelo y los tipos de vegetación se refieren al uso que tiene el suelo en un área determinada (Cisneros, y otros, 2012), siendo los principales usos: barbecho, cultivos de grano grueso, cultivos de grano fino, leguminosas de siembra densa o rotación de cultivo y pastos, pasturas naturales, bosques, construcciones humanas y uso cultural.

Órdenes de suelos presentes en Ecuador

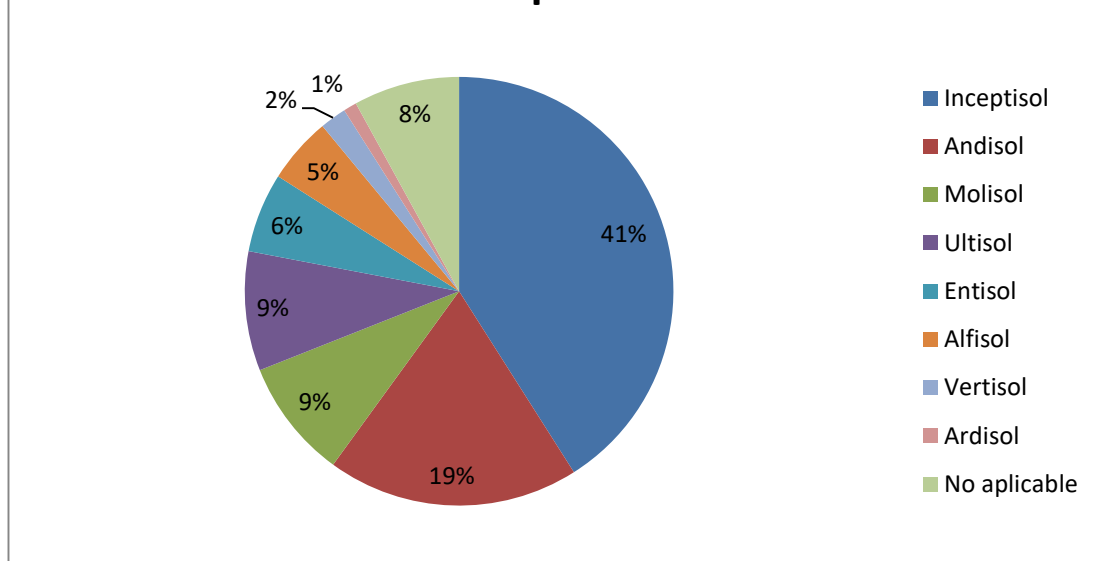


Figura 2. Órdenes del suelo presentes en el Ecuador
(MAGAP, 2016)

Entre los cultivos más importantes en el Ecuador, se encuentra la caña de azúcar, ya que la producción caña de azúcar en Ecuador, según datos del Banco Central, contribuye con el 1.4% al Producto Interno Bruto nacional, generando más de 30000 empleos directos y 80000 indirectos (Ruiz, 2012).

En el presente trabajo, se ha tomado en consideración el cultivo de la caña de azúcar, ya que en parroquias rurales como en Pacto, los principales ingresos son de la panela en polvo, por ende es de vital importancia estudiar los impactos que general el cultivo de la caña de azúcar al ambiente, en general al factor suelo.

La caña de azúcar pertenece a la familia *Graminae*, del género *Saccharum*, puede alcanzar un peso fresco (peso del producto recién cosechado) mayor o igual a 100 t/ha, lo que significa de 20 a 30 toneladas de materia seca; esto a lo largo de su ciclo de vida, significa una extracción de nutrientes del suelo, potasio, silicio, nitrógeno, hierro y fósforo, de 800 a 1500 kg/ha por año (Velasco, 2014).

La caña de azúcar es una planta de clima tropical y semitropical que crece en alturas que van desde los 500 a 1500 m.s.n.m., con temperaturas que pueden variar desde los 20 a los 30 grados centígrados, para obtener un buen rendimiento del cultivo, las precipitaciones anuales promedio deben ir desde los 1500 hasta los 1700 mm, y el pH del suelo puede encontrarse en un rango de 5.5 a 7.5, se cultiva en suelos franco-arcillosos con suelos con un drenaje amplio (Gómez y Miranda, 2009).

En la etapa de crecimiento requiere altas temperaturas y una amplia cantidad de agua (agua lluvia o riego) (Jenkins, 1966), para así permitir una Según el Plan de Ordenamiento Territorial de Pacto (2015), esta parroquia posee una altitud mínima de 500 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), y una máxima de 1800 m.s.n.m., con pendientes pronunciadas hasta 70 grados, lo que significa que está expuesto a una erosión hídrica provocada por el paso del agua en los diferentes niveles de las pendientes. Según estudios, la intensidad y la duración de las lluvias y las condiciones de suelo, determinan significativamente la magnitud de la erosión hídrica generada (Casanova, Haberland, Seguel, y Walter, 2002).

Según lo descrito anteriormente, los suelos de Pacto pueden sufrir erosión hídrica, además de verse afectado por la erosión por monocultivo. El cultivo de caña de azúcar, a gran escala, puede afectar al suelo al perder su fertilidad, ya que la planta absorbe varios tipos de nutrientes que son considerados importantes para el crecimiento y desarrollo de dicho cultivo.

El monocultivo en grandes extensiones de terreno resulta desfavorable para los agricultores, que tienen desconocimiento de los efectos negativos sobre el suelo. La distinción entre la erosión natural y la acelerada (inducida por el hombre) no siempre es fácil, ya que a menudo están muy relacionadas.

La erosión es un proceso físico que debido al desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo llega a degradarlo, este proceso puede ser natural o antrópico (Tayupanta, 1993), reduciendo su fertilidad por la pérdida de minerales y materia orgánica. La erosión acelerada del suelo y el incorrecto manejo de este provocada por actividades humanas es considerada el principal y más grave problema de degradación (Vega Carreño y Febles González, 2005).

Las causas naturales que provocan la erosión del suelo son el viento y el agua (corrientes de agua), destacándose entre estas dos la erosión hídrica. La erosión hídrica conlleva un proceso físico que produce que las partículas del suelo se desprendan, sean transportadas y depositadas por acción de la lluvia (Cisneros, y otros, 2012).

Los cultivos de caña de azúcar en Pacto se dan en pendientes, aumentando la probabilidad de que el suelo sufra procesos de erosión, ya que el terreno de las laderas es más susceptible a dichos procesos perjudicando futuras cosechas (Buckles, Triomphe, y Sain, 1998).

El trabajo de titulación se enfocará en la erosión hídrica, debido a que es la que más interesa estudiar y conocer sus consecuencias sobre los suelos de las plantaciones de caña de azúcar en la parroquia de Pacto, también se enfoca en las precipitaciones anuales de la parroquia, pero al no tener una estación meteorológica propia se ha tomado como referencia la estación de

Nanegalito, por su similitud altitudinal y climática para el cálculo del año meteorológico típico (AMT) con el afán de encontrar los meses que mejor representen a la zona de estudio.

Objetivos del Proyecto

Objetivo General

- Identificar los procesos de erosión por monocultivo en la parroquia de Pacto

Objetivos Específicos

- Analizar los efectos que produce la erosión por monocultivo de caña de azúcar.
- Explicar la dinámica de erosión en el monocultivo de caña de azúcar.
- Proponer posibles líneas de acción para evitar la erosión en el monocultivo de caña de azúcar.

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

La metodología que se ha desarrollado en este trabajo, se basa en la información recolectada en las visitas técnicas a Pacto, información bibliográfica y los mapas con información geográfica realizados en el sistema informático ArcGis.

La metodología consta de la medición y cálculo de la pérdida del suelo (capa arable) en el que se analizaron grietas visibles en las fincas, midiendo su altura, ancho y profundidad de cada una y con la ayuda de la ecuación de la densidad aparente se calculó el peso de suelo perdido.

También se estudió las características físico-químicas del suelo de las fincas, tomando muestras las cuales fueron analizadas en el laboratorio, obteniendo resultados de pH, humedad, conductividad, porcentaje de hierro y fosfatos. Posteriormente se hizo un conteo y reconocimiento de las especies distintas alrededor de las plantaciones de la caña de azúcar.

Con la ayuda del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), se pudo obtener un mapa en el que se detalla los índices de cubierta vegetal que cada una de las fincas y la parroquia en sí posee.

Y por último se analizaron datos pluviométricos de 12 años (2004 – 2015), los cuales se obtuvieron de la estación de Nanegalito, se escogió esta parroquia por su semejanza altitudinal y climática con Pacto y también porque Pacto no posee una estación pluviométrica propia, sacando como conclusión el Año Meteorológico Típico

El alcance del proyecto se ha enfocado a dos fincas del Sector de la Delicia, denominadas: Finca 1 y Finca 2 de 20 y 40 hectáreas, ubicadas en las coordenadas 744486 E; 10016564 N y 745044 E; 10016487 N respectivamente, como se indica en la Figura 3.

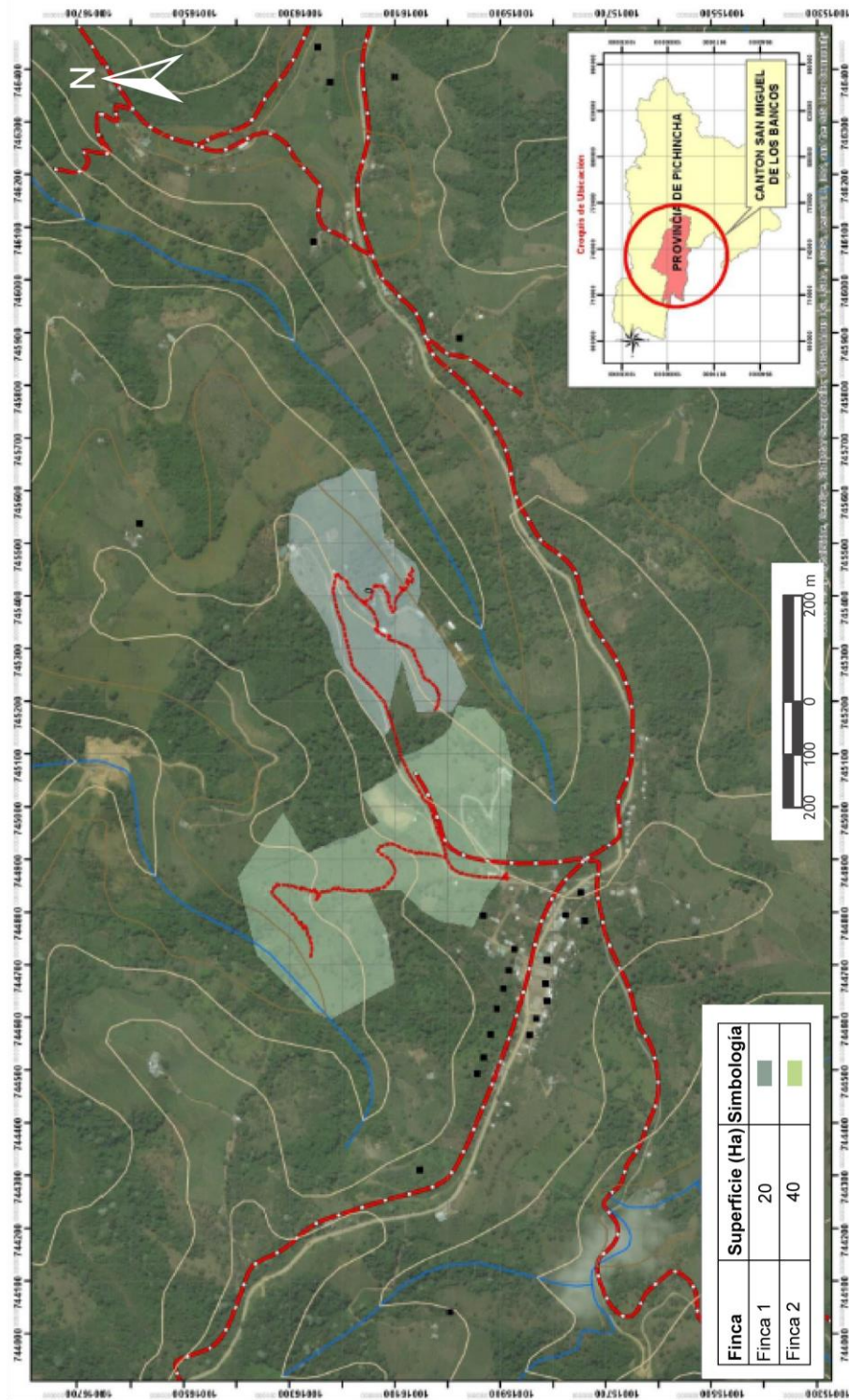


Figura 3. Mapa de la ubicación de los predios estudiados

2.1. MEDICIÓN Y CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DEL SUELO (CAPA ARABLE)

La pérdida de la capa arable del suelo, en el caso de Pacto, se debe principalmente a la escorrentía y el monocultivo, es decir, si existe una capa compacta de restos vegetales (restos de caña de azúcar) en el campo, no permitirá que el suelo absorba el agua necesaria, y en caso contrario, al ser cultivos en pendiente y no existir una capa protectora con restos de vegetales suficiente, el agua adquiere una velocidad más alta a la velocidad de absorción del suelo y este comienza a perder pequeños restos de la capa arable, que al principio no será notables, ocasionando que la fertilidad del suelo disminuya y la aparición de grietas (do Prado y da Veiga, 1993).

La metodología incluyó la cuantificación de grietas visibles para cada finca, para estimar la erosión hídrica presente en el lugar, para lo cual se midió la pendiente, longitud, ancho y profundidad de las mismas, con la ayuda de un clinómetro manual y un flexómetro. Además, también se recolectaron muestras de suelo para un análisis físico químico.

En las fincas se realizó una calicata de aproximadamente 1 metro de profundidad, en las que se identificaron tres horizontes del suelo (O, A y B), donde se observó claramente la profundidad que tenía la capa arable.

Después de haber realizado la recolección de datos in situ, las muestras tomadas fueron llevadas al Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ingeniería e Industrias de la Carrera de Ingeniería Ambiental-UTE, para el análisis de pH, humedad, conductividad y porcentaje de hierro y fosfatos.

2.1.1. CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DEL SUELO

Para el cálculo de la pérdida del suelo, se utilizó el método de clavos y rondanas, el cual parte de la ecuación 1, detallada a continuación y en la que considera variables como la altura, área y densidad aparente de las grietas encontradas en el suelo de las fincas (Mendoza, 2005).

$$P = H \times A \times DAP \quad [1]$$

Dónde:

P= Pérdida del suelo

H= Altura de la lámina perdida

A= Área medida

DPA= Densidad aparente

Los datos de altura y área se establecieron en el campo, pero para el cálculo de la densidad aparente, sabiendo que los factores que afectan son la composición y la estructura del suelo (Rubio, 2010), se utilizó la ecuación 2.

$$DPA = \frac{(\text{peso del suelo seco} - \text{peso del recipiente})}{\text{volumen del suelo seco}} \quad [2]$$

Para el cálculo de la densidad aparente, se escogió un volumen de 20 ml de suelo húmedo, en un vaso de precipitación de 100 ml, la muestra es colocada en la estufa para el posterior secado, se espera 48 horas para obtener los resultados. Con el suelo seco, se vuelve a pesar los 20 ml de suelo en un vaso de precipitación de 100 ml, sacando de este modo los resultados de la densidad aparente.

La Tabla 2 muestra los datos sobre el grado de pérdida del suelo que se puede dar por erosión laminar propuesta por la FAO (1980) y en la Tabla 3 se observa seis tipos de erosión de acuerdo a los criterios establecidos en la Guía de descripción de perfiles de la FAO para las pérdidas de suelo, los cuales van a servir para la descripción del tipo de erosión en los suelos de las fincas estudiadas.

Para la determinación de la profundidad de la capa arable se hicieron calicatas de aproximadamente 1 m de profundidad, se midió los horizontes del suelo visibles, siendo de importancia el horizonte A, que es la capa arable de dicho suelo y dónde se anclan las raíces de la caña en las plantaciones estudiadas.

Tabla 2. Grado de pérdida del suelo por erosión laminar

Grado	Pérdida del suelo T/ha año	Riesgo de erosión
1	<0.5	Normal
2	0.5 – 5.0	Ligera
3	5.0 – 15	Moderada
4	15 – 50	Severa
5	50 – 200	Muy severa
6	>200	Catastrófica

(FAO, 1980)

Tabla 3. Clases de erosión en base a la profundidad

Profundidad (cm)	Perfil patrón	Clases de erosión					
		Leve	Moderada	Fuerte	Muy fuerte	Severa	Extrema
10	A	A	A	A	B	B	B+C
20		A	A	B	B	B	C
30		B	B	B	B	B	
40			B	B	B	C	
50	B	B	C	C	C	C	
60				C	C	C	
70		C	C	C	C	C	
80							
90	C	C	C	C	C		
100							

Pérdidas	%	<25 (A)	25 – 50 (A)	50 – 75 (A)	100 (A)	100 (A+50B)	A+B
Pérdidas	cm	10	Hasta 20	20 - 30	40	60	80

Modificado de (PASOLAC, 2005)

LEVE: Sucede cuando los suelos han perdido hasta un 25 % de la profundidad del horizonte A, o de la capa arable.

MODERADA: Se ha perdido entre el 25 y 50 % de la profundidad del horizonte A.

FUERTE: Sucede cuando se ha perdido entre el 50 y 75 % de la profundidad del horizonte A.

MUY FUERTE: Cuando se ha perdido hasta el 100 % de la profundidad del horizonte A.

SEVERA: Cuando se ha perdido todo el horizonte A y hasta el 50% del horizonte B.

EXTREMA: Esta sucede cuando se ha perdido todo el horizonte A y el B.

2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO DE PACTO

Con las muestras de suelo en el laboratorio, se procedió a realizar el análisis físico-químico, y se establecieron los siguientes criterios: pH, humedad, conductividad, fosfatos y hierro; muestras que fueron recogidas y analizadas según la Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo propuesta por la USDA (1999).

2.2.1. DETERMINACIÓN DE PH

Para el cálculo de pH se pesaron 10 g de suelo seco y se añadieron 10 ml de agua destilada, se agitó la mezcla suelo/agua durante 1 minuto, se colocó el potenciómetro calibrado en la mezcla y por último se procedió a la lectura del pH; y posteriormente se comparó con las propiedades químicas de un suelo saludable establecidas por Prasad y Power (1997), que indica que un pH estable para el suelo va de 6.5 a 7 para la mayoría de cultivos agrícolas.

2.2.2. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

Para la determinación de la humedad, se colocó un volumen de 20 ml de suelo en un vaso de precipitación de 100 ml, se pesaron las muestras de suelo húmedo y se colocaron en la estufa a una temperatura aproximada de 105°C, se esperó 48 horas para obtener los resultados. Se pesó nuevamente el suelo, esta vez ya seco, y se determinó la cantidad de agua en las muestras de suelo.

Los suelos analizados tienen una textura franco arenosa, representando el 59% del total del territorio de la parroquia de Pacto (Ibarra y Mantilla , 2015), y teniendo en cuenta que la caña de azúcar necesita una buena capacidad de retención de humedad (Subirós, 2000), se determinó si el contenido de agua era favorable o no para el cultivo y el suelo.

La fórmula que se utilizó para el cálculo de la humedad se encuentra en la ecuación 3 en la que se detalla el peso de suelo húmedo y el peso del suelo seco.

$$\%humedad = \frac{\text{peso suelo húmedo} - \text{peso suelo seco}}{\text{peso suelo húmedo}} \times 100 \quad [3]$$

2.2.3. DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD

El análisis se basa en los criterios de calidad establecidos en la norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados.

El análisis de la conductividad se realizó pesando 10 g de suelo seco con 10 ml de agua destilada, se dejó en reposo por 4 horas. Se transfirió la muestra a otro recipiente a través de un embudo con papel filtro, se colocó el conductímetro en la mezcla y se procedió a la lectura de la conductividad.

2.2.4. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HIERRO

En el análisis de hierro se colocó en matraces aforados de 20 ml a 50 ml de solución de los siguientes reactivos: fenolftaleína, bromo cresol y permanganato de potasio, se completó con agua destilada hasta el volumen correspondiente, se homogenizó y dejó reposar por 5 minutos. Se preparó un blanco y se procedió a la lectura de los resultados en un espectrofotómetro de marca HACH.

2.2.5. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE FOSFATOS

En el análisis de fosfatos se colocó en pipetas 5 ml de solución, para posteriormente pasar a un matraz aforado de 25 ml, se añadió 10 ml de la disolución vanado-molibdato y enrasar con agua destilada. Se repite este procedimiento 2 veces más para tener 3 muestras problema, se deja reposar 10 minutos y consecutivamente se prepara un blanco. Por último, se procede a la lectura de los resultados en un espectrofotómetro de marca HACH.

Para la interpretación de los resultados del análisis físico-químico de los suelos, de manera general, se utilizó la propuesta de Molina y Meléndez (2002), la cual afirma que el análisis de suelos se pretende determinar el grado de suficiencia o deficiencia de los nutrientes del suelo, así como la acidez excesiva, la salinidad, y la toxicidad de algunos elementos. Este análisis también permite determinar el grado de fertilidad del suelo, que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Interpretación de análisis de suelos

Compuesto	Unidades	Bajo	Medio	Óptimo	Alto
pH		<5	5 – 6	6 – 7	>7
Ca	cmol/l	<4	4 – 6	6 – 15	>15
Mg	cmol/l	<1	1 – 3	3 – 6	>6
K	cmol/l	<0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 0.8	>0.8
Acidez	cmol/l	-	0.3 – 1	<0.3	>1
S.A	%	-	10 – 30	<10	>30
P	mg/l	<12	12 – 20	20 – 50	>50
Fe	mg/l	<5	5 – 10	10 – 50	>50
Cu	mg/l	<0.5	0.5 – 1	1 – 20	>20
Zn	mg/l	<2	2 – 3	3 – 10	>10
Mn	mg/l	<5	5 – 10	10 – 50	>50
B	mg/l	<0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1	>1
S	mg/l	<12	12 – 20	20 – 50	>50
MO	%	<2	2 – 5	5 – 10	>10

(Molina y Meléndez, 2002)

Adicionalmente a lo establecido por Molina y Meléndez (2002), la caña de azúcar requiere un plan nutricional propuesto por McCray, Rice, Ezenwa, Lang, y Baucum (2011) quienes afirman que un rango óptimo de nutrientes en el suelo como el nitrógeno va desde 2% hasta 2.60%; el fósforo desde 0.22% hasta 0.30%; el potasio desde 1% hasta 1.6%; el calcio desde 0.20% hasta 0.45%; el magnesio desde 0.15% hasta 0.32 y el azufre desde 0.13% hasta 0.18%.

2.3. DENSIDAD DE SIEMBRA E IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES VEGETALES

Para determinar la densidad de las plantas dentro de los cultivos de caña de azúcar, se midió las distancias entre las plantas y las hileras en diferentes sectores de cada finca visitada.

A pesar del monocultivo presente en Pacto, se encontraron diversas plantas alrededor de la caña de azúcar, por lo que se consideró apropiado determinar las especies vegetales. Para identificar estas especies de plantas, se recogieron hojas de plantas que posteriormente fueron analizadas gracias al software PlantNet, el libro de flora del Ecuador Patzelt

(1996), y el conocimiento de los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental. Si bien la cantidad de plantas de otras especies es mínima, para demostrar la variedad de estas plantas, se utilizaron las siguientes fórmulas de diversidad:

- Estimación de cobertura vegetal

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index), se basa en bandas de espectro electromagnético emitida por la vegetación el cual ayuda a estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de radiación (Aguilar, Galindo, Fortanelli, y Contreras , 2010).

En éste método se usa el sistema de información geográfica ArcGis, para una estimación más certera, mostrada en la ecuación 4.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad [4]$$

Donde:

NIR= reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al infrarrojo cercano;

R= reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al rojo.

El cálculo del NDVI genera valores entre -1.0 y 1.0; de los cuales:

- Valores negativos son nubes, agua y nieve.
- Valores cercanos a cero son rocas y tierra desnuda
- Valores inferiores a 0.1 son áreas yermas de roca, arena o nieve.
- Valores entre 0.2 y 0,3 son terrenos con arbustos y prados.
- Valores entre 0.6 y 0.8 representan bosques templados y tropicales.

Para el cálculo del NDVI, se obtuvieron imágenes satelitales LANDSAT 8, desde el portal web USGS, de las cuales se selecciona las bandas 4 y 5 y con la ayuda de la opción Raster Calculator se aplica la fórmula detallada anteriormente. Posteriormente, se colocan los límites de la parroquia de Pacto, y hacer el análisis correspondiente.

- Densidad de la siembra (Marco rectangular)

Consiste en organizar el establecimiento de las plantaciones para aprovechar todo el terreno destinado al cultivo, lo que quiere decir que es un cálculo para que las plantaciones aprovechen todo el terreno disponible distribuido uniformemente y no exista un desperdicio de espacio del suelo.

Para el cálculo de la densidad de la siembra se utilizó la ecuación 5, considerando la superficie del campo y la distancia de siembra entre las plantaciones.

$$n = \frac{Su}{m^2} \quad [5]$$

Dónde:

n: número de plantas;

Su: superficie del campo, en m²

m²: distancia entre plantas (en metros), multiplicada por sí misma.

2.4. DATOS PLUVIOMÉTRICOS

Los datos pluviométricos se obtuvieron del Instituto Nacional de Meteorología e Hidróloga (INAMHI). De acuerdo a un mapa climático, la parroquia de Pacto presenta un clima semi-cálido con alta influencia de precipitaciones. El estudio de datos de precipitación se lo realizó desde el año 2004 hasta el año 2015, teniendo en cuenta a la estación de Nanegalito, ubicada a 1500 m.s.n.m. a 12.94 km de la parroquia de Pacto. Se utilizaron los datos de esta estación debido a la falta de información de una estación meteorológica en la parroquia de Pacto, y porque las condiciones climáticas de Nanegalito son similares a las de la parroquia de Pacto. En Nanegalito la temperatura promedio oscila entre los 12 y 20 grados centígrados (Plan de Ordenamiento Territorial Parroquia Nanegalito, 2015) y el promedio de precipitación anual, tomando en cuenta los 12 años de datos históricos que se usaron para hacer el Año Típico Meteorológico, son de 2200.55 mm.

Teniendo en cuenta el parámetro de pluviosidad, se consideró adecuado determinar los meses de mayor lluvia en la estación monitoreada, para poder relacionar los datos de pluviosidad con una posible erosión hídrica.

2.4.1. CÁLCULO DEL AÑO METEOROLÓGICO TÍPICO (AMT)

El año meteorológico típico (AMT), es el método que se usó para analizar las precipitaciones, el cual ayuda a caracterizar el clima de una zona determinada, analizando registros de varios años de precipitación, temperatura mínima y máxima y velocidad del viento de dicha zona; identificando así el mes con las mejores características climáticas medias (Viteri y Guerrero, 2013).

Se recolectaron los datos históricos de las precipitaciones de Nanegalito (M0339) en las coordenadas 757781 E y 10007068 N, con un total de 12 años (2004 – 2015), los datos fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

La ubicación de la estación pluviométrica de Nanegalito con respecto a la parroquia de Pacto se muestra en la Figura 4. La estación de Nanegalito está cerca de Pacto, además, ambas parroquias comparten características climáticas similares como se puede observar en los Planes de Ordenamiento de ambas parroquias.

Al iniciar la determinación del AMT, se establecieron frecuencias acumuladas para todos los datos establecidos (Adana, 2002), y se aplicó la ecuación 6, de Finkelstein-Schafer (Kalamees y Kurnitski, 2005).

$$FS = \sum_{i=1}^m |f_i - \bar{f}_i| \quad [6]$$

Donde,

f = función de distribución acumulada (entre 0 y 1) hasta la clase i ,

m = número de clases

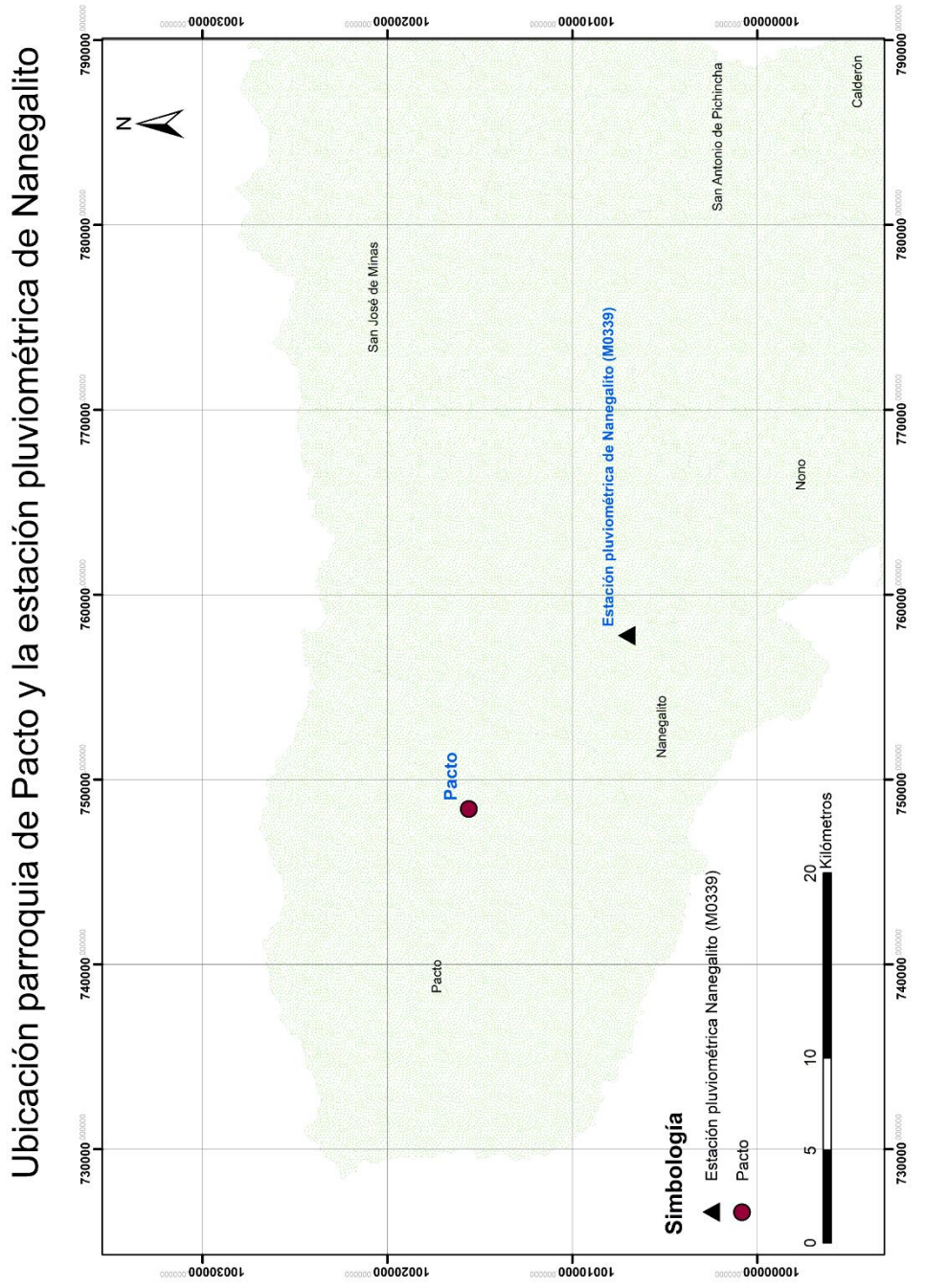


Figura 4. Ubicación de la estación de Nanegalito y la parroquia de Pacto

Después se multiplicaron los resultados de la ecuación 6, con el valor de la precipitación del sistema de ponderación de la Tabla 5 para obtener una suma (Weighted Sum, WS), los resultados serán valores entre 0 y 1; cabe recalcar que esta ecuación es el resultado de las sumas de todos los parámetros posibles a analizar, pero en este caso, debido que la estación presenta valores pluviométricos, sólo se tomó la precipitación, como se muestra en la ecuación 7.

$$WS = K_T FST + K_G FSG \quad [7]$$

Donde,

FST o *FSG*= valor encontrado con Finkelstein-Schafer (dependiendo del parámetro analizado).

kT o *kG*= valores del sistema de ponderación por parámetro meteorológico

Tabla 5. Variables de ponderación para cada variable del Año Meteorológico Típico

Tmax	Tmin	Tprom	RHmax	RHmin	RHprom	Viento	Heliofanía	Precip	Evap	R global
0.04	0.05	0.09	0.04	0.04	0.08	0.08	0.04	0.01	0.04	0.5

(Oko y Ostel, 2011)

Para ver que valores son los que representan mejor a Nanegalito, es decir los valores que se asemejaron al global de todos los datos, se escogen los más cercanos a cero. Finalmente, se calcula el mes típico meteorológico (TMM) que es aquel que menor desviación presenta respecto a los demás candidatos (Bre y Fachinotti, 2014). Siguiendo la metodología propuesta por Pissimanis, Karras, Notaridou, y Gavra (1988), esa desviación se mide mediante la RMSD, por sus siglas en inglés Root Mean Square Difference, ecuación 8. Para el cálculo del RMSD se tomó en cuenta los cinco años más representativos de todos los meses, los cuales fueron calculados anteriormente en el WS. Estos datos tienen el valor de WS más bajo.

$$RMSD = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (RF_{y,m,i} - \overline{RF}_m)}{N} \right]^{1/2} \quad [8]$$

Donde,

N= es el número de mediciones diarias en el mes.

RF_{y,m,i} = valores de precipitaciones de año (*y*), mes (*m*) y día (*i*)

RF_m = valores medios de precipitaciones del mes

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. MEDICIÓN DE GRIETAS, PROFUNDIDAD DE LA CAPA ARABLE Y CÁLCULO DPA

Con las fórmulas explicadas en la metodología se procedió a obtener los tamaños de las grietas visibles en cada finca. En la finca 1 se encontraron 4 grietas, las cuales se detallan en la Tabla 6:

Tabla 6. Dimensiones de las grietas en la finca 1

Grieta	Largo (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)	Inclinación
1	73	31	39	47°, 77°, 14°
2	123	32	39	33°
3	54	27	14	55°, 65°
4	61	22	24	61°, 36°

Las muestras de suelo recogidas, para el cálculo de la densidad aparente, para la finca 1, muestran los resultados mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7. Datos obtenidos en laboratorio Finca 1

Muestras/Grieta	Peso del suelo seco (g)	Peso del recipiente (g)	Volumen del suelo (ml)	Volumen del recipiente (ml)
1	61.99	46.49	20	100
2	62.16	46.49	20	100
3	62.19	46.49	20	100
4	62.07	46.49	20	100

Utilizando la ecuación 2, se procede con el cálculo de la densidad aparente del suelo, de la finca 1, para las muestras mencionadas anteriormente, la Tabla 8 muestra el resumen de los resultados obtenidos, donde se observa que la variación de la densidad es mínima.

La Figura 5 representa un resumen de las dimensiones de las grietas de la finca 1, y se observa que varían en sus medidas, debido a las distintas ubicaciones en las que se encontraron, además de poseer diferentes cantidades de coberturas vegetales. Se observa que la profundidad en las grietas 1 y 2 son las mayores en la finca 1.

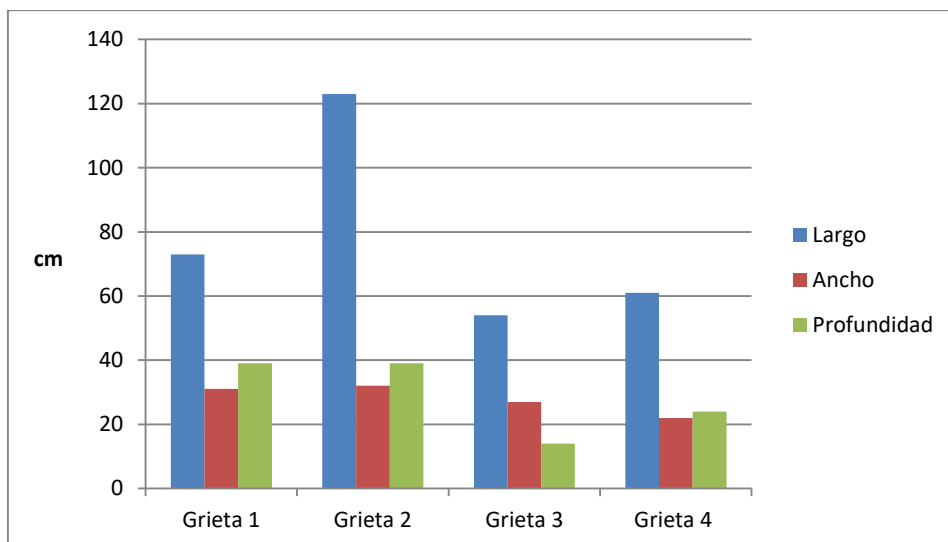


Figura 5. Dimensiones de las grietas de la finca 1

Tabla 8. Resultados de la profundidad de la capa arable y DPA finca 1

Grieta	DPA (g/ml)	Profundidad de la capa arable (cm)
1	0.755	31
2	0.733	
3	0.785	
4	0.779	

La profundidad de la capa arable de la primera finca muestra 31 cm, lo que indica que no hay erosión visible por cuanto el perfil del patrón según el Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central (PASOLAC), (ver Tabla 3), muestra que una erosión leve, en el primer horizonte del suelo, es hasta los primeros 40 cm de profundidad.

En la finca 2 se encontraron 5 grietas, las cuales se detallan en la Tabla 9, evidenciando el largo, ancho y profundidad, expresada en centímetros (cm) de cada grieta

Tabla 9. Dimensiones de las grietas en la finca 2

Grieta	Largo (cm)	Ancho (cm)	Profundidad (cm)	Inclinación
5	92	27	30	85°, 88°
6	94	15	19	30°, 33°, 36°, 63°
7	114	20	18	57°
8	90	12	17	77°, 36°, 54°
9	95	24	27	63°

Las muestras de suelo recogidas, para el cálculo de la densidad aparente, para la finca 2, tienen los resultados mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10. Datos obtenidos en laboratorio Finca 2

Muestras/Grieta	Peso del suelo seco (g)	Peso del recipiente (g)	Volumen del suelo (ml)	Volumen del recipiente (ml)
5	58.09	46.49	20	100
6	66.11	46.49	20	100
7	64.02	46.49	20	100
8	62.10	46.49	20	100
9	62.57	46.49	20	100

Utilizando la fórmula 2, se procede con el cálculo de la densidad aparente del suelo, de la finca 2, para las muestras mencionadas anteriormente, la Tabla 11 muestra el resumen de los resultados obtenidos.

La Figura 6 representa un resumen de las dimensiones de las grietas de la finca 2, y se observa que el largo ancho y profundidad de las cinco grietas encontradas son similares, debido a que a lo largo de la finca se encontraba una cobertura vegetal uniforme. La grieta 7 a diferencia de las otras cuatro grietas tiene un largo mayor, en cambio las otras dos dimensiones se asemejan en las cinco grietas.

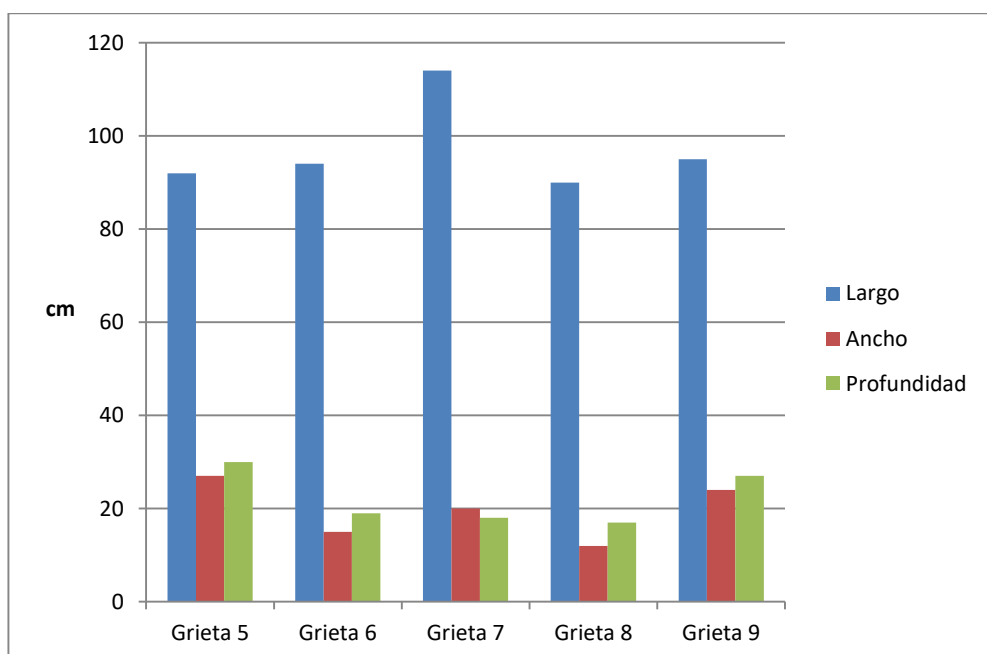


Figura 6. Dimensiones de las grietas de la finca 2

Tabla 11. Resultados DPA finca 2

Grieta	DPA (g/ml)	Profundidad de la capa arable (cm)
5	0.580	20
6	0.981	
7	0.877	
8	0.780	
9	0.804	

Al igual que en la finca 1, y siguiendo la misma metodología, la erosión del suelo es leve, (ver Tabla 3), por lo que, según las Buenas Prácticas Agrícolas para el Manejo Agronómico de la Caña de Azúcar, la profundidad a la que la caña de azúcar debe plantarse y a la que aprovecha los nutrientes es desde los 20 hasta los 40 cm, sin material impenetrable que interfiera en las labores culturales (Manrique, Ramirez, Rangel, y Bayona , 2008).

En la Figura 7, se observa el valor máximo y mínimo de la profundidad de la capa arable en la que la caña de azúcar aprovecha los nutrientes eficientemente, también se detalla las profundidades de las capas arables de las fincas estudiadas. Observando que la capara arable de las dos fincas está en el rango óptimo para el cultivo.

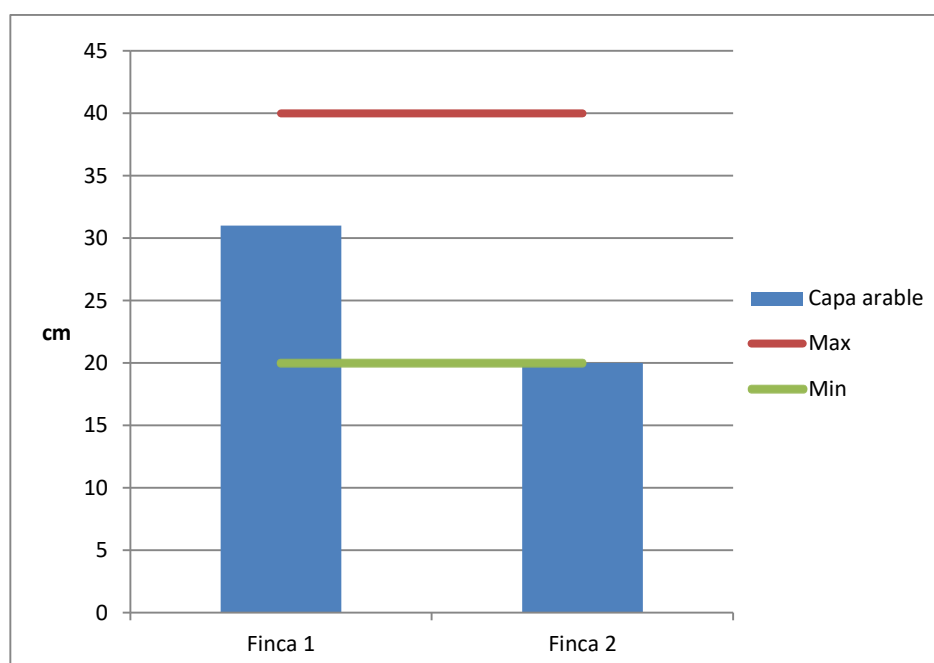


Figura 7. Capa arable de las fincas visitadas

3.2. CÁLCULO DE LA EROSIÓN DEL SUELO

El cálculo de la erosión del suelo, se lo realizó con la fórmula 1, con variables de altura área y DPA de cada grieta (9 en total, 4 en la finca 1 y 5 en la finca 2), los resultados se detallan en la Tabla 12, donde se muestra el promedio de pérdida de suelo en t/ha y un total de pérdida del suelo por finca.

Tabla 12. Resultados de la pérdida del suelo en la finca 1 y 2

	Grieta	Pérdida del suelo (t/ha)	Total (t/ha)
Finca 1	1	0.068	0.211
	2	0.112	
	3	0.016	
	4	0.015	
Finca 2	5	0.043	0.168
	6	0.026	
	7	0.036	
	8	0.014	
	9	0.049	

Al hacer un promedio de la pérdida del suelo de las 4 grietas de la Finca 1, se obtiene que existe una pérdida por grieta de 0.05 t/ha, debido a la erosión hídrica del lugar, lo que indica una **erosión normal** comparado con el valor de <0.5 t/ha que indica la FAO (1980), (ver Tabla 3). Por otra parte, si se hace una suma, considerando la pérdida de todas las grietas en la finca 1, se obtiene que se pierde un 0.211 t/ha y al compararlo con los datos de la Tabla 2, se observa que el suelo de las fincas de los terrenos de Pacto tienen un riesgo de **erosión normal**, que con el tiempo puede permanecer constante o aumentar, por lo que debería considerarse el desarrollo de medidas y líneas de acción para atenuar el grado de erosión encontrado.

Lo mismo ocurre con las 5 grietas de la Finca 2, el promedio de pérdida de suelo es 0,03 t/ha, menor que en la Finca 1, también se encuentra en el rango de riesgo de **erosión normal**. Y de la misma manera, al hacer una sumatoria total de pérdida de erosión laminar se obtiene que la finca 2 pierde un total de 0.168 t/ha, valor perteneciente al rango de riesgo de **erosión normal**.

También, se conoce que para prevenir procesos de erosión en la agricultura desarrollada en laderas, se utiliza vegetación cortada propia del lugar o introducida, la cual va a servir como una especie de manto para mantener las propiedades físicas del suelo (Buckles, Triomphe, y Sain, 1998).

Esta práctica fue evidenciada en las plantaciones de caña de azúcar visitadas, por lo que la erosión en el lugar era mínima.

3.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DEL SUELO DE PACTO

Como se mencionó en la metodología, el análisis físico-químico incluyó las variables: pH, conductividad, fósforo y hierro. La Tabla 13 detalla los resultados analizados de todas las grietas encontradas, tanto en la Finca 1 (grieta 1, 2, 3, 4) como en la Finca 2 (grieta 5, 6, 7, 8, 9).

Tabla 13. Análisis físico-químico

	Grieta	pH	Conductividad (dS/m)	Fósforo (mg/l)	Hierro (mg/l)
Finca 1	1	6.7	1.4	37.5	47.90
	2	7.5	1.7	36.12	51.73
	3	6.3	1.44	37.70	40.40
	4	7.0	1.12	39.60	46.96
	Promedio	6.87	1.4	37.73	46.74
Finca 2	5	6.6	1.35	38.05	50.59
	6	7.1	1.6	36.01	52.32
	7	6.9	1.54	34.96	48.3
	8	7.3	1.56	36.03	52.67
	9	7.7	1.7	36.5	50.7
	Promedio	7.13	1.55	36.25	50.77

La caña de azúcar puede tolerar diversas condiciones edáficas, se adapta y tolera variaciones de fertilidad en el suelo. Por esta razón, se cultiva caña de azúcar en suelos con pH entre 4 y 8.3 (Urrestarazu, Martín, De Córdoba, Castillo, y Salas, 2004)

El promedio de pH de la finca 1 es de 6,87 con lo que se puede concluir que las presenta un **pH óptimo**, de acuerdo a la comparación con la propuesta de Molina y Meléndez (2002) (ver Tabla 4). En cuanto a la finca 2

se puede analizar que su pH es un poco elevado ya que los valores óptimos son de 6 a 7, y este sobrepasa con 3 décimas, pero esto no es una desventaja al momento de cultivar la caña de azúcar, ya que como se indicó en el párrafo anterior esta puede crecer en pH entre 4 y 8.3.

En cuanto a la conductividad medida en las dos fincas, se observa que tiene una categoría **no salina**, según la calificación de la salinidad del suelo. En la cual se señala que si el suelo presenta una conductividad menor a 2 dS/m este no afecta a ningún cultivo (Molina y Meléndez, 2002).

El fosfato y el hierro, tanto en la finca 1 y 2, son **óptimos** en el suelo, ya que están dentro del rango (20 - 50 para el fosfato y 10 – 50 para el hierro) (Molina y Meléndez, 2002) compuestos que ayudan al crecimiento, ya que actúan en el metabolismo y desarrollo de las plantaciones de la caña de azúcar.

Para el cálculo de la humedad se utilizó la ecuación 3, los datos obtenidos se detallan en la tabla 14, en la cual se observa que la humedad del suelo de las dos fincas es la adecuada para el cultivo ya que este necesita suelos con un buen drenaje (Gómez y Miranda, 2009)

Tabla 14. Datos de humedad (finca 1 y 2)

Muestra/Grieta	Peso suelo húmedo (g)	Peso suelo seco (g)	% humedad
1	17.04	15.5	9.03
2	16.91	15.67	7.3
3	16.88	15.7	7
4	16.73	15.58	6.9
5	12.61	11.6	8
6	21.57	19.62	9
7	18.93	17.53	7.4
8	16.84	15.61	7.3
9	17.23	16.08	6.7

3.4. DIVERSIDAD DE SIEMBRA E IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES VEGETALES

3.4.1. DENSIDAD DE SIEMBRA

La determinación de la distancia entre los cultivos de caña se determinó en tres distintos lugares tanto para la finca uno como para la dos; la información se encuentra en la tabla 15.

Tabla 15. Distancia de cultivos de caña de azúcar

Sector	Finca 1 – 20 ha		Finca 2 – 40 ha	
	Distancia entre pantas (m)	Distancia entre hileras (m)	Distancia entre pantas (m)	Distancia entre hileras (m)
1	1.83	1.83	1.75	1.85
2	1.80	1.75	2.21	1.45
3	1.43	1.31	1.67	1.82
Promedio	1.68	1.63	1.87	1.70

Cabe recalcar que en cada una de las fincas no se halla cultivada en su totalidad, es decir en todo el terreno disponible. Así, en la finca 1 se cosecha 8 hectáreas de las 20 disponibles y en la finca 2 se cosecha 15 hectáreas de las 40 totales.

Tanto en la finca 1 como en la 2 se analizó la distancia de siembra en los cultivos de caña. En la finca 1, la distancia promedio entre las plantaciones, con 3 puntos aleatorios, es de 1.68 metros y en la finca 2 es 1.87 metros; y la distancia promedio entre las hileras tanto para la finca 1, como para a finca 2, son de 1.63 m y 1.70 m, respectivamente.

Subirós (2000) indica que la distancia recomendada para la siembra de caña de azúcar entre surcos es entre 1.30 y 1.80 metros, dependiendo de las condiciones climáticas y edáficas del lugar; logrando así no tener un aumento de rendimiento. Lo que si ocasiona una siembra muy espesa es un menor número de brotes y disminución del diámetro del tallo de las plantas.

Los datos obtenidos en campo muestran que las distancias de siembra en las fincas de Pacto cumplen con la distancia recomendada, que según lo observado hasta el momento, no incrementan el riesgo de erosión.

Como se mencionó anteriormente el total de siembra de la finca 1 es de 8 hectáreas y la finca 2 es de 15 hectáreas; los resultados que se detallan en la Tabla 16, expresan la densidad de la siembra, es decir, el número de plantas por unidad de superficie disponible para la siembra y cosecha.

El promedio de plantas de los tres sectores, en la primera finca, indica alrededor de 30,000 plantas, lo que nos da a entender que ese total de plantas alcanzan en las 20 hectáreas disponibles. Lo mismo ocurre para la finca 2 que alcanzaría 47,797 plantas en las 40 hectáreas disponibles de terreno.

Para la identificación de la densidad de siembra se utilizó la fórmula del aprovechamiento de espacio en cada uno de los casos, se obtuvieron los siguientes resultados, detallados en la Tabla 16.

Tabla 16. Densidad de siembra

	Sector	Densidad de siembra (Método cuadro real y rectángulo) *
Finca 1	1	23,888 plantas
	2	25,396 plantas
	3	42,705 plantas
	Promedio	30,663 plantas
Finca 2	1	46,332 plantas
	2	46,809 plantas
	3	49,351 plantas
	Promedio	47,497 plantas

Nota: *Ecuación 5, aprovechamiento del espacio de la siembra en todo el terreno disponible

3.4.2. IDENTIFICACIÓN DE PLANTAS

Con la ayuda de un software, PlanetNet, un libro de flora del Ecuador de Erwin Patzelt (1985) y los docentes, se identificaron, in situ, las varias especies vegetales diferentes a la caña de azúcar.

Las especies correspondientes a la finca uno son las siguientes: farol chino, aguacate, guaba, durián, ñachag y chanta.

Las especies correspondientes a la finca dos son las siguientes: naranjilla, llantén mayor, plátano, helecho, camote, limón, hierba mora, café, malva, coquillo y oreja de ratón. En la Tabla 17 se detallan los nombres comunes y científicos de cada una de las plantas que se encontraron en las dos fincas visitadas.

Se observó que estas plantas estaban distribuidas, en su mayor parte, en los contornos y vértices de las fincas, las cuales a su vez, sirven como uso diario para el agricultor, además que los rastrojos que dejan estas plantas sirven para la protección y prevención de la erosión del suelo.

Tabla 17. Plantas encontradas en las fincas de caña de azúcar

Nombre común	Nombre científico
Farol chino	<i>Abutilon pictum</i>
Aguacate	<i>Persea americana</i>
Guaba	<i>Inga edulis</i>
Durián	<i>Durio zibethinus</i>
Ñachag	<i>Bidens humilis</i>
Chanta	<i>Canscora sp</i>
Naranjilla	<i>Solanum quitoense</i>
Llantén mayor	<i>Plantago major</i>
Plátano	<i>Musa paradisiaca</i>
Helecho	<i>Osmunda claytoniana var. claytoniana</i>
Camote	<i>Ipomoea batatas</i>
Limón	<i>Citrus limón</i>
Hierba mora	<i>Solanum nigrum</i>
Café	<i>Coffea arabica L.</i>
Malva	<i>Malva sp</i>
Coquillo	<i>Cyperus erythrorhizos</i>
Oreja de ratón	<i>Cerastium arvense</i>

3.4.3. CÁLCULO DEL NDVI

Los resultados obtenidos del cálculo del NDVI se muestran en la Figura 8, en el que están representadas cada una de las fincas. La finca 1 representada por un cuadrado de color azul y la finca 2 representada por un triángulo naranja.

Se observa claramente en la Figura 8, que en el territorio dónde se ubican ambas fincas la diversidad de plantaciones es baja (color rojo), motivo que se le atribuye al monocultivo de caña de azúcar, lo que no quiere decir que existe peligro alto de erosión, por los cálculos mostrados anteriormente.

La expansión de cultivos de caña de azúcar elimina la biodiversidad afectando a la soberanía alimentaria de las comunidades (Cabrera y Zuaznábar, 2010)

En la Figura 8 se detallan las dos fincas en las que se estableció el caso de estudio, como se aclaró anteriormente las fincas están representadas por un triángulo y un cuadrado, también se observa el Índice de Vegetación de las dos fincas y de todo el territorio de Pacto, teniendo este una alta cobertura vegetal en la mayoría de su terreno (alrededores de la parroquia).

La Tabla 18 detalla los valores de cada color, siendo el color verde dónde predomina la cubierta vegetal, el color amarillo y naranja representa que la vegetación es un poco escasa, en el mapa se puede observar que esas zonas son muy reducidas, casi nulas y el color rojo representa que la diversidad en la zona es menor en comparación a la zona verde, esto se debe que en las zonas rojas es dónde se hallan los monocultivos de caña de azúcar y las paneleras.

Tabla 18. Valores del NDVI

Color	Valores
Verde	1.2 – 1.5
Amarillo	0.74 – 0.88
Naranja	0.19 – 0.29
Rojo	0.084

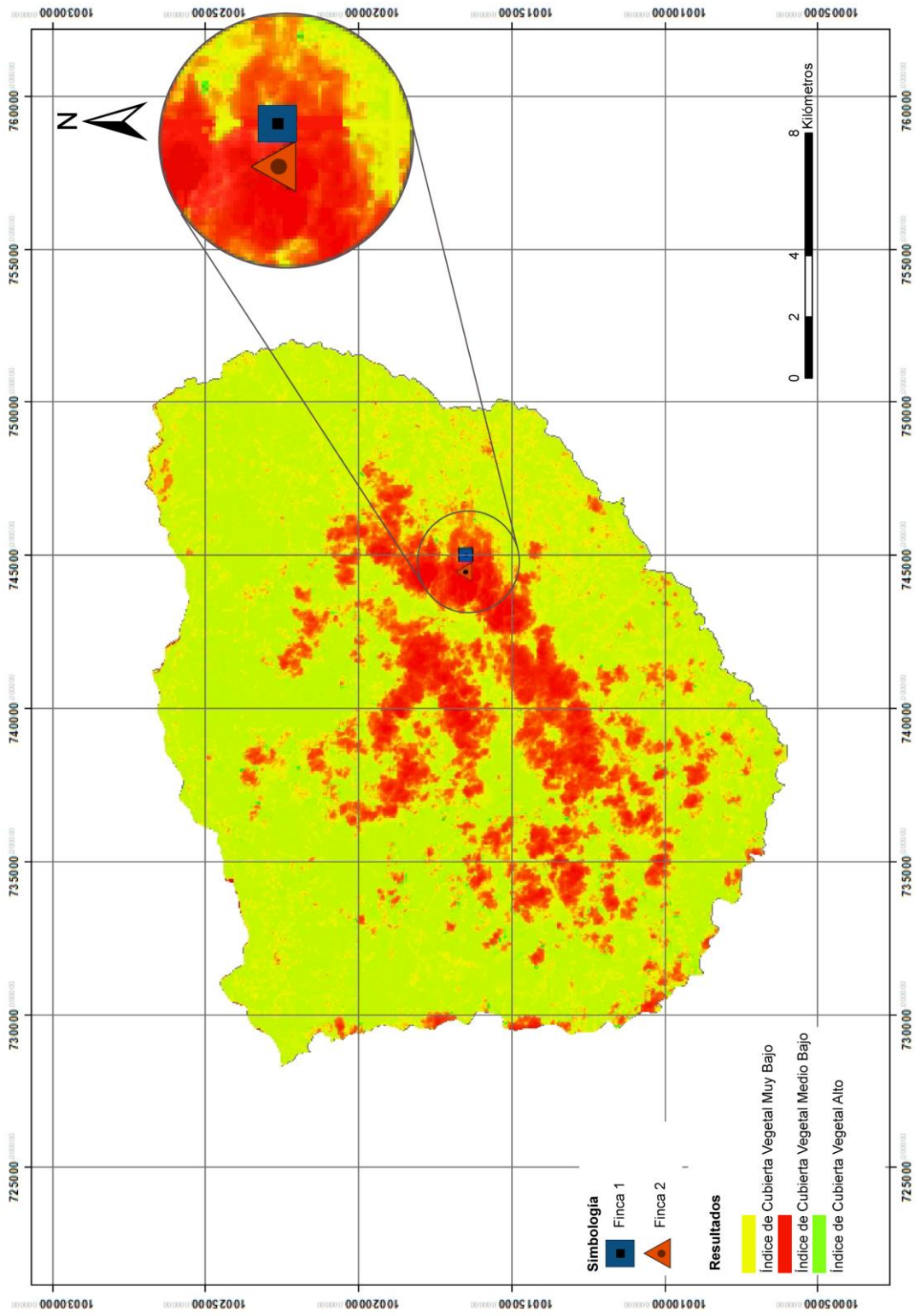


Figura 8. Cálculo NDVI

3.5. PLUVIOSIDAD DE LA ZONA

Como se mencionó anteriormente, Pacto no posee una estación meteorológica propia, y se ha hecho una estimación de las precipitaciones anuales de datos de la estación meteorológica aledaña, Nanegalito. Con esto se analiza la pluviosidad media de estos lugares para determinar la cantidad de agua que puede afectar directamente al suelo agrícola, y que sería la causante de una posible erosión hídrica a futuro.

En la Figura 9 se muestra que el año con mayor precipitación fue el año 2008 sobrepasando los 3000 mm de lluvia, seguidos por los años 2006 y 2011 con valores de 2400 a 2700 mm por lo que el año 2008 y 2011 coinciden en ser los que mayor precipitación presentaron. Durante los años 2014, 2010, 2007, 2012, 2004 y 2013 los rangos de precipitación se establecieron entre 2000 a 2400 mm de agua, existen variaciones dentro de estos valores pero son muy leves ya que se encuentran casi en los mismos niveles y finalmente durante los años 2005, 2009, 2015 los valores de precipitación se mantuvieron entre los 1000 a 1800 mm de agua.

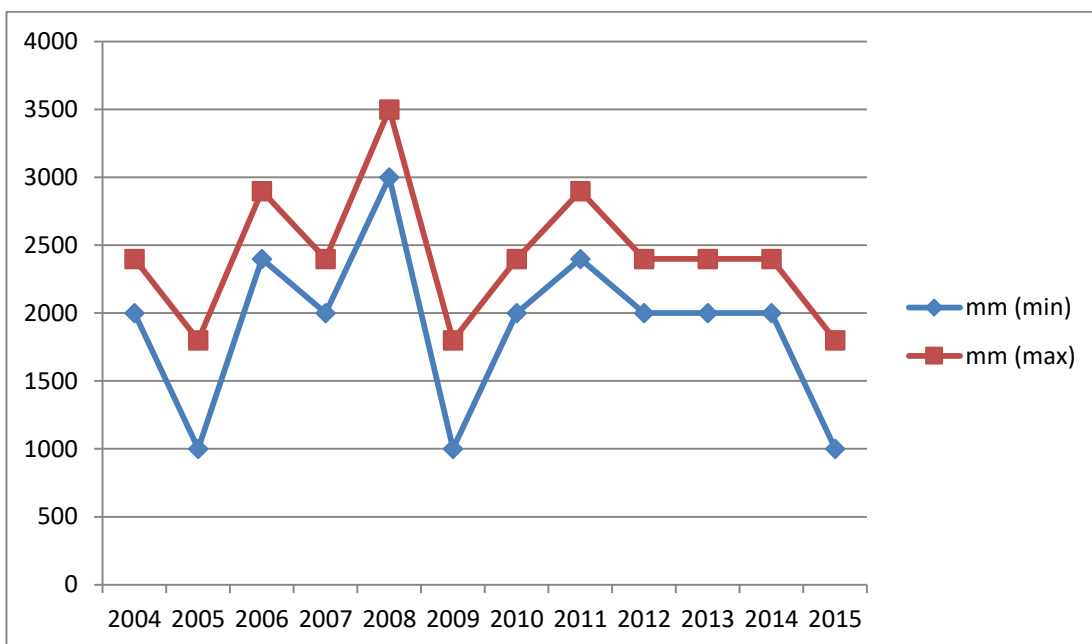


Figura 9. Pluviosidad de los 12 años analizados

3.5.1. AÑO METEOROLÓGICO TÍPICO

Para complementar el análisis pluviométrico, se analizaron alrededor de 4300 datos de precipitaciones de la estación pluviométrica de Nanegalito, de los cuales se sacaron las frecuencias acumuladas de cada uno de los 12 años, después multiplicando por el valor WS (Anexo 3.3), y mediante el

RMSD (Anexo 3.4 y 3.5), se obtuvieron los meses que mejor representan a la pluviometría de esta localidad en el lapso de años analizados. Todos son valores que tienen una desviación estándar menor al promedio global. En los meses de agosto y noviembre se repite el mismo dato más de una vez (ver Anexo 3.3), pero en diferentes años, lo que representa que esos meses son los que más datos de precipitaciones se parecen entre sí.

Después de encontrar los cinco años con el WS más bajo, como se observa en las gráficas del Anexo 4. Posteriormente, se calculó el RMSD (Anexo 2.4 y Anexo 2.5) de los doce meses, teniendo en cuenta los cinco años descritos, en donde se puede observar los valores mínimos de cada mes, siendo ese, el mes típico meteorológico de todos los datos analizados, siendo enero del año 2009 con el valor mínimo.

En la Tabla 19 se observa los años que mejor representan las características típicas de la parroquia de Nanegalito en cuanto a precipitaciones.

Tabla 19. Selección de AMT de la estación Nanegalito

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Año	2009	2015	2015	2015	2011	2005	2005	2012	2015	2010	2011	2012

El Año Meteorológico Típico se utilizó como herramienta útil para la identificación del año con mayor similitud en comparación al promedio del período de 12 años lo que sirve para futuros proyectos de gestión de riesgos y políticas agrícolas para enfrentar y controlar las sequías y promediar el agua anual necesaria para los cultivos, también para el cálculo de sistemas de riego más eficientes (Domínguez, Martínez Romero, Leite, y Tarjuelo, 2013).

3.6. PROPUESTAS

Para completar y ampliar la información de la posible erosión que pueda presentarse en el sector analizado, se proponen varias acciones para realizar a futuro:

3.6.1. INGENIERÍA NATURALÍSTICA

La ingeniería naturalística, también conocida como ingeniería biológica, estudia las modalidades de uso, haciendo uso de la combinación de la Ingeniería Civil, Ambiental y Geotécnica utilizando materiales de

construcción propios de la zona, plantas (platas vivas o parte de estas) y materiales sintéticos para el control de procesos de la erosión, contención y recuperación ambiental, también ayuda a prevenir las grietas en el suelo lo que implican desplazamientos de mayor cantidad de tierra. Esta alternativa propuesta se utilizaría cuando se detecten mayores niveles de erosión, que puedan afectar en mayor proporción a la estructura del suelo. En este sentido hay varios casos de erosión que se han tratado en base a la ingeniería naturalística (Argüello, Cumbicos, Mosquera, y Reyes, 2013). Las técnicas de ingeniería naturalística se emplean dependiendo del grado de la pendiente de la zona a restaurar. La parroquia de Pacto, en específico las dos fincas estudiadas, las pendientes están en un rango de 20 a 40 grados, lo que significa que las técnicas a utilizar serían, según Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (2012), mantas orgánicas con siembra y eventualmente plantación de estacas y/o arbustos las cuales mejoraría el balance hídrico del terreno, contribuyendo con una mejor drenaje en el suelo y el almacenamiento necesario de agua tanto para el recurso suelo como para las plantaciones.

3.6.2. MODELOS DE PREDICIÓN DE EROSIÓN

Se sabe que la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, por sus siglas en inglés USLE, es el modelo de predicción de erosión más utilizado en la actualidad, pero debido a su origen empírico, basado en la experiencia y en la observación detallada de los hechos limitan el aumento de la precisión en los cálculos (Sainz, 2003), es por este motivo que se propone desarrollar modelos ambientales meteorológicos que establezcan posibles escenarios para las diferentes posibilidades de lluvia dentro de la parroquia, con los cuales se podría crear planes de acción para prevenir o disminuir la erosión del suelo. El programa informático que más se ha estado utilizando en estos últimos años es el Water Erosion Prediction Project (WEPP), en su mejor versión GEOWEPP, el cual está asociado a un sistema de información geográfica y calcula diversos campos como las zonas erosionadas, los sedimentos erosionados, las zonas en donde se sedimentan las partículas de suelo ya sea en laderas o en cuencas de ríos (Sainz, 2003).

3.6.3. IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

La implementación de una estación meteorológica en la parroquia de Pacto, la cual proporcionaría datos que ayudaría al estudio de las diferentes variables meteorológicas de forma más directa y eficaz, colaborando así con

el modelamiento meteorológico y a su vez con los planes de acción que se podrían implementar en la zona; también ayudarían a un mejor análisis al momento de realizar el año meteorológico.

3.6.4. GENERACIÓN DE BASE DE DATOS DEL SUELO

Generar de base de datos del suelo en los cuales se observe datos de estructura del suelo, humedad, nutrientes disponibles para las plantaciones de caña de azúcar y control de erosión, las cuales ayuden, tanto a los agricultores como al GAD de la parroquia. De esta manera se pueden realizar controles periódicos para medir la salud del suelo, riqueza nutricional, y prevenir inconvenientes posteriores que afecten a la agricultura del sector.

3.6.5. DETERMINACIÓN DEL AMT

Para que el año meteorológico típico sea más extenso y completo se debe tener más variables a calcular y así tener más herramientas para ayudar con las actividades que se pueden desarrollar en la parroquia de Pacto, como por ejemplo para la irrigación de cultivos o el establecimiento de energías renovables. También que nos ayuda a observar cuales son los meses que mejor representan a la zona de estudio, lo que permite conocer y analizar sobre los aspectos positivos y negativos que pueden afectar a dicha zona, los resultados pueden resultar útiles para aplicar en sistemas de gestión ambiental.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los procesos de erosión en la parroquia de Pacto, según los estudios que se realizaron en campo, son leves en comparación a las normas establecidas por la FAO.
- El proceso de erosión en el monocultivo de caña de azúcar, en específico en Pacto, ya sea porque es un proceso que se lo realiza de manera natural sin utilizar ningún tipo de fertilizante ni insecticida, es muy lento y, según las mediciones realizadas, no afecta a la pérdida de la capa arable del suelo.
- Las cantidades de minerales y nutrientes en el suelo, de acuerdo a los estudios realizados, están en un nivel óptimo para el crecimiento de la caña de azúcar, por lo que no afecta en su crecimiento y desarrollo, ya que la caña de azúcar se puede desarrollar en una amplia gama de suelos, desde los arcillosos hasta los que son completamente orgánicos; pero es aconsejable que el suelo en el que se desarrolle la caña de azúcar tenga una amplia capacidad de retención de humedad, en los primeros 50 cm no debe existir problemas de drenaje y salinidad y el pH debe oscilar entre 5.5 y 8.
- El cálculo del NDVI indica en el mapa que existe una diversidad muy baja en el sector de La Delicia, por la presencia de los monocultivos de caña de azúcar. Pero esto parece no afectar la calidad del suelo, en específico a la capa arable, ya que según los análisis realizados, se muestran valores normales de nutrientes y la caña de azúcar no requiere grandes cantidades de nutrientes específicos, además que los agricultores no usan fertilizantes ni insecticidas artificiales que pueden afectar a las plantaciones y al suelo.
- Se recomienda utilizar drones para un monitoreo constante de la densidad de la vegetación y la dinámica de formas lineales en el suelo dentro y alrededor de las plantaciones de caña de azúcar. Los mapas que se muestran en los resultados de la investigación indican que existe pendientes en un rango de 20 a 40 grados, aumentando la posibilidad de que la escorrentía produzca erosión en el suelo, pero según lo analizado, los agricultores promueven una cobertura vegetal en el suelo, propia de los cultivos de caña, lo que ha disminuido el grado de deterioro del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- Adana, R. d. (2002). *Aplicación de la dinámica de fluidos computacional al control de las mermas de vino en naves de crianza climatizadas*. Logroño: Universidad de la Rioja.
- Aguilar, N., Galindo, G., Fortanelli, J., & Contreras, C. (2010). *Índice normalizado de vegetación en caña de azúcar en la Huasteca Potosina*.
- Argüello, A., Cumbicos, J., Mosquera, C., & Reyes, J. (2013). *Ingeniería Naturalística para prevención de riesgos en dos taludes del sur de Quito*. Quito.
- Bre, F., & Fachinotti, V. (2014). Generación del año meteorológico típico para la ciudad de Santa Fe en la región litoral Argentina. *ASADES*, 11.01 - 11.08.
- Buckles, D., Triomphe, B., & Sain, G. (1998). *Los cultivos de cobertura en la agricultura en laderas*.
- Cabrera, J., & Zuaznabar, R. (2010). Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance de Carbono. *Cultivos Tropicales*, 5 - 13.
- Casanova, M., Haberland, J., Seguel, O., & Walter, L. (2002). *Efecto del gradiente y aspectos de la pendiente en la erosión de laderas de Secano de Chile Central*.
- Cisneros, J., Carmen, C., Alberto, C., Jorge, G., Miguel, R., Alejandro, D., & Leonardo, B. (2012). *Erosión hídrica principios y técnicas de manejo*. Córdoba: Unirio.
- do Prado, L., & da Veiga, M. (1993). *Relación entre fertilidad y pérdida del suelo*. Obtenido de FAO Portal: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S06.htm>
- Domínguez, A., Martínez Romero, A., Leite, K., & Tarjuelo, J. M. (2013). Combination of typical meteorological year with regulated deficit irrigation to improve the profitability of garlic growing in central Spain. *Agricultural Water Management*, 154-167.
- Espinosa, J., Moreno, J., & Bernal, G. (2018). *The Soils of Ecuador*. Quito: Springer.

- FAO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. .
- FAO. (2018). *¿Qué es el Suelo?* Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Fassbender, H. (1975). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Turrialba: IICA.
- Gómez, E., & Miranda, J. (2009). *Manejo agronómico de la caña panelera con énfasis en el control biológico*. Bogotá: Federación nacional de productores de panela. (Fedepanela).
- Hernández, A., Ascanio, M., Morales, M., Bojórquez, J., García , N., & García , J. (2006). *El suelo: fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo*.
- Ibarra, L., & Mantilla , R. (2015). *Propuesta de un plan de desarrollo y ordenamiento territorial para la parroquia Pacto, Distrito Metropolitano de Quito, provincia Pichincha, Ecuador*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/10738/T-ESPE-049213.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=92&zoom=100,0,434>
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín.
- Jenkins, H. (1966). *Introduction to cane sugar technology*. New York: Elsevier Publishing Companys.
- Kalames, T., & Kurnitski, J. (2005). Estonian test reference year for energy calculations. *Estonian Journal of Engineering*.
- Lasso, L., & Espinosa, J. (2018). Soils from the Galapagos Island. En *Soils of Ecuador* (págs. 139-150). Quito: Springer.
- MAGAP. (2016). *Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca-SIGTIERRAS*. Obtenido de Mapa de suelos de órdenes del Ecuador: <http://www.sigtierras.gob.ec/mapa-de-ordenes-de-suelos/>
- Manrique, R., Ramirez, J., Rangel, M. C., & Bayona , A. (2008). *Buenas prácticas agrícolas para el manejo agronómico de la caña de azúcar (Saccharum spp.) con destino a la producción de panela y otros usos alternativos como el alcohol carburante* . Bogotá: Carpoica.
- McCray, M., Rice, R., Ezenwa, I., Lang, T., & Baucum, L. (2011). Nutrición en caña de azúcar Uso del análisis foliar. *FERTILIZAR*, 5-33.

- Mendoza, M. (2005). *Manual de Métodos Sencillos para estimar Erosión Hídrica*. Managua: PASOLAC.
- Molina, E., & Meléndez. (2002). *Análisis de suelos y su interpretación*. Obtenido de Infoagro: <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documentos/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>
- Moreno, J., Sevillano, G., Valverde, O., Loayza, V., Haro, R., & Zambrano, J. (2018). Soil from the costal plane. En *Soils of Ecuador* (págs. 27-77). Quito: Springer.
- Moreno, J., Yeovi, F., Herrera, M., Yáñez, D., & Espinoza, J. (2018). Soils from the Highlands. En *Soils of Ecuador* (págs. 79-111). Quito: Springer.
- Oko, C., & Ostel, O. (2011). Generation of a typical meteorological year for port harcourt zone. *Journal of Engineering Science and Technology*.
- PASOLAC. (2005). *Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica*. Managua.
- Patzelt, E. (1996). *Flora del Ecuador*. Quito: Banco Central del Ecuador.
- Pissimanis, D., Karras, G., Notaridou, V., & Gavra, K. (1988). The generation of a "typical meteorological year" for the city of Athens. *Solar Energy*, 405 - 4011.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Pacto. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Pacto*. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1768128260001_GESTNOVA_PDyOT_PACTOFINAL_30-10-2015_20-27-52.pdf
- Plan de Ordenamiento Territorial Parroquia Nanegalito. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial de Nanegalito*. Obtenido de: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1768121170001_PDOT%20APROBADO%20GAD%20NANEGALITO%202015-2019_30-10-2015_23-59-09.pdf.
- Prasad, R., & Power, J. F. (1997). Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture. *Lewis Publishers*, 243.
- Rubio, A. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales*. Obtenido de Universidad de Sevilla:

<http://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>

Ruiz, W. (2 de Octubre de 2012). *Producción de la caña de Azúcar en el Ecuador*. Obtenido de Educándonos en el ámbito económico: <http://ambitoeconomico.blogspot.com/2012/10/produccion-de-la-cana-de-azucar-en-el.html>

Sainz, M. d. (2003). *Metodología para la evaluación de la erosión hídrica con modelos informáticos. Aplicación del modelo GEOWEPP a dos pequeña cuencas en Madrid*. Madrid.

Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (2012). *Manual de Ingeniería Naturalística*. Quito.

Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy A Basic System of Soil Clasification for Making and Interpreting Soil Surveys*.

Subirós, F. (2000). *El cultivo de la caña de azucar*. Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.

Tayupanta, J. (1993). *La erosión hídrica: procesos, factores y formas*. Quito.

Ulloa, M. C. (2016). *El suelo y la productividad agrícola*. Recuperado el 7 de Mayo de 2018, de Academia: https://www.academia.edu/9324382/LOS_SUELOS_DEL_ECUADOR?ends_sutd_reg_path=true

Urquiaga, S., Jantalia, C., Luzio, W., Alves, B., & Boddey, R. (2005). Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal. *El horizonte del suelo*, 46-60.

Urrestarazu, M., Martín, J., De Córdoba, A., Castillo, P., & Salas, M. (2004). *El cultivo de la caña de azucar en la costa granadina*. Almería.

USDA. (1999). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Obtenido de: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf.

USDA. (2017). *Soil Survey Manual*. Obtenida de: http://library.wur.nl/isric/fulltext/isricu_i34403_001.pdf.

Vega Carreño, B., & Febles González, J. (2005). La investigación de suelos erosionados: métodos de índices de diagnóstico. *Minería y Geología*, 1-18.

Velasco, J. (2014). *Los biofertilizantes y la producción de caña de azúcar (Saccharum Spp.)*. México: Campus Córdoba, Colegio de Postgraduados.

Viteri, F., & Guerrero, A. (2013). *Definición del año meteorológico típico en base a las variables de temperatura, precipitación y velocidad del viento, de tres regiones naturales del Ecuador: Costa, Sierra y Oriente.*

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 1 VISITAS A LA PARROQUIA DE PACTO PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS E INFORMACIÓN

Medición de pendiente en el terreno



Cobertura vegetal de las fincas de panela



Horizontes del suelo en una calicata



Excavación de la calicata



Plantas diferentes a la caña de azúcar



Parte del proceso de la fabricación de la panela



Identificación de vegetación de la zona



Grieta



Medición dimensiones de las grietas



Medición dimensiones de las grietas



Medición distancia de siembra



Medición altura de las plantaciones de caña de azúcar



ANEXO 2 ANÁLISIS DE LABORATORIO

Muestra de suelo



Análisis de laboratorio



Análisis de laboratorio



ANEXO 3 CÁLCULOS AMT

Anexo 3.1. Índice ponderados WS primer semestre (2004-2015)

Año	Estación M0039					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
2004	0,0055	0,0045	0,0067	0,0032	0,0028	0,0036
2005	0,0037	0,0026	0,0054	0,0017	0,0030	0,0030
2006	0,0081	0,0090	0,0056	0,0039	0,0054	0,0030
2007	0,0030	0,0044	0,0054	0,0069	0,0053	0,0076
2008	0,0068	0,0038	0,0092	0,0068	0,0056	0,0026
2009	0,0047	0,0061	0,0061	0,0046	0,0028	0,0055
2010	0,0016	0,0051	0,0055	0,0061	0,0032	0,0042
2011	0,0078	0,0043	0,0060	0,0076	0,0019	0,0047
2012	0,0045	0,0065	0,0048	0,0048	0,0030	0,0028
2013	0,0055	0,0035	0,0064	0,0022	0,0058	0,0056
2014	0,0056	0,0090	0,0029	0,0056	0,0065	0,0035
2015	0,0050	0,0043	0,0041	0,0019	0,0061	0,0021

Anexo 3.2. Índice ponderados WS segundo semestre (2004-2015)

Año	Estación M0039					
	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2004	0,0069	0,0043	0,0048	0,0046	0,0024	0,0027
2005	0,0025	0,0016	0,0031	0,0034	0,0029	0,0042
2006	0,0022	0,0033	0,0047	0,0027	0,0063	0,0062
2007	0,0027	0,0016	0,0079	0,0052	0,0088	0,0039
2008	0,0063	0,0055	0,0075	0,0108	0,0024	0,0066
2009	0,0027	0,0049	0,0029	0,0016	0,0030	0,0050
2010	0,0084	0,0048	0,0057	0,0027	0,0036	0,0090
2011	0,0033	0,0024	0,0032	0,0038	0,0029	0,0056
2012	0,0017	0,0023	0,0032	0,0047	0,0073	0,0036
2013	0,0018	0,0041	0,0019	0,0044	0,0031	0,0028
2014	0,0025	0,0024	0,0041	0,0018	0,0024	0,0037
2015	0,0051	0,0025	0,0025	0,0056	0,0036	0,0049

Anexo 3.3. Valores que representan el AMT de Nanegalito

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Año/ Valor WS	2010/ 0,0016	2005/ 0,0026	2014/ 0,0029	2005/ 0,0017	2011/ 0,0019	2015/ 0,0021	2012/ 0,0017	2005/ 0,0016 2007/ 0,0016	2013/ 0,0019	2009/ 0,0016	2004/ 0,0024 2008/ 0,0024 2014/ 0,0024	2015/ 0,0027

Anexo 3.4. RMSD primeros seis meses

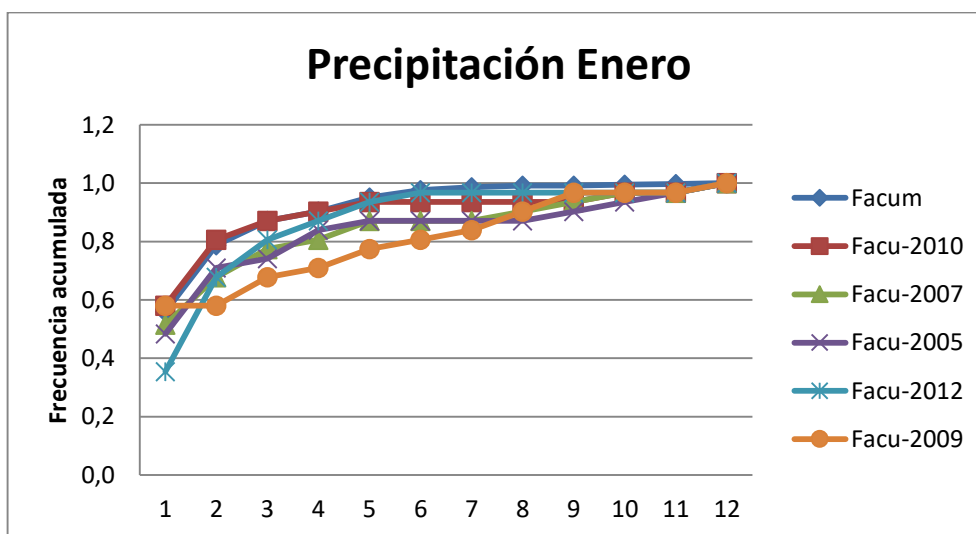
ENERO	año	2009	2010	2005	2007	2012
	RMSD (mm)	-3,6477	-2,5702	-1,2622	-0,1477	3,5701
FEBRERO	año	2015	2005	2011	2013	2008
	RMSD (mm)	-2,9716	0,6374	0,2891	0,7249	1,6641
MARZO	año	2015	2012	2005	2007	2014
	RMSD (mm)	-0,8024	-0,4185	0,0669	0,1379	2,1444
ABRIL	año	2015	2013	2005	2004	2006
	RMSD (mm)	-3,2043	-1,2727	-0,6160	1,0040	2,3523
MAYO	año	2011	2005	2012	2009	2004
	RMSD (mm)	-1,4586	-1,3392	-1,2860	-0,9022	0,6882
JUNIO	año	2005	2015	2012	2006	2008
	RMSD (mm)	-1,0895	-0,8679	0,0755	0,2771	1,1705

Anexo 3.5. RMSD últimos seis meses

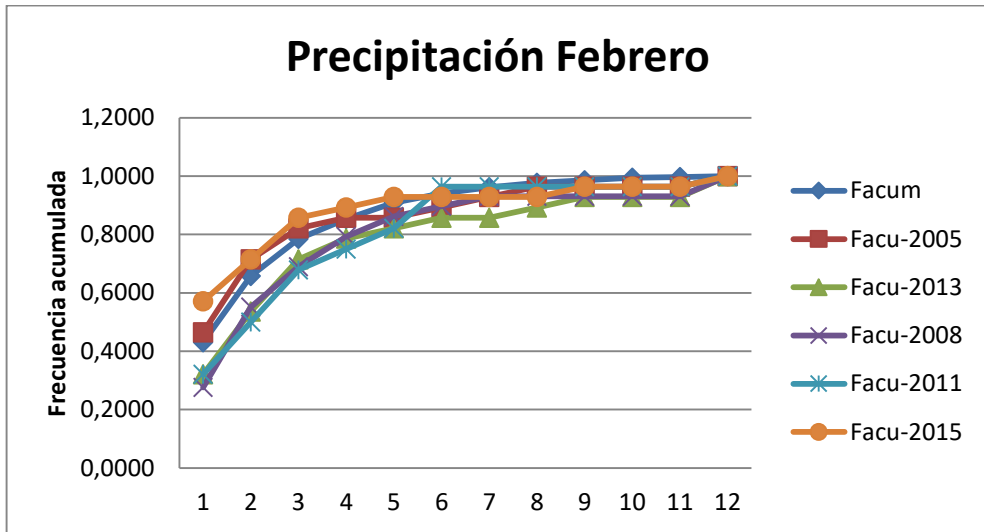
JULIO	año	2005	2006	2012	2013	2014
	RMSD (mm)	-1,1700	-1,0216	-0,6797	-0,4458	-0,4168
AGOSTO	año	2012	2014	2005	2011	2007
	RMSD (mm)	-0,4856	-0,4534	-0,4114	-0,1163	0,5257
SEPTIEMBRE	año	2009	2015	2005	2013	2011
	RMSD (mm)	-1,1495	-0,8911	-0,6078	0,3589	0,5705
OCTUBRE	año	2010	2005	2009	2006	2014
	RMSD (mm)	-1,1426	-0,7958	-0,6152	0,4203	1,0671
NOVIEMBRE	año	2011	2005	2008	2014	2004
	RMSD (mm)	-1,5150	-0,4300	-0,3850	-0,2317	-0,1317
DICIEMBRE	año	2012	2014	2004	2007	2013
	RMSD (mm)	-2,0778	-1,9730	-0,4069	-0,3069	-0,1617

ANEXO 4 GRÁFICAS WS

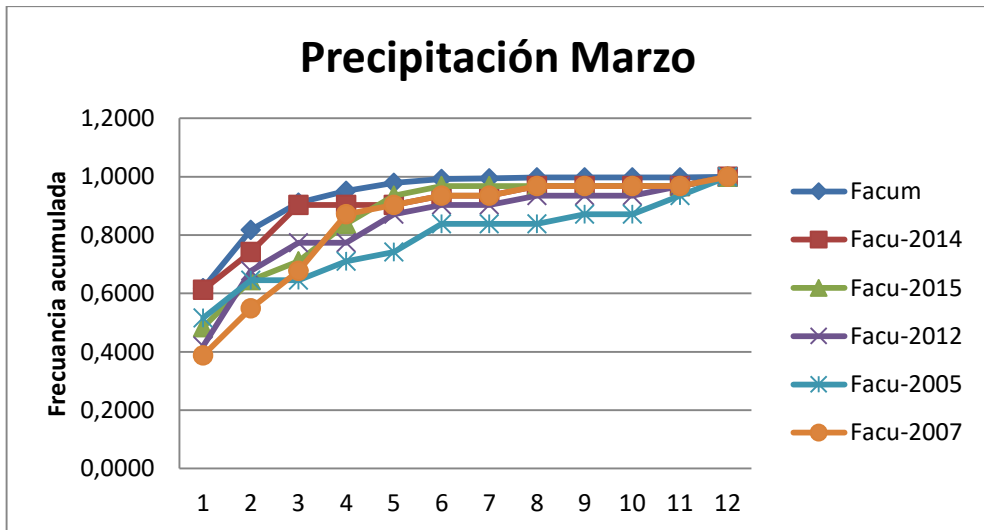
Anexo 4.1. WS precipitación enero



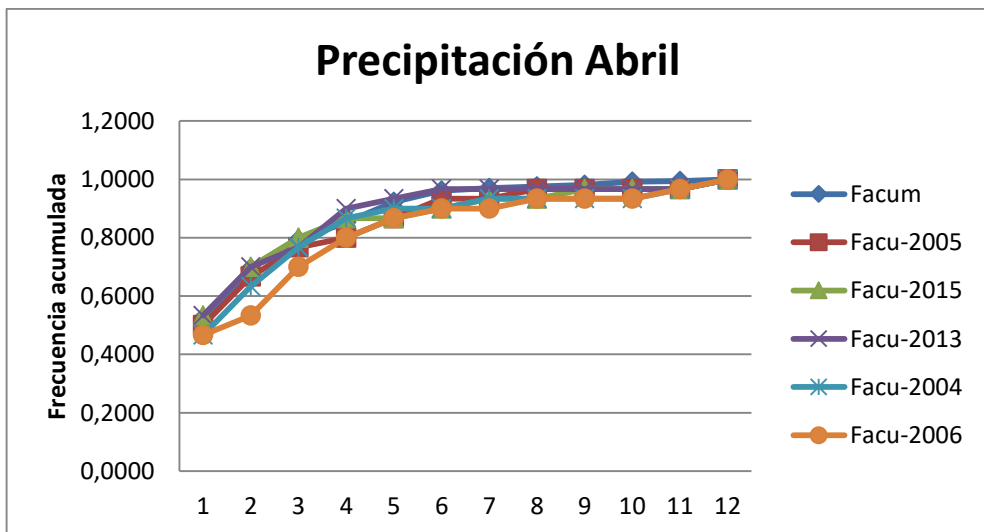
Anexo 4.2. WS precipitación febrero



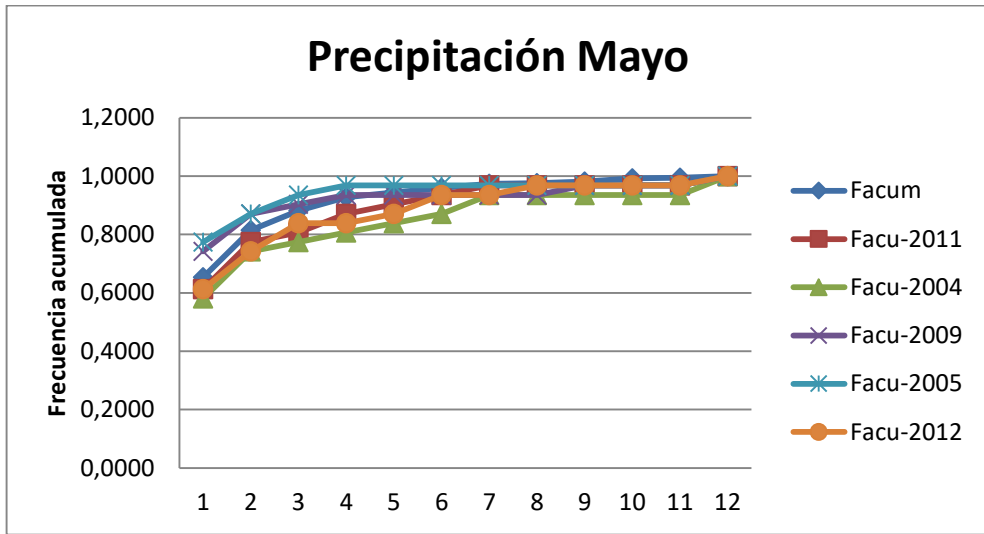
Anexo 4.3. WS precipitación marzo



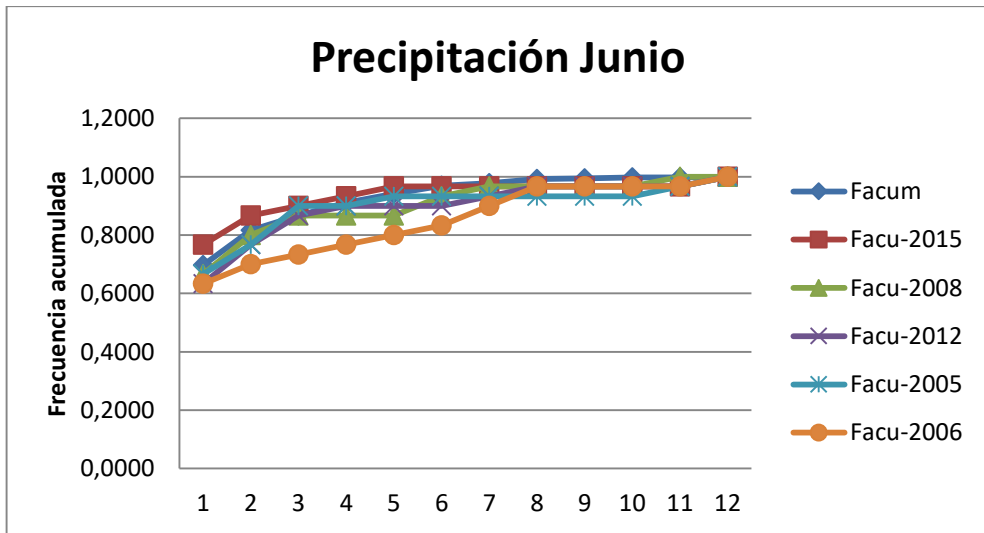
Anexo 4.4. WS precipitación abril



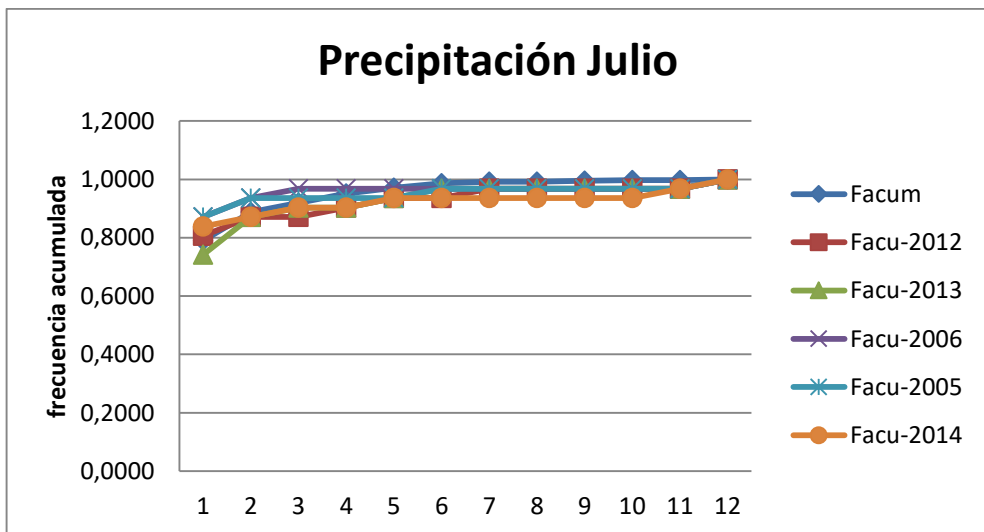
Anexo 4.5. WS precipitación mayo



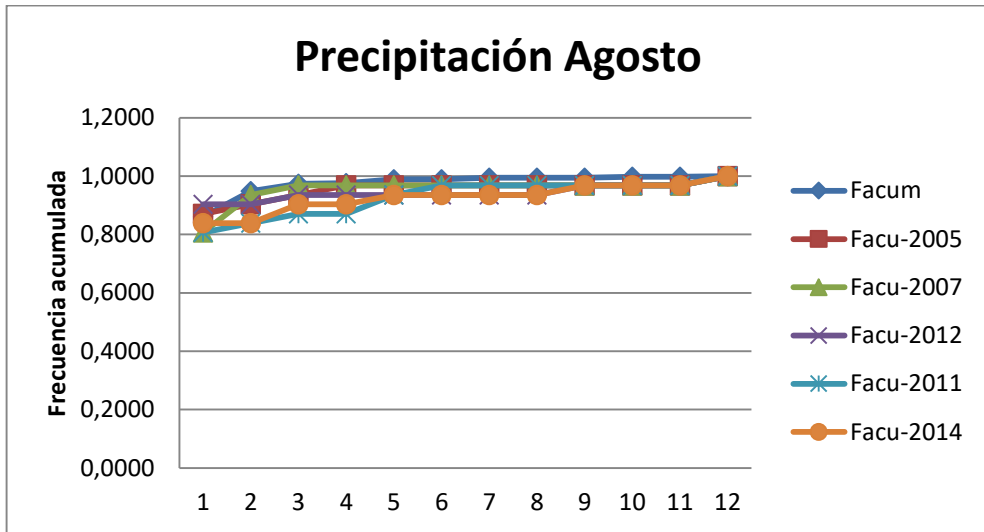
Anexo 4.6. WS precipitación junio



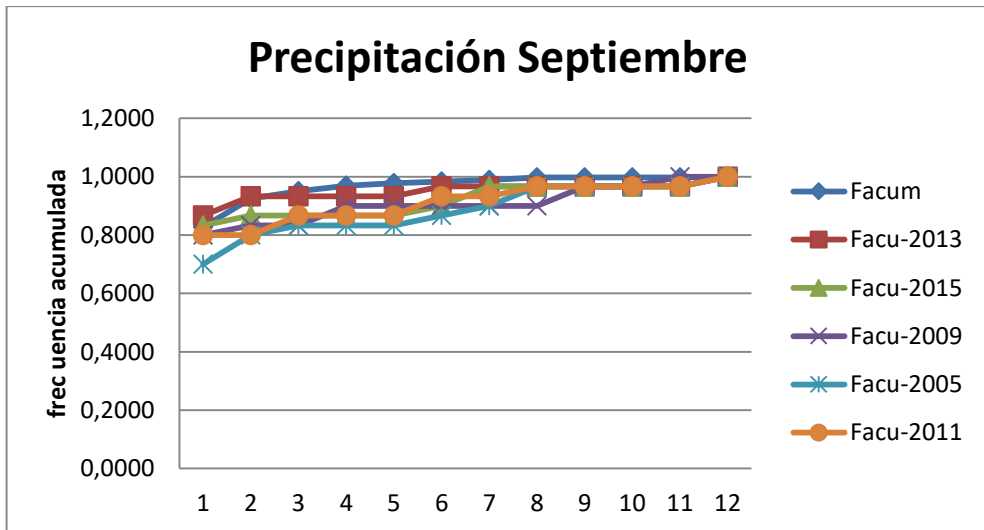
Anexo 4.7. WS precipitación julio



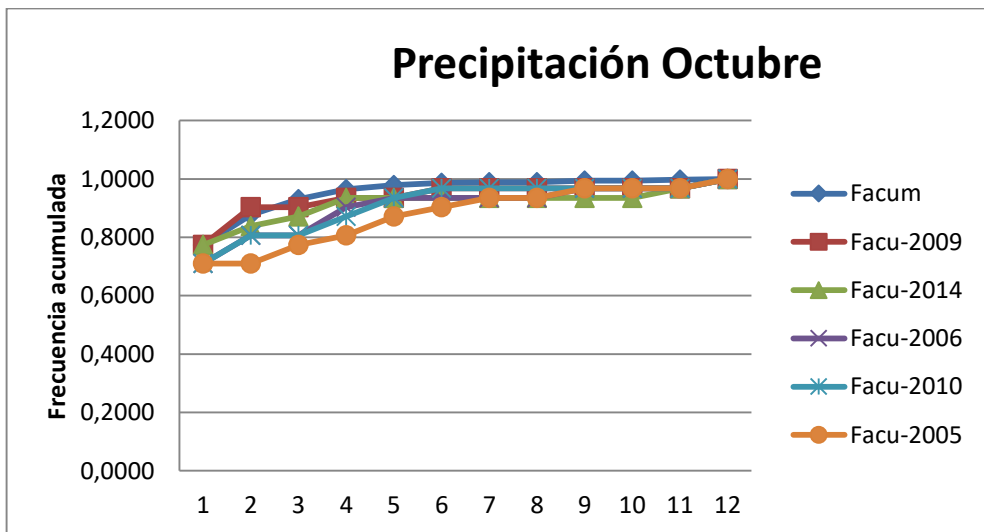
Anexo 4.8. WS precipitación agosto



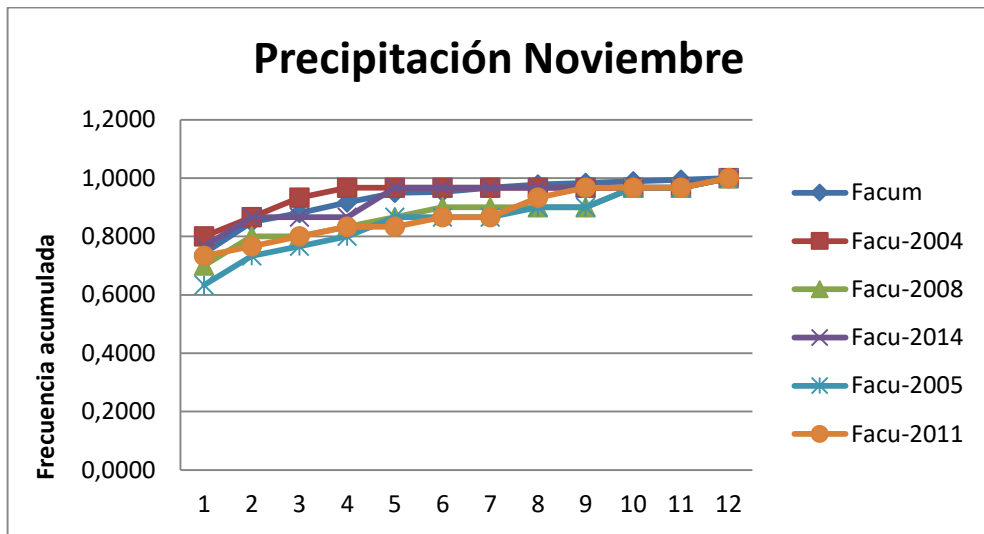
Anexo 4.9. WS precipitación septiembre



Anexo 4.10. WS precipitación octubre



Anexo 4.11. WS precipitación noviembre



Anexo 4.12. WS precipitación diciembre

