

Universidad Nacional de Ingeniería
Programa de Investigación, Estudios Nacionales
y Servicios del Ambiente (PIENSA)



**Erosión hídrica superficial en la microcuenca del río
Mancotal en Jinotega, Nicaragua.
1996 – 2015.**

Tesis para optar al título de:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Tesista:

Lic. Isolina del Carmen Gutiérrez Aguilar

Tutor:

MSc. Ing. Miguel Enrique Blanco Chávez

Asesores:

M.Sc. Ing. Gerardo Ulises Murillo Malespín

M.Sc. Ing. Rosario Sotelo Contreras

Managua, octubre 2020.

Dedicatoria

A Dios en primer lugar por darme la fuerza y sabiduría para emprender y culminar con éxito esta tesis.

A mis hijos Doctora Hazel Massiel e Ingeniero Francisco José Guerrero Gutiérrez, por ser el sol que ilumina mis senderos.

A mi esposo Lic. Francisco José Guerrero, por ser el eje motor de mi existencia.

A mis longevos padres Sra. Angelina del Carmen Aguilar Oviedo y Sr. Carlos Raúl Gutiérrez, por ser esos ángeles que me guiaron y mostraron los hermosos senderos del mundo.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por su infinita misericordia y bendiciones por darme acierto al empezar, dirección al progresar y perfección al acabar.

A los maestros:

M.Sc. Ing. Miguel Enrique Blanco Chávez

M.Sc. Ing. Gerardo Ulises Murillo Malespín

Por depositar su confianza, orientaciones y apoyo incondicional para el desarrollo de esta investigación.

A mis amigos de INETER, que no nombro por temor a olvidar alguno.



Managua, jueves, 13 de marzo de 2020

M.Sc. Ing. Luz Violeta Molina
Coord. Maestrías Ambientales PIENSA
Sus Manos.-

Estimada maestra:

Por este medio, los suscritos miembros del Comité de Tesis asignado a la **Lic. Isolina Gutiérrez Aguilar**, estudiante de la **Maestría en Ciencias Ambientales** del ciclo académico **1996-1997**, avalamos la entrega del informe final de tesis titulado: **Erosión hídrica superficial en la microcuenca del río Mancotal en Jinotega Nicaragua, 1996 – 2015**.

Realizamos una revisión crítica tanto del informe escrito como de la presentación que nos hizo la tesista y consideramos que ambos están listos para ser evaluados por el Tribunal Examinador que se les nombre, de acuerdo con la Normativa de culminación de estudios de posgrado vigente en PIENSA.


M.Sc. Rosario Sotelo Contreras
Miembro del Comité de Tesis


M.Sc. Gerardo Murillo Malespín
Miembro del Comité de Tesis


M.Sc. Miguel Enrique Blanco Chávez
Tutor y coordinador del Comité de Tesis

cc. Tesista

Managua, 03 de junio, 2019
CMAP-039-19

Lic. Isolina del Carmen Gutiérrez Aguilar
Maestría en Ciencias Ambientales
III Ciclo (1996-1997)

Estimada Maestrante:

Reciba cordial saludo. Por este medio le comunico oficialmente la **aprobación** de su protocolo de tesis titulado: **Erosión hídrica superficial en la microcuenca del río Mancotal, Nicaragua.**

Este protocolo, así como la tutoría del M.Sc. Ing. Miguel Enrique Blanco Chávez y la asesoría del Ph.D. Ing. Gerardo Ulises Murillo Malespín, fueron unánimemente aprobados en la sesión ordinaria **No. 6-2019** del Comité Académico del PIENSA, realizada en la sala de maestría N° 1, el veintiocho de mayo de 2019, mediante **acuerdo N° 1.**

Debe remitir a la suscrita un cronograma de ejecución actualizado en digital en los próximos 15 días hábiles, incluyendo en el mismo **al menos dos reuniones de presentación de avances ante su comité de tesis.** Se sugiere que la primera sea al inicio de septiembre y la siguiente en noviembre de 2019, con la entrega de su informe final de tesis. De esta manera, su predefensa y defensa de tesis se programarían en diciembre de este mismo año.

Finalmente, se le sugiere revisar con su tutor la necesidad de incorporar al título de su tesis el período de estudio considerado (2003-2018, por ejemplo). En nombre de nuestro programa le deseo éxito. Atte.



M.Sc. Ing. Luz Violeta Molina G.
Coordinadora Maestrías PIENSA



cc. M.Sc. Ing. Larisa Korsak, Directora PIENSA.
M.Sc. Lic. Elda H. Escobar, Secretaria Académica PIENSA.
M.Sc. Ing. Miguel E. Blanco Chávez, Tutor y coordinador del Comité de Tesis Gutiérrez, I.
M.Sc. Ing. Rosario Sotelo C. y Ph.D. Ing. Gerardo Ulises Murillo M., asesores, miembros del Comité de Tesis.
Expediente estudiantil de la tesista.

Resumen

La microcuenca Mancotal es un efluente del embalse de Apanás que demanda información cuantitativa sobre la tasa de erosión de los suelos. La erosión de los suelos tiene un impacto negativo en la protección del embalse y se ha intensificado por el cambio del uso de vocación forestal a una agricultura de subsistencia. En este contexto, se estimó la erosión hídrica superficial mediante el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE). Con este modelo se obtuvieron los factores de erosividad, erodabilidad, la longitud y el gradiente de la pendiente, cobertura y prácticas de conservación. También se encontró que existe una correlación positiva aceptable de $r^2 = 0.652$, entre los valores de erosividad y el Índice Modificado de Fournier (IMF), por tanto, se puede estimar la erosividad utilizando los valores del IMF. Los resultados de la investigación mostraron que el 94.46 % de la microcuenca presentó un potencial de erosión alto, superior a 25 Ton/ha/año.

Abstract

The Mancotal river micro-basin is an effluent from the Apanás reservoir that requires quantitative information about the rate of soil erosion. Soil erosion has a negative impact on the protection of the reservoir and has been intensified by the change in the use of forest-oriented land to subsistence farming. In this context, surface water erosion was estimated by using the “Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)”. With this model, the factors of erosivity, erodibility, the length and gradient of the slope, coverage and conservation practices were obtained. It was also found that there is an acceptable positive correlation of $r^2 = 0.652$, between the erosivity values and the Modified Fournier Index (MFI), therefore, erosivity can be estimated using the MFI values. The results of the investigation showed that 94.46% of the micro-basin presented a high erosion potential, greater than 25 Ton / ha / year

Contenido

I. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Justificación.....	7
II. Objetivos:	8
2.1. Objetivo General.....	8
2.2. Objetivo Específicos	8
III. Marco teórico	9
3.1. La erosión del suelo por el agua.	9
3.1.1. La erosión y el hombre	9
3.1.2. La pérdida de suelo	10
3.1.3. Daños ocasionados por la erosión	10
3.2. Factores físicos que influyen en la erosión hídrica	13
3.2.1. Fisiografía.....	13
3.2.2. El clima	14
3.3. El suelo	15
3.3.1. Desprendimiento y transporte	15
3.3.2. Infiltración y permeabilidad de los diferentes horizontes.....	16
3.3.3. Espesor de la capa arable	17
3.3.4. Capacidad de conservación de agua.....	17
3.4. La cubierta o vegetación (aprovechamiento de la tierra)	18
3.4.1. Praderas	18
3.5. Geología	19
3.6. Homogenización de los datos de precipitación.	19
3.7. Sistemas de clasificación de los suelos en Nicaragua	22
3.8. Tipo de suelo.....	22

3.8.1. Orden Ultisols (H).....	22
3.8.2. Orden Alfisols (J)	24
3.9. Ecuación universal de la pérdida de suelo. (RUSLE)	26
3.10. Factor erosividad de la lluvia (R):.....	27
3.11. Factor erodabilidad del suelo (K)	29
3.12. Longitud de pendiente y factor de inclinación (LS)	30
3.13. Factor cobertura vegetal (C).	32
3.14. Factor prácticas de conservación de suelos (P).	32
IV. Hipótesis	32
V. Diseño metodológico	33
5.1. Tipo y diseño general de la investigación.	33
5.2. Localización del área de estudio:.....	34
5.3. Información pluviométrica	35
5.4. Análisis de los datos de precipitación.....	36
5.5. Estimación de datos faltantes de precipitación mensual	37
5.6. Análisis de consistencia de los datos de precipitación	37
5.6.1. Comportamiento de la precipitación media anual.	37
5.7. Factor erosividad de la lluvia (R).....	38
5.8. Estimación del factor R	38
5.9. Verificación de la relación del IMF y R.....	38
5.10. Estimación de Índice Modificado de Fournier (IMF):	39
5.11. Cálculo del factor erodabilidad del suelo (K)	40
5.12. Estimación de Longitud de pendiente y factor de inclinación (LS).....	42
5.13. Factor cobertura vegetal (C).	43
5.14. Factor prácticas de conservación de suelos (P).	43
5.15. Estimación de niveles de amenaza de erosión hídrica.	44

5.16. Técnicas e instrumentos para determinación de la información.	45
VI. Análisis de resultados.	46
6.1. Análisis de los datos de precipitación.	46
6.1.1. Relleno de datos faltantes de precipitación mensual.	46
6.1.2. Análisis de consistencia de los datos de precipitación	47
6.2. Comportamiento de precipitación media anual.	49
6.3. Índice Modificado de Fournier.	50
6.4. Estimación del factor erosividad de la lluvia (R)	52
6.4.1. Verificación de relación IMF y R	52
6.4.2. Comprobación de la correlación de R: $f(EI30)$ y R: $f(IMF)$	54
6.4.3. Factor de erosividad de la lluvia R	55
6.5. Tipo de suelo a nivel de orden.	56
6.6. Uso actual del suelo	57
6.7. Factor erodabilidad del suelo (K)	58
6.8. Factor Longitud de pendiente y factor de inclinación (LS)	61
6.9. Factor cobertura vegetal (C).	62
6.10. Factor prácticas de conservación de suelos (P).	63
6.11. Erosión potencial	64
6.12. Erosión Actual	65
6.13 Limitaciones del estudio	66
VII. Conclusiones.	67
VIII. Recomendaciones.	68
X. Bibliografía	69
XI. Anexos	1
A-1 Glosario	1

A-2 Leyes y Normativas.....	1
El marco legal y normativas nicaragüense.....	1
A-3 Fotografías, gráficas y tablas complementarias	1

Índice de Tablas

Tabla 1. Clasificación de los valores de erosividad de las lluvias (R).	39
Tabla 2. Clasificación de los valores del índice Modificado de Fournier (IMF).....	40
Tabla 3. Valor del exponente (m) según gradiente de la pendiente	42
Tabla 4. Valores de C reportados por Rosse et al (1977) en África Occidental	43
Tabla 5. Valores de factor P para cultivos en faja (ancho de las fajas de cultivos y longitud de pendientes permisibles (Wischmeier & Smith, 1978).	44
Tabla 6. Niveles de intensidad de erosión o pérdida de suelo adaptados de criterios internacionales.	44
Tabla 7. Actividades, métodos, técnicas e instrumentos para recolección de datos.	45
Tabla 8. Coeficientes de determinación de las correlaciones lineales (R^2) entre las estaciones referencia y las estaciones con datos incompletos.	46
Tabla 9. Acumulado de precipitación anual de cada estación y el promedio de la estación base (precipitación media anual acumulada de 10 estaciones) del periodo 1996 – 2015.	47
Tabla 10. Valores del Índice Modificado de Fournier (IMF) para la microcuenca Mancotal-2019	51
Tabla 11. Valores de Erosividad (R) e Índice Modificado de Fournier (IMF), estación Jinotega.	52
Tabla 12. Valores anuales del índice de erosividad de la lluvia (R).	54
Tabla 13. Orden de Suelo en la microcuenca Mancotal-2019	57
Tabla 14. Resultado de laboratorio de las muestras de suelo de la microcuenca Mancotal. .	59
Tabla 15. Valores de los cinco parámetros para determinar el Factor K.....	59
Tabla 16. Valores asignados del Factor C y Factor P.....	62
Tabla 17. Estaciones representativas del área de Investigación.	6
Tabla 18. Meses rellenados en las estaciones meteorológicas que presentaron, datos faltantes en el periodo 1996 – 2015.	6
Tabla 19. Precipitación Media Anual de las estaciones seleccionadas (1996 - 2015)	6
Tabla 20. Estimación del factor de erosividad de la lluvia (R), en la estación de Jinotega, durante las tormentas acaecida en los años 1996 a 1998.....	7
Tabla 21. Cálculo del índice de Fournier modificado para la estación meteorológica Jinotega	7
Tabla 22. Resumen Meteorológico Anual de la estación de Jinotega.	8
Tabla 23. El uso del suelo y el área ocupada en la microcuenca Mancotal, 2018.....	8

Índice de Figuras

Figura 1. Microcuenca Mancotal, con un área de 37.17 km ²	34
Figura 2. Tipo de suelo a nivel de orden taxonómico J: orden Alfisols, H: orden Ultisols.....	35
Figura 3. Localización de las Estaciones Meteorológicas seleccionadas dentro del área de investigación.	36
Figura 4. Análisis de doble masa de la precipitación acumulada anual (APP) de 10 estaciones meteorológicas dentro y alrededor de la microcuenca Mancotal período 1996-2015..	48
Figura 5. Distribución espacial de la precipitación media anual (mm) en la microcuenca Mancotal y su entorno.	49
Figura 6. Distribución espacial del Índice de Fournier Modificado (IMF).....	51
Figura 7. Relación entre el factor R e Índice Modificado de Fournier, estación Jinotega, 2020.	53
Figura 8. Mapa de erosividad de la lluvia en la micro cuenca Mancotal, 1996-2015.	55
Figura 9. Mapa Uso de Suelo 2018. Fuente: Elaboración Propia	58
Figura 10. Mapa del factor de erodabilidad (K) del suelo en la microcuenca de Mancotal. ..	60
Figura 11. Mapa del factor LS, longitud y pendiente del suelo en la microcuenca de Mancotal.	61
Figura 12. Mapa del factor C, cobertura y manejo de la vegetación en la microcuenca del río Mancotal.....	62
Figura 13. Mapa del factor P: Prácticas de conservación del suelo en la microcuenca de Mancotal. Fuente: Elaboración Propia.....	63
Figura 14. Mapa de erosión potencial del suelo en la microcuenca de Mancotal.	64
Figura 15. Mapa de erosión actual del suelo en la microcuenca de Mancotal.....	65
Figura 16. Instrumentos recolectores de la precipitación	1
Figura 17. Observador meteorológico cambia pluviógrama 07:00:00 am	1
Figura 18. Pluviogramas de la estación meteorológica de Jinotega, correspondiente al día 18 de mayo de 1996.	1
Figura 19. Los Pimpe Mancotal, Jinotega 25/08/2019.....	2
Figura 20. Los Pimpe Mancotal, Jinotega 25/08/2019	3
Figura 21. El Yankee, Mancotal Jinotega 25/08/2019.....	3
Figura 22. El Yankee Mancotal Jinotega 25/08/2019.....	4
Figura 23. El Yankee Mancotal Jinotega 25/05/2019.....	4
Figura 24. Nomograma de Wischmeier y Smith para el cálculo del factor K, (Renard, 1997) ..	5
.....	

Acrónimo

- ArcMap: Componente principal del conjunto de programas de procesamiento geoespacial.
- COSUDE: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
- EUA: Estados Unidos de América (United States of America, cuya sigla oficial en inglés es USA y su contraparte en español es EUA).
- ESRI: Instituto de Investigación de Sistemas del Medio Ambiente. (Environmental Systems Research Institute)
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- GPS: Sistema de Posicionamiento Global (en inglés: Global Positioning System).
- INETER: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.
- ITPS: Labor del Grupo Técnico Intergubernamental sobre los Suelos (FAO).
- MDT: Modelo Digital de Terreno.
- ONU: Organización de las Naciones Unidas.
- SIG: Sistemas de Información Geográfica.
- USGS: Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey).

I. Introducción

La erosión del suelo es la remoción del suelo de la superficie de la tierra por el agua, viento o labranza. La erosión hídrica ocurre principalmente cuando el flujo superficial transporta partículas del suelo desprendidas por el impacto de las gotas de lluvia o la escorrentía superficial, a menudo dando lugar a canales claramente definidos, tales como surcos o cárcavas. La erosión es un proceso natural pero la tasa de erosión es típicamente incrementada (o acelerada) por la actividad humana (FAO, 2016).

Todas las regiones del mundo están expuestas a la erosión hídrica cuando no poseen una cubierta vegetal que lo proteja durante las lluvias a excepción de las regiones polares y los desiertos (FAO, 1978).

Un área de alrededor de 1094 Millones de hectáreas (ha) de tierra es afectada por la erosión del suelo por causa de los procesos hidrológicos, de la cifra citada, 224 Millones ha, no se recupera de la erosión del suelo (Oldeman, 1994). En esta línea de información, las evaluaciones globales actuales de la erosión del suelo, estiman que cada año se eliminan por el agua cerca 20-30 billones de toneladas (Gt) de tierra y por la labranza 5 Gt (FAO e ITPS, 2015).

Por lo antes expresado “la erosión de los suelos es una de las dificultades ambientales más grave en el mundo” (Rita Y, 2011), porque impide el desarrollo sostenible. Este problema ambiental ha generado que las naciones en la gestión de los recursos hídricos, den especial atención a los embalses en las subcuencas, destinados para la producción de energía hidroeléctrica.

La presente investigación se llevó a cabo en la microcuenca del río Mancotal, Jinotega, que es uno de los principales efluentes del lago de Apanás, utilizado para generar energía hidroeléctrica por medio de la Planta Centro América y es considerada una reserva hídrica estratégica para toda la nación.

Mancotal está localizado en las zonas altas de los territorios rurales de Jinotega, donde el relieve es fuertemente accidentado, resultando un sistema de fracturas denso y complejo, condición que favorece el riesgo de erosión por precipitaciones intensas, las cuales típicamente se presentan durante el periodo lluvioso (mayo-octubre) y son ocasionadas, principalmente por sistemas meteorológicos extraordinarios como los ciclones tropicales (Depresión Tropical, Tormenta Tropical y Huracán).

Con el mapeo geológico en varios lugares del territorio de Jinotega fue comprobada la meteorización de las rocas. El proceso de meteorización se realizó para condiciones de clima tropical (Novák, 2003). En estos procesos la roca se va fracturando, es decir, se va disgregando en materiales de menor tamaño y ello facilita el proceso de erosión y transporte posterior.

El área de la cuenca es agrícola, con una agricultura de subsistencia, con limitaciones tecnológicas y una explotación intensiva de las zonas accidentadas, lo que implica un incremento de la frontera agrícola, mayor deforestación de la zona boscosa, lo que forma parte de una tasa de deforestación de alrededor de 70,000 ha/año a nivel nacional (MARENA, 2017).

Por ser Mancotal un efluente del embalse de Apanás, demanda de datos cuantitativos (Kothyari et al., 1994) sobre las tasas de erosión de los suelos para determinar la dimensión del problema y tomar medidas de conservación efectiva del suelo para contribuir a un óptimo funcionamiento del embalse, que permita dar una respuesta eficiente y confiable. Para cuantificar la erosión hídrica optamos por hacer uso del modelo matemático empírico Ecuación Universal Revisada de pérdida de suelo, RUSLE (Renard, 1997), siendo esta la más ampliamente usada en muchas investigaciones en todos los continentes (Kumar, 2012) aun cuando los científicos han desarrollado numerosas herramientas para evaluar la pérdida de suelo y lo más importante, para cotejar con otras investigaciones sobre erosión del suelo en la microcuenca Mancotal.

Otra de las herramientas confiable, segura y eficiente para minimizar el tiempo de respuesta en las investigaciones de desastres naturales es el Sistema de Información Geográfica (SIG),

por tal razón su uso se ha generalizado para estimar la erosión del suelo (Kheir et al., 2008), (Kumar, 2012). Por lo tanto, este estudio, realizado en la microcuenca del río Mancotal, tiene como fin utilizar el modelo USLE y ArcGIS para determinar las tasas de erosión actual y potencial del suelo.

1.1. Antecedentes

Algunos de los antecedentes más relevantes son:

- Erosión hídrica, Mapa de Amenaza (INETER - COSUDE, 2005), este estudio tenía como objetivo el proporcionar la estandarización de criterios técnicos para evaluar y realizar mapas de amenaza por erosión hídrica. En el estudio se utiliza el método Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) para calcular la intensidad de la erosión o pérdida de suelo y en función de este resultado, se calificó los niveles de intensidad de la amenaza en Baja, Media y Alta. Finalmente, mediante un estudio de caso en el municipio de Tipitapa se analizaron los factores causantes de la erosión para validar la metodología y con la cual se realizó un mapa de erosión potencial del municipio referido. La mayor limitante identificada fue la falta de información de suelo. En el municipio la intensidad de la erosión alcanzó pérdidas mayores a las 200 ton/ha/año.
- Estimación de la erosión y sedimentación en la subcuenca del Embalse Apanás - Asturias usando radioisótopos (^{137}Cs y ^{210}Pb).
Se estimó la erosión en la parte baja de las microcuencas del río San Gabriel y Jigüina con las técnicas de radioisótopos trazadores de Cesio 137 (^{137}Cs) con lo que se demuestra que el margen derecho del río San Gabriel es el sector más afectado por la erosión. Plomo 210 (^{210}Pb) determino la tasa de acumulación y sedimentación frente a las desembocaduras de los ríos San Gabriel y Jigüina, resultando una marcada variabilidad espacial y temporal en los perfiles de sedimento, debido al crecimiento poblacional, avance de la frontera agrícola e impacto de los ciclones tropicales (Caballero, 2016).
- Valores anuales de pérdida de suelo y escorrentía superficial en microcuenca Las Mercedes de la subcuenca del río Jigüina, Jinotega.
El POSAF aplicó diversas alternativas de uso y manejo de los sistemas productivos en la cuenca, los que resultaron ser sostenibles en cuanto a la retención de suelo, nutrientes y agua, comparadas con cultivos anuales sin prácticas de conservación de suelo y agua (Toruño, 2007).

- Agresividad de las precipitaciones en la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México (Castelán Vega R, et al, 2014)

La falta de información de la erosividad de la lluvia en la Sierra Norte de Puebla, ha impedido una evaluación objetiva de su contribución al proceso de erosión. Se calcularon los Índices de Fournier Anual (IFA), Modificado de Fournier (IMF), Concentración de Precipitaciones (ICP) y Erosividad Total (IET), estos miden el grado de agresividad de las precipitaciones, el empleo de los índices de agresividad climática, permiten caracterizar la erosividad de la lluvia como un indicador de presión ambiental que puede utilizarse de manera económica y fácil, aunque considerando la escasez e intermitencia de la información climática que generalmente existe en las estaciones meteorológicas del país.

- Estimación de la pérdida de suelo utilizando SIG y técnicas de teledetección: un caso de la cuenca de Koga, en el noroeste de Etiopía (Gelagay y Minale, 2016 aa)

El rápido crecimiento de la población, la deforestación, el cultivo inadecuado de la tierra, el descontrol y el pastoreo excesivo han provocado una erosión acelerada del suelo en el mundo, principalmente en países en desarrollo como Etiopía (Reusing et al, 2000), (Zemenu y Minale, 2014).

Las áreas más afectadas por la erosión del suelo están en la parte más inclinada de la cuenca.

Las prácticas preservación del suelo y el agua para la parte más inclinada del área contribuyen a solucionar la pérdida de suelo en la cuenca Koga.

- Riesgo de erosión del suelo en cuencas hidrográficas coreanas, evaluado utilizando la ecuación universal revisada de pérdida de suelo

Analizó la pérdida de suelo durante un período reciente de 20 años y estimó la pérdida de suelo futura en 2020. Para reducir la pérdida de suelo, el desarrollo urbano debe tener en cuenta la preservación del medio ambiente (Park et al, 2011).

- Evaluación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE mediante teledetección y SIG: un estudio de caso de la cuenca Nethravathi. (Ganasri y Ramesh, 2016)

RUSLE integrado con SIG se ha utilizado para estimar la pérdida de suelo en la cuenca Nethravathi ubicada en la parte suroeste de la India.

Los resultados indican que la pérdida potencial anual total estimada de suelo es de aproximadamente 473,339 t / año. La tasa de erosión del suelo prevista debido al aumento en el área agrícola es de aproximadamente 14,673.5 t / año.

Los resultados obtenidos contribuyen a la implementación de prácticas de manejo y conservación del suelo para disminuir la erosión del suelo en la cuenca de Nethravathi.

No existen en la microcuenca estudios recientes del cambio de uso de suelo en general que podría usarse como referencia, pero si de una parte de la subcuenca del lago de Apanás. Sin embargo, durante la investigación se revisaron estudios relacionados con documentos técnicos y tesis orientadas al ordenamiento territorial de la cuenca. Así como investigaciones efectuadas por muchos países orientadas a la erosión de los suelos usando la ecuación universal de pérdida de suelo RUSLE con el fin que el lector conozca, compare y documente los procedimientos aplicados y los resultados obtenidos.

1.2. Justificación.

La microcuenca norte del río Mancotal es una zona rural con una población de 5,072 habitantes (INIDE, 2005, 2017), el río referido, es uno de los principales efluentes de la subcuenca del lago Apanás, que es una de las fuentes energética del país, localizada en el municipio de Jinotega. Esta subcuenca, presenta problemas de degradación de los suelos causados por la expansión de la frontera agrícola en tierras con pendientes elevadas, deforestación y por prácticas inadecuadas del manejo del suelo y de los cultivos, los cuales han tenido fuerte impacto ambiental en los recursos naturales, especialmente los recursos agua y suelo, que sufren intensa degradación ocasionando cambios en el uso del suelo.

Lo anterior conlleva a un incremento en la tasa anual de erosión hídrica superficial de las microcuencas que drenan al lago de Apanás, a través de los cauces naturales que atraviesan los territorios de las comunidades rurales del distrito VI Mancotal, San Gregorio y Tomayunca, contribuyendo al aumento de la sedimentación en los cuerpos de agua superficiales, de las micro presas construidas para fines de producción de energía eléctrica. También afecta la calidad del agua del lago, aumenta la degradación y pérdida del horizonte orgánico del suelo cultivable, incrementa la impermeabilización de las zonas que antes eran bosques, hoy terrenos agrícolas, disminuye la tasa de infiltración de agua por precipitación, provoca cambios en los regímenes hidrológicos de las subcuencas de los cauces que drenan al lago de Apanás, especialmente con el aumento de los caudales máximos que son los que provocan inundaciones.

La Asamblea General de la Naciones Unidas (ONU, 2015) estableció los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en el Objetivo 15 declara: “Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad”. Un estudio que indique las zonas de mayor vulnerabilidad por erosión hídrica superficial y cambio del régimen hidrológico de una cuenca, podrá servir como elemento de juicio para planificar medidas que contribuyan a alcanzar el objetivo 15 de desarrollo sostenible en la subcuenca norte del lago Apanás.

II. Objetivos:

2.1. Objetivo General

Estimar la erosión hídrica superficial en la microcuenca del río Mancotal, subcuenca norte del lago de Apanás mediante el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE).

2.2. Objetivo Específicos

1. Caracterizar los tipos de suelo, usos del suelo y las prácticas de cultivos mediante visita a diferentes sitios de la microcuenca.
2. Determinar factores de la ecuación RUSLE necesarios para la estimación de pérdida de suelos.
3. Estimar los niveles de amenaza de erosión hídrica superficial en la microcuenca de lago de Apanás.

III. Marco teórico

3.1. La erosión del suelo por el agua.

La erosión del suelo es la remoción del suelo de la superficie de la tierra por el agua, viento o labranza. La erosión hídrica ocurre principalmente cuando el flujo superficial transporta partículas del suelo desprendidas por el impacto de las gotas de lluvia o la escorrentía superficial, a menudo dando lugar a canales claramente definidos, tales como surcos o cárcavas. (FAO, 2016)

Todas las regiones del mundo están expuestas a la erosión hídrica cuando no poseen una cubierta vegetal que lo proteja durante las lluvias a excepción de las regiones polares y los desiertos (FAO, 1978).

Las lluvias, incluso las moderadas, remueven el suelo desnudo iniciándose así los procesos de denudación o de desecación que pueden provocar graves daños si no se detiene rápidamente por medio de medidas protectoras. Cuando caen lluvias muy intensas sobre terrenos en declive dedicados a cultivos limpios, o sobre lugares expuestos, abundante tierra fértil puede perderse en poco tiempo por causa de la erosión.

3.1.1. La erosión y el hombre

La erosión del suelo se ha intensificado por la acción antropogénica, actividades agrícolas poco sostenibles que agota los suelos, tala de bosques, construcciones. El suelo es uno de los recursos no renovables más importantes del planeta, ya que es fundamental para la agricultura (Albaladejo, 1987).

La economía de todo país depende fundamentalmente del suelo y de los productos de este, por ende, la erosión del suelo puede complicar el desarrollo y el progreso de una nación (FAO, 2016)

3.1.2. La pérdida de suelo

El suelo que se pierde por la erosión hídrica es usualmente el más fértil, que contiene los principios nutritivos de las plantas, el humus y todos los abonos que la naturaleza y el agricultor le haya proporcionado.

Cuando en un terreno en declive se elimina total o parcialmente la cubierta vegetal del suelo, el agua de lluvia corre sobre el terreno más rápida y más caudalosamente. Así es como inicia la erosión del suelo provocando descenso de infiltración en el suelo para alimentar las reservas subterráneas, los manantiales, los terrenos pantanosos y los arroyos se secan más rápidamente, lo cual intensifica aún más la erosión. Por ende, las consecuencias de las sequías ocasionales se agravan por la erosión hídrica y, al momento en que llegan las lluvias, incrementa el deterioro que ya experimenta el suelo, de aquí surge la necesidad de aplicar planes y programas de conservación del suelo (FAO, 2018).

3.1.3. Daños ocasionados por la erosión

La erosión geológica y la erosión acelerada

La erosión del suelo es un fenómeno discontinuo y lento que consiste en la movilización y desprendimientos de la superficie y que, a largo plazo, genera cambios en el aspecto del terreno.

- **Erosión geológica**

Es un proceso normal, es la remoción del suelo en su medio natural sin la influencia del hombre.

- **Erosión acelerada**

Provocada por fenómenos naturales extraordinarios o por el accionar antropogénico desmedido, lo que provoca la degradación del suelo con pérdida de la materia orgánica y de los minerales.

La erosión hídrica consiste en la pérdida selectiva, recurrente y progresiva de la capa superficial del suelo por la acción del agua, genera la degradación de los ecosistemas y la reducción de productividad de los suelos para las futuras generaciones, lo que conduce a un cambio rápido, efectivo y sostenible en el manejo de los suelos dentro de la actividad agrícola.

Tipos de erosión hídrica

a) Erosión por gotas de lluvia

La acción de las gotas de lluvia sobre las partículas del suelo se entiende fácilmente cuando se le considera como el momento de una gota que cae sobre una superficie en pendiente. La salpicadura de las gotas de lluvia no es muy crítica en un terreno a nivel. Pero en terrenos con pendiente se esparce más suelo pendiente abajo que pendiente arriba (Pedraza, 2015).

b) Erosión laminar

Es una erosión superficial. Después de una lluvia se pierde una capa fina y uniforme de toda la superficie del suelo como si fuera una lámina. Es la forma más peligrosa de erosión hídrica, ya que esta pérdida, al principio casi imperceptible sólo será visible cuando pasado un tiempo haya aumentado su intensidad. Este proceso da origen a la erosión en surcos y posteriormente en cárcavas.

Los efectos de la erosión laminar se ven frecuentemente como manchas de suelo de color claro en las laderas de las elevaciones del terreno. El suelo superficial oscuro antiguo, con su contenido característico de materia orgánica, ha desaparecido, quedando expuesto el subsuelo, más claro, pobre en materia orgánica. Este cambio significa una pérdida en la productividad y aumento de los gastos para mantener los rendimientos de los cultivos.

En la erosión laminar intervienen dos procesos erosivos fundamentales. Primeramente, se desprenden partículas de suelo, después estas partículas son desplazadas. Las partículas de suelo se desprenden ante todo por la acción de la lluvia. Este proceso de desprendimiento recibe la denominación de «erosión pluvial» o «erosión por salpicadura».

Las gotas de agua de la lluvia, al caer sobre un suelo sólido, forman cráteres minúsculos. Este fenómeno va acompañado de una salpicadura que lanza al aire agua y tierra en un círculo concéntrico con el cráter. Las partículas de suelo pueden elevarse hasta más de medio metro y al mismo tiempo, desplazarse horizontalmente hasta metro y medio en las superficies planas.

En los terrenos en declive, más de la mitad de la salpicadura desciende por la ladera. Como las gotas de agua de la lluvia caen rápida y sucesivamente vulnerando el suelo en todos sus puntos, es fácil comprender que durante las lluvias intensas el suelo está sometido a una labor enérgica y repetida de desintegración y elevación.

Cuando la velocidad de la lluvia es mayor que la velocidad de infiltración del agua en el suelo, el agua comienza a correr sobre la superficie del terreno inclinado. En este momento ocurre el segundo proceso erosivo: el transporte. La corriente de agua arrastra las partículas de tierra desprendidas por las gotas de agua de la lluvia. Esta corriente de agua puede moverse sobre la superficie formando una delgada lámina a la que se denomina «flujo laminar».

Este flujo puede ocasionar una grave pérdida de suelo en una superficie determinada. El poder erosivo y el de transporte del flujo laminar son función de la altura de éste y de la velocidad del escurrimiento para una magnitud, una forma y una densidad dadas de las partículas o agregados de suelo. Investigaciones relacionadas han manifestado que el desplazamiento máximo de partículas del suelo se produce cuando la altura del flujo laminar es aproximadamente igual al diámetro de las partículas (FAO, 1978).

c) La erosión en surcos

El agua de lluvia, cuando se acumula, se concentra en las depresiones y comienza a fluir, adoptando la trayectoria de mínima resistencia. De este modo, el flujo superficial, con el limo en suspensión se desplaza siguiendo surcos que son lo bastante pequeños para hacerlos desaparecer fácilmente con las operaciones normales de labranza. No existe ningún límite definido que señale el final de la erosión laminar y el comienzo de la erosión en surcos.

Estos se forman casi inmediatamente de iniciarse el flujo superficial. El número de surcos que se forman en una superficie determinada puede variar ampliamente dependiendo de esta variación sobre todo de la irregularidad de la superficie del terreno y la cantidad y velocidad del escurrimiento. (FAO, 1978)

El desprendimiento y el transporte de partículas de suelo son mayores en la erosión en surcos que en la erosión laminar. Ello se debe a la aceleración de la velocidad del agua en movimiento cuando ésta se concentra y desplaza en surcos. En la erosión en surcos, el desprendimiento se origina principalmente por la energía del flujo de agua y no por el choque de las gotas de agua de la lluvia, como ocurre en el caso de la erosión laminar, (FAO, 1978).

d) Erosión en cárcavas

Es una erosión en surcos que deseca tan profundamente el suelo que el terreno no puede nivelarse con los instrumentos de labranza ordinarios. La erosión en cárcavas se produce frecuentemente después de la erosión laminar y de la erosión en surcos. (FAO, 1978). Esta es una forma más avanzada de la erosión por canales, donde la profundidad alcanzada debido a la erosión, es mayor que cualquier otra forma de erosión.

3.2. Factores físicos que influyen en la erosión hídrica

3.2.1. Fisiografía

La topografía: La inclinación y la longitud de la pendiente del terreno juegan un papel fundamental en este proceso, así a mayor inclinación y longitud de pendiente exposición a la mayor erosión.

- **Inclinación del terreno**

La inclinación del terreno es uno de los factores significativos de la erosión del suelo. En las tierras llanas, la erosión hídrica se debe a la deposición de la sedimentación y no la denudación del suelo. Todos los suelos de pendiente considerable están expuestas a la erosión por salpicadura con desplazamiento de partículas de suelo en sentido descendente.

- **Longitud del declive**

Según datos recopilados en los Estados Unidos resulta que la relación entre la pérdida de suelo y la longitud del declive de un terreno es aproximadamente igual a la raíz cuadrada de la longitud del declive ($L^{0.5}$) para los suelos en que la velocidad del escurrimiento no es

afectada por esta longitud. En los suelos que se agrietan al secarse, el escurrimiento puede disminuir al reducir la longitud del declive. En estos suelos, el valor del exponente de la longitud del declive puede aproximarse a cero. En los suelos en que el escurrimiento aumenta al crecer la longitud del declive, el exponente es mayor que 0,5. El valor exacto de este exponente depende de las relaciones mutuas entre el suelo, el tipo de la cubierta vegetal, la intensidad de las precipitaciones y la inclinación del terreno.

Cuando el agua desciende por un terreno inclinado se pierde más suelo en la parte inferior que en la parte superior del mismo (FAO, 1978)

La longitud de la pendiente se define como la distancia desde el punto de origen del escurrimiento superficial, al punto donde el grado de la pendiente decrece lo suficiente para que la deposición empiece, o el escurrimiento entre un canal bien definido, el cual puede ser parte de una red de drenaje natural, o un canal construido (Arnoldus, 1977).

3.2.2. El clima

El clima ejerce una gran influencia sobre el tipo de vegetación, la biomasa y la diversidad de las tierras secas. La cantidad, intensidad, energía y distribución de la precipitación pluvial, junto con la temperatura determinan la distribución potencial de la vegetación terrestre, y constituyen los principales factores en la génesis y evolución del suelo (OMM, 2006).

La erosión que provoca la gota de agua de lluvia es el producto de la energía cinética de la partícula de agua sobre partículas de suelo que se disgregan ante el impacto de las gotas de lluvias. Los productos de la dispersión (arcilla en su mayoría) van a parar a los hoyos superficiales junto con las gotas de agua de lluvia, forman una película sobre la superficie del suelo.

La energía de las gotas de agua de lluvia se suma en forma de turbulencia a la de estas láminas, la capacidad de transporte de las mismas se multiplica. La materia dispersa desprendida de los agregados es arrastrada, dando origen a la erosión laminar.

El tamaño de una gota determina la cantidad de energía que posee. La energía de un aguacero proporciona una buena indicación de la pérdida de suelo, el factor intensidad máxima es importante aparte su efecto sobre la energía cinética. Se ha visto que el efecto mutuo de la energía cinética y la intensidad máxima en 30 minutos proporcionan una buena medida del poder de erosión de un aguacero.

Las lluvias intensas tienen generalmente carácter estacional dando origen al periodo de mayor sensibilidad del terreno para la erosión.

3.3. El suelo

3.3.1. Desprendimiento y transporte

La erosión del suelo se fundamenta en dos procesos desprendimiento o desagregación y transporte. El desprendimiento es mayor al aumentar el tamaño de la partícula de suelo, en tanto que el transporte aumenta al disminuir el tamaño de la partícula de suelo. Por ende, las partículas de arcilla se desprenden con mayor dificultad que los granos de arena, pero, en cambio, son más fáciles de transportar.

La erosión del suelo por el agua (omitiendo la erosión por salpicadura) no ocurre si no hay escurrimiento. Los suelos con grandes partículas estables, como granos de arena o aglutinados con hierro, escasamente erosionables, porque pocas veces el agua de lluvia cae más de prisa que lo que la absorbe el suelo.

El suelo con 2 a 5 por ciento de materia orgánica puede contener agregados relativamente estables, pero estos agregados no resisten la acción conjunta de la humectación y el choque de las gotas de agua de la lluvia. Los agregados se destrozan y sus restos ocasionan la obturación de los huecos de la superficie del suelo.

El efecto de esta obturación, fusionado a la disminución natural de la infiltración con el pasar del tiempo, ocasionado por el descenso del gradiente hidráulico, hace que rápidamente la velocidad de absorción de agua por el suelo sea inferior a la intensidad de la lluvia durante

los aguaceros intensos. A partir de este momento, la erosión depende de la pendiente y, por consiguiente, de la velocidad del agua de escurrimiento, así como de la facilidad con que las gotas de lluvia y el agua de escurrimiento desagreguen el suelo.

Cuando se inicia el escurrimiento, los agregados todavía no han sido divididos completamente y, durante corto tiempo, el agua de escurrimiento arrastra consigo una gran masa de agregados pequeños. Cuando la película superficial se ha formado completamente por la obturación de los huecos de la superficie del suelo y la consolidación debida a las gotas de la lluvia, se reduce la velocidad de la erosión y ésta únicamente arrastra partículas finísimas arrancadas de la película. Alcanzado este estado, la magnitud de la erosión obedece a las propiedades del suelo.

En los suelos limosos de limo grueso y los arenosos con poca arcilla, la velocidad de infiltración se conserva en valores bastante grandes, a pesar del apelmazamiento de la superficie del terreno. El escurrimiento, y por consiguiente la erosión, son menores que en los suelos de textura más fina. Por el contrario, en los suelos arcillosos compactos se forma en la superficie una película de compacidad tal que las gotas de lluvia sólo pueden desprender de tal película muy pocas partículas de arcilla. En este caso, el escurrimiento es muy considerable, pero la erosión es pequeña.

3.3.2. Infiltración y permeabilidad de los diferentes horizontes.

La velocidad de infiltración en un suelo seco es muy grande durante breve tiempo. A medida que el suelo se humedece la velocidad de infiltración disminuye rápidamente hasta que, por último, se alcanza una velocidad de equilibrio. Esta velocidad de equilibrio depende de ciertas características del suelo (sobre todo de la textura y la estructura).

La prevención de la obturación de las grietas y huecos de la superficie del suelo mediante cobertura orgánicas muertas o cubiertas vegetativas mantiene en valores elevados la velocidad de infiltración y, por consiguiente, reduce el escurrimiento y la erosión.

3.3.3. Espesor de la capa arable

El espesor de la capa arable interviene de diversas maneras en la erosionabilidad del suelo. Uno de los efectos del espesor se ejerce sobre la infiltración que, a su vez, influye en la erosión.

La capa arable es habitualmente homogénea. Esto permite que la infiltración del agua proceda sin obstáculos durante cierto tiempo hasta que el agua alcanza capas de porosidad diferente. Otro efecto se manifiesta sobre el contenido de materia orgánica de la superficie del suelo.

En caso de que la capa arable es de poco espesor y, en la arada, el subsuelo se combina con ella el contenido de materia orgánica disminuye. Esto se convierte en una menor estabilidad de los agregados y en una erosión mayor.

Otro efecto es en la fertilidad general del suelo. Cuanto más espesa es la capa arable mayor es la cantidad de nitrógeno que se desprende y, por consiguiente, la cubierta vegetativa que se produce es mayor y las pérdidas debidas a la erosión son menores que las que ocurren en los suelos con capa arable poco espesa.

3.3.4. Capacidad de conservación de agua.

La textura de un suelo determina la capacidad de retención de agua. Pues los suelos con texturas distintas se erosionan de manera diversa, debido a las diferencias de infiltración, percolación y desagregación.

Un efecto directo de la capacidad de retención de agua sobre la infiltración se manifiesta en la cantidad de agua que un suelo contiene al comenzar a llover. En un suelo arenoso el agua de lluvia drena igual de rápido a como ha caído e infiltra a capas de suelo más profundas. Sin embargo; los suelos arcillosos pueden retener gran cantidad de agua, y en ellos ésta puede llenar gran parte de los espacios existentes.

Cuando llueve sobre suelos arcillosos que ya contienen mucha agua, estos suelos tienen pocos espacios libres para absorber más agua. En su mayoría corre sobre el terreno. Por estas razones, la capacidad de retención de agua influye en la cantidad de agua que puede correr sobre la superficie del terreno durante las lluvias intensas.

Por consiguiente, puede suponerse que la capacidad de retención de agua causa erosión por su influencia sobre la desagregación del suelo por el agua de escurrimiento. La arena se desprende fácilmente del suelo y es arrastrada sin dificultad por el agua de escurrimiento dotada de gran velocidad. Por el contrario, las arcillas se adhieren al terreno, siendo prácticamente imposible desprenderlas de él. Sin embargo, casi todos los suelos tienen una textura intermedia entre la arenosa y la arcillosa y reaccionan ante los aguaceros en modo también intermedio a como lo hacen los suelos arenosos y los arcillosos.

3.4. La cubierta o vegetación (aprovechamiento de la tierra)

Los suelos proporcionan anclaje, agua y nutrientes a los árboles. A su vez, los árboles y otras plantas y tipos de vegetación son un factor importante en la creación de un nuevo suelo cuando las hojas y la vegetación se deterioran y descomponen. (FAO, 2015).

3.4.1. Praderas

Las praderas por su condición accidentada deben permanecer con una cobertura perenne para prevenir la erosión. Una cobertura exuberante de gramíneas o de gramíneas y leguminosas desvanece la energía de las gotas de agua de lluvia, impidiendo casi completamente la obturación de la superficie del terreno y manteniendo en éste una infiltración mayor y más prolongada que la que ocurre cuando se produce la obturación. Asimismo, el avance del agua de escurrimiento se hace más lento.

Otro efecto de las praderas perennes es que reducen continuamente la humedad del suelo por la transpiración y dejan espacio para cada lluvia sucesiva. De este modo la infiltración es mayor al iniciarse todo aguacero debido a que el suelo tiene mayor capacidad de almacenamiento de agua y a medida que el espacio poroso se satura de agua la velocidad de infiltración disminuye gradualmente a través del tiempo.

3.5. Geología

El suelo es la cubierta superficial de una gran parte de la superficie continental de la Tierra. Es un agregado de minerales no consolidados y de partículas orgánicas producidas por la acción combinada del viento, el agua y los procesos de desintegración orgánica.

La composición química y la estructura física del suelo en un lugar dado, están determinadas por el material geológico del que se origina, la cubierta vegetal, el tiempo en que ha actuado la meteorización, topografía y por los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas.

Estos varían de superficie en las zonas escarpadas a profundos en las pendientes moderadas, son oscuros, franco-arcillosos, bien drenados, ricos en bases y de fertilidad moderada a alta son desarrollados a partir de andesitas, riolitas y tobas del terciario volcánico.

Los suelos son generalmente profundos a medianamente profundos, con textura franco arcillosa a arcillosa, bien drenados y de mediana fertilidad. En la parte montañosa alcanzan más de 100 cm de profundidad. En las partes desprotegidas y dedicadas a la producción agropecuaria en laderas, estos tienen profundidades de 50-60 cm, con efectos de erosión hídrica severa a fuerte. (COSUDE, 2003).

Estos suelos son susceptibles a los agentes erosivos, los cuales actúan en función directa con la topografía. La tala de los bosques conlleva a una mayor escorrentía, un mayor arrastre del suelo, sedimentación y reducción de las fuentes de agua. En los escarpes montañosos predominan suelos saturados (COSUDE, 2003).

3.6. Homogenización de los datos de precipitación.

Para que los datos de precipitación sean compatibles y comparables se tiene que definir un intervalo de tiempo común de al menos 20 años para analizar el comportamiento de esta variable, sobre la base de este periodo se procede a calcular las medias de precipitación mensual y anual, admitiendo que es suficiente para que, en la media de los valores se filtren

fluctuaciones de menor escala temporal, como, por ejemplo, la variabilidad interanual del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS).

Los datos de precipitación, son homogenizados, siguiendo las recomendaciones establecidas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) e INETER, en lo que se refiere a los procedimientos de control de calidad, consistencia de la información meteorológica y a los criterios a adoptar en situaciones de datos faltantes.

De acuerdo al manual de procedimiento de INETER los datos faltantes están relacionados con falla del instrumento de medición, error de transcripción, discontinuidad temporal del observatorio y por los efectos de fenómenos naturales extremos (ciclones tropicales). Mientras que la inconsistencia de la serie climática está ligada a saltos en la serie de datos, los cuales pueden ser provocados por la descalibración de los sensores de medición, cambio de localización de la estación meteorológica, una variación en las condiciones periféricas del lugar de medición o un cambio de los métodos de observación para efectuar las lecturas.

Para resolver esta situación se utiliza la información que propone la guía de prácticas climatológicas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011) y en el Manual de Procedimiento de INETER, referida al historial de las estaciones y a los métodos estadísticos como el de Correlación y regresión Lineal para efectuar el relleno de datos faltantes y Doble Masa para analizar la consistencia y homogenización de la serie anuales de precipitación.

Correlación Lineal

El método de correlación lineal es recomendado por INETER y la OMM para la estimación de datos faltantes a escala mensual y anual, su algoritmo se basa en determinar el valor de la correlación entre una o varias estaciones cercanas, que cuente con una serie de datos de observados durante un mismo periodo de tiempo. Si la correlación es aceptable, entonces se determina la ecuación de regresión lineal, la cual se utiliza para estimar los datos faltantes.

En este contexto los científicos, manifiestan que el método de regresión lineal es superior entre los tradicionales para estimar datos faltantes de precipitación en diversas condiciones climáticas (Kashani, M.H.,& Dinapashoh, Y , 2012).

Análisis de consistencia

Para investigar la consistencia de los datos, se utiliza el método doble masa, con el cual se determina si la serie de datos analizados, no han presentado variaciones (saltos) que conduzcan a valores erróneos.

El método considera que, en una zona meteorológica homogénea, los valores de precipitación que ocurren en diferentes puntos de esa zona en períodos anuales comunes, guardan una relación de proporcionalidad que puede representarse gráficamente.

Esa representación consiste en identificar la serie de precipitación de las estaciones que queremos controlar. Luego deben seleccionar por lo menos tres (3) estaciones vecinas cuyos registros, sean confiables y que llamaremos estación base, cuyo periodo de datos debe coincidir con el de la estación a controlar. En cada año, a partir del primero con registro, se promedian los valores de las estaciones bases y se acumulan por años sucesivos, obteniéndose una precipitación media anual acumulada.

Luego, en un sistema de ejes ortogonales, se grafica en las ordenadas los valores de precipitación acumulada de la estación a controlar y en abscisas los de precipitación media acumulada de las estaciones base. Si los registros no han sufrido variaciones, los puntos se alinean en una recta de pendiente única, por lo tanto, no será necesario efectuar correcciones. Si por el contrario hay variaciones en la pendiente de la recta, significa que parte de la serie contiene valores erróneos por lo cual el registro de datos debe ser corregido a partir del año en el que cambia la pendiente de la recta. La corrección en este caso se realizará con un Factor de Corrección que es proporcional a la variación de la pendiente de la recta. Con el factor de corrección se corrige a partir del año del error, tomando los valores sin acumular y afectándolos a cada uno por el factor de corrección.

Para la corrida de los métodos de correlación y regresión lineal múltiple, y dobla masa, se usa la hoja de cálculo de Excel. De acuerdo al Manual de Procedimiento (INETER, 2019) un coeficiente de determinación de 0.56 es aceptable para hacer relleno de datos faltantes de precipitación, debido a que esta variable climatológica presenta una alta variabilidad en su comportamiento temporal.

3.7. Sistemas de clasificación de los suelos en Nicaragua

En Nicaragua hay una gran variedad de suelos distribuidos en función de la geología, el clima, el relieve con distintos estados de desarrollo, estos suelos se clasifican con diferentes sistemas, siendo los más utilizados los creados por el departamento de cultura de los estados unidos y el servicio de conservación de recursos naturales, USDA NRCS, llamada Soil Taxonomy (SSS, 1975) y la Word Reference Base (WRB) creada por la FAO como Mapa de Suelos del Mundo (FAO-UNESCO, 1971-1981).

Para los mapa se trabaja con la taxonomía de los suelos Soil Taxonomy, (NRCS SSS, V2010) (usada en Nicaragua en 1971 en los levantamientos de suelo en la región del pacífico de Nicaragua), (catastro 1971) y en el resto del país, este sistema de clasificación está en seis (6) categorías : orden, suborden, gran grupo, sub grupo, familia y serie, describiendo las características de suelo desde lo general hasta lo específico respectivamente los nombres de los suelos están basados en raíces griegas y latinas denotando significados prácticos, características de suelo o régimen de humedad donde se han desarrollado (INETER, 2015).

3.8. Tipo de suelo

3.8.1. Orden Ultisols (H)

Su nombre se deriva del latín Ultimus, último. Son suelos seniles (viejos) altamente meteorizados, de zonas húmedas con saturación de base de 35% o menos por la suma de cationes (Ca, Mg, Na, K). Tienen pH ácidos a fuertemente ácidos y fertilidades naturales bajas a muy baja, de colores rojizos a pardos amarillentas. Estos suelos son uno de los órdenes más abundantes en el país, ocupando el 41.20% del territorio nacional, principalmente en la zona

de la Costa Caribe, norte de los departamentos Matagalpa, Jinotega y Nueva Segovia, Este orden a nivel mundial ocupa el 8.45% de las tierras emergidas.

Tienen diversos tipos de usos, aunque por sus restricciones de fertilidad su vocación natural es para uso forestal, muchos de estos suelos soportan la agricultura de subsistencia. En la parte norte central del país tienen sistemas de café bajo sombra y cacao bajo sombra.

Sub orden Humults (HB).

Los suelos deben su nombre a la presencia de alto contenido de materia orgánica en el horizonte superficial (latín, humus, tierra con materia orgánica). Estos suelos son muy comunes en áreas de bosques tropicales húmedos, en donde se acumula una gran cantidad de hojarasca en distintas etapas de descomposición, mezclados o no con el suelo (INETER, 2015).

Origen

Los Ultisols del suborden Humults, por lo general, los podemos encontrar en lugares muy húmedos donde existe mucha precipitación, lo cual provoca que se laven las bases como sodio (Na), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg).

La coloración se debe a la deshidratación o lixiviación del hierro (Fe), por lo que presenta tonalidades pardo rojizas o rojizas. Cuando el suelo esta hidratado su coloración es pardo amarillenta y amarillenta. (Gisbert Blanquer, 2011).

Se ha desarrollado de rocas básicas, intermedias y acidas, de sedimentos aluviales, coluviales y fluviales.

Propiedades Químicas

- Se caracteriza por la presencia de un horizonte argílico o kándico (horizonte superficial con un porcentaje mayor de arcillas filosilicatadas que el material del suelo subyacente).
- Tienen un alto contenido de aluminio extraíble y son bajos en calcio, por ende, son suelos ácidos.
- Presenta una baja saturación de bases menor del 35 %.
- Pueden poseer uno o varios horizontes con concreciones de manganeso en el subsuelo, esto se produce por la disolución y precipitación debido a periodos alternos de humedad y sequedad del suelo (Gisbert Blanquer, 2011).

Propiedades Físicas

- Se desarrollan en relieves que van desde ligeramente ondulados hasta fuertemente ondulados.
- Son suelos profundos, y bien desarrollados con una transición difusa entre los horizontes.
- Cuentan con texturas finas a muy finas como es el caso de las arcillas.
- Presentan una buena estructuración lo que hace que un drenaje interno bueno.
- Se caracteriza por tener arcilla (principalmente caolinita) y óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al).

3.8.2. Orden Alfisols (J)

Su nombre no está derivado de las raíces griegas ni latinas y proviene del vocablo Pedalfer, referido a suelos ricos en óxido de aluminio y hierro. Son suelos maduros, con más desarrollo

evolutivo que los molisols que caracterizan por tener colores claros y horizontes sub superficiales amarillentos rojizos o rojizos amarillentos, en función del régimen climático en el cual se haya desarrollado el suelo, la horizonación típica de los alfisols es A-Bt-C-R, suelen ser profundos a moderadamente profundos y su característica morfológica, además de las propiedades químicas, es la presencia de los horizontes argílicos o Kándico. Este orden a nivel mundial es 11.23% de los suelos del mundo y del territorio nacional el 0.003%.

Son suelos de fertilidad media a baja, sus contenidos de bases intercambiables son menores del 50% en Ca, Mg, Na, y K, pueden presentar Ph ligeramente ácido a muy ácido, por estar en regímenes climáticos subhúmedos y húmedos, pero también nos podemos encontrar en zonas de trópico seco en el país se encuentran áreas importantes bajo diferentes tipos de cultivos tales como café, cacao, pasto y cultivos anuales.

Sub ordenes Udalfs (JE)

Definidos por el régimen del suelo Údico (latín, udus, húmedo) estos suelos permanecen húmedos por más de 90 días consecutivos durante el periodo lluvioso, esto lo hace cultivable ya que no presenta déficit de agua en el suelo durante el desarrollo del cultivo, son profundos en pendientes menores del 15% y moderadamente profundos en pendientes mayores de 15%. En las áreas planas están usados con pastos si los suelos presentan problemas de drenaje y en las laderas tienen cultivos limpios maíz, frijoles, con frecuencia se encuentran café bajo sombra y cacao bajo sombra como sistemas agroforestales. (INETER, 2015).

Origen

Son suelos minerales que presentan un endopedón u horizonte diagnóstico sub – superficial argílico. Son típicos de zonas con cambios de estacionales entre (húmedo a semiárido), déficit de humedad de más de cinco meses al año. Posee buen contenido de cationes intercambiables, pero alta susceptibilidad a los procesos de degradación. Presenta un horizonte superficial de color claro con bajo contenido de materia orgánica.

Propiedades Químicas

- Estos suelos cuentan con un porcentaje de saturación de bases superior al 35 %.
- Por su alto contenido de base se consideran suelos productivos.
- Sus horizontes sub – superficiales muestran evidencias claras de translocación de partículas de arcilla.
- Son suelos de color rojo.
- Suelos de regiones húmedas, por lo que se encuentran húmedos la mayor parte del año.
- En los trópicos se presentan con pendientes mayores de 8 a 10 % hasta de 75%, además se pueden encontrar con diferentes usos agrícolas, pecuarios, así como vegetación de bosque.
- Presentan alta fertilidad.
- Generalmente son suelos con buen drenaje.

3.9. Ecuación universal de la pérdida de suelo. (RUSLE)

Los procesos de erosión hidrológica superficial han sido bastante estudiados por el Departamento de Agricultura de EUA, mediante mediciones de la erosión en parcelas experimentales y mediciones de la precipitación que provoca la erosión.

Con base en el análisis estadístico de los datos experimentales los investigadores Wischmeier & Smith (1978), en una publicación del Departamento de Agricultura de EUA presentan la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), que permite estimar la pérdida promedio anual de suelo para un sitio específico bajo condiciones particulares de cultivos, tipo de suelo, pendiente y prácticas de cultivos. Este método fue ligeramente modificado por (Renard,

1997) del Departamento de Agricultura de EUA, llamándose Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos (RUSLE). La ecuación (1) es la siguiente:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

A = Es la pérdida de suelos en (Ton.ha.año)

R = El factor erosividad de la lluvia, en MJ.mm/(ha.hr)

K = El factor erodabilidad del suelo en MJ.mm/(ha.hr)/Ton.ha.hr

L = El factor de longitud de la pendiente (adimensional).

S = El factor pendiente (adimensional).

C = El factor cobertura y manejo de la vegetación (adimensional).

P = El factor de prácticas de conservación (adimensional).

3.10. Factor erosividad de la lluvia (R):

El factor de erosividad de la lluvia es un índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo, se define como la suma del producto de la energía total de la precipitación por su máxima intensidad en 30 minutos para todos los eventos importantes de precipitación en un área durante un año promedio. (Wischmeier & Smith, 1978). Consideran que el termino R en forma de producto es el mejor parámetro de la precipitación que reflejan la interacción entre el potencial combinado del impacto de lluvia y la turbulencia del escurrimiento para transportar las partículas desprendidas, el factor R se estimará con la siguiente ecuación:

$$R = \sum EI_{30} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde,

R= Índice de erosividad de la lluvia (MJ/ha- mm/h)

E=Energía Cinética total de la tormenta (MJ/ha)

I_{30} = Intensidad máxima de la tormenta en 30 minutos (mm/h)

Calcular la Energía Cinética unitaria para cada segmento de lluvia con intensidades constantes, usando la siguiente expresión básica:

$$e = 0.283 \quad \text{Si } I > 76 \text{ mm/h} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$e = 0.119 + 0.873 \log_{10} I \quad \text{Si } I \leq 76 \text{ mm/h} \quad (\text{Ec. 4})$$

La energía Cinética por unidad de precipitación (e) por milímetros de precipitación es igual a:

$$e = 0.1189 + 0.873 \log_{10} I \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde,

I = Intensidad del intervalo de precipitación

E es calculada como la sumatoria de los productos de la energía cinética por unidad de lámina de lluvia (e) y la cantidad de precipitación (Ia).

$$E = \sum ela \quad (\text{Ec. 6})$$

Los registros de lluvia a partir de pluviógramas, que se utilizan para estimar el índice de erosividad son escasos; por lo tanto, se trata de un parámetro difícil de estimar (Gabriels, 2003). Por tal razón diversos autores han intentado relacionar dicho factor con parámetros más fáciles de obtener y calcular, (Jordán, 2000) (Lee, 2011).

Entre las metodologías más conocidas se tiene el Índice de Fournier, Índice Modificado de Fournier (IMF) (Una aproximación del factor de lluvias en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo); (Arnoldus, 1977), que utiliza datos totales de los pluviómetros, pero ante las bajas correlaciones entre el Índice EI_{30} y el IF, propuso el Índice modificado de Fournier, fundamentado en que no solo los meses de mayor precipitación producen erosión superficial, sino que hay meses con menores cantidades de precipitación que también producen erosión.

El Índice modificado de Fournier, fue utilizado en 1992, en el proyecto CORINE de la Unión Europea, para determinar los riesgos de erosión en los países mediterráneos y realizar mapas

isoerosivos. (Gabriels, 2003). En Pulau Penang, Malasia peninsular, se calcularon los valores de EI_{30} , para la preparación de mapas de erosividad, basados en el índice de Fournier (Shamshad, 2008). EI_{30}

Como base para determinar la erosividad se utilizan los datos promedios de precipitaciones mensuales y el mapa de isoyetas. El índice se obtiene con la ecuación:

$$IMF = \sum_{i=1}^{i=12} \frac{P_i^2}{P_t} \quad (Ec.7)$$

Donde,

i = número del mes.

P_i = precipitación mensual en mm.

P_t = precipitación promedio anual en mm.

Además el IMF tiende a tener una buena correlación lineal con el factor R, por consiguiente muchos científicos como (A. Demirci, 2012), (DD Alexakis, 2013), han utilizados este hecho para generar diversas ecuaciones de regresión para estimar los valores locales de erosividad.

3.11. Factor erodabilidad del suelo (K)

El factor de erosión del suelo (K) representa el efecto de las propiedades del suelo, las particularidades de su perfil y la pérdida del suelo. K está vinculado con las propiedades físicas del suelo, importante en las estrategias de conservación del suelo (F. Shabani, 2014), y muestra la tasa de pérdida de suelo por índice de erosividad de lluvia (Kumar, 2012).

El factor K se define como la tasa de pérdida de suelo por unidad de energía erosiva creada por la lluvia calculada en condiciones estándar por una parcela de tierra que consiste en suelo limpio y desnudo con una pendiente del 9% y 22,6 m de largo (Renard, 1997).

Para estimar K se utiliza el Nomograma de erosividad del suelo (Wischmeier & Smith, 1978), el cual requiere datos sobre porcentaje de limo, porcentaje de arena muy fina, porcentaje de arena, porcentaje de contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad, para lo que se utiliza la siguiente ecuación:

$$100K = 2.1 * (M^{1.14} / 10,000) * (12 - OM) + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3) \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde,

M=Limo+ arena muy fina (%) (100 - % arcilla)

OM=materia orgánica

s=clase de estructura

p= clase de permeabilidad.

En el caso de no contar con información tan detallada se pueden usar valores tabulados por (Kirkby, 1980)

Factor K indica el grado de sensibilidad o resiliencia del suelo a la erosión y se concibe como la facilidad con la cual es desprendido por el salpicado de la gota durante un evento lluvia, el flujo superficial o bien por la acción de ambos fenómenos (Montes M. A., 2011) .

3.12. Longitud de pendiente y factor de inclinación (LS)

La erosión del suelo está influenciada por la topografía, fundamentalmente por la longitud y la inclinación de la pendiente. El factor de longitud de la pendiente expresa la proporción de pérdida de suelo observada en una parcela estandarizada de 22.13 metros (Wischmeier & Smith, 1978), se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$L = (\lambda / 22.13)^m \quad (\text{Ec. 9})$$

El factor longitud de pendiente expresado en la ecuación (9), fue modificada por (PJJ Desmet, 1996) para un manejo SIG considerando la acumulación de flujo y agregando una relación de erosión entre surcos y surcos.

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j-in}^{m+1}}{D^{m+2} * X_{i,j}^m * 22.13^m} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde A (i, j) [m] es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda), D es el tamaño del pixel y x es el factor de corrección de forma.

El factor de inclinación de la pendiente se estimó con el algoritmo de (DK McCool, 1987) que expresa la siguiente actualización:

$$m = \frac{\beta}{(1 + \beta)} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde m representa la relación entre surcos y surcos se calcula con la siguiente expresión:

$$\beta = \left\{ \left(\frac{\text{sen } \theta}{3,0 * (\text{sen } \theta)^{0.8}} + 0.56 \right) \right\} * r \quad (\text{Ec. 12})$$

$$S = 16.8 \text{sen } \theta - 0,50 \text{ si la pendiente } \geq 9\% \quad (\text{Ec. 13})$$

$$S = 10.8 \text{sen } \theta - 0,03 \text{ si la pendiente } < 9\% \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde

S: Factor de inclinación de la pendiente.

θ : Ángulo de inclinación en grado.

r: Coeficiente igual a: 0.5 en tierras forestales o pastizales; 1.0 en terrenos agrícolas y 2.0 en sitios en construcción.

Los valores LS son usualmente combinados en un factor topográfico único. Valores LS a diferentes combinaciones de longitud y gradientes de pendientes.

3.13. Factor cobertura vegetal (C).

La cobertura vegetal protege los suelos y mitiga el choque de las gotas de lluvia sobre la velocidad de la escorrentía superficial y la infiltración. Por tanto, las pérdidas de suelo disminuyen con el aumento de la cobertura vegetal (Soutter M., 2007).

El factor de Cobertura significa la relación entre la pérdida de suelo de un terreno con vegetación específica y la pérdida de suelo, correspondiente a un barbecho continuo (Wischmeier & Smith, 1978).

3.14. Factor prácticas de conservación de suelos (P).

El Factor de prácticas de conservación de suelo es la relación entre pérdida de suelo con una práctica de conservación específica y la pérdida correspondiente con labranza en pendiente ascendente y descendente (Wischmeier & Smith, 1978), en áreas principalmente agrícola tales como cultivos en terraza, curvas de nivel, etc.

IV. Hipótesis

La deforestación y expansión de la frontera agrícola en la microcuenca del río Mancotal provocan altas tasas de erosión hídrica superficial mayores que 12 Ton/ha-año.

V. Diseño metodológico

5.1. Tipo y diseño general de la investigación.

Para la realización de esta investigación se utilizó el método Analítico – Sintético. Es de tipo Empírico porque generó conocimientos para abordar problemas sociales locales y es de orientación cuantitativo debido a que se utilizó un modelo matemático para estimar la erosión hídrica superficial de la microcuenca Mancotal. De igual manera, se indica que el diseño utilizado en esta investigación es de tipo No Experimental ya que solamente se observó el comportamiento de las variables y de las muestras de campo, de las cuales se deriva un estudio descriptivo de los factores del modelo matemático mencionado anteriormente.

Esta investigación se inserta en el universo de la erosión hídrica superficial de la que se seleccionó la población Uso de suelo, suelo, precipitación y la topografía. Para obtener resultados más precisos del trabajo investigativo se seleccionó la muestra de la erosión hídrica superficial de la microcuenca Mancotal en Jinotega Nicaragua.

La erosión hídrica superficial se estimó, con el método RUSLE. Para lo cual se recopiló información de clima y suelo, con su debido control de calidad, también se describieron las características de las siguientes variables, tipo de suelo, uso de suelo, precipitación, pendiente del terreno y prácticas de cultivos.

Del producto de los factores RKLSCP del método RUSLE, se obtuvo la erosión hídrica actual y de los factores naturales RKLS, se determinó la erosión hídrica potencial. Los resultados de estos productos se clasificaron según la FAO (1985) en tres niveles de amenaza (baja, media y alta) de erosión de suelo.

5.2. Localización del área de estudio:

El río Mancotal nace en el Cerro de Agua (1377 msnm) y desemboca en Apanás en la comarca Tomayunca (957 msnm). La Figura 1, refleja las características de la microcuenca del río Mancotal, la cual se localizó entre los 13°12'57" a los 13°16'05" Latitud Norte y los 85°14'23" a los 86°02'37" Longitud Oeste, teniendo una extensión aproximada de 37.17 km², abarcando parte de los territorios rurales del distrito VI de las comunidades Mancotal, San Gregorio y Tomayunca del municipio de Jinotega. Desde el punto de vista hidrológico, la microcuenca en estudio forma parte de la subcuenca norte del Lago Apanás que tiene una superficie de 588 km², esta subcuenca es parte de la zona alta de la cuenca del río Grande de Matagalpa, que de acuerdo a la metodología PFAFSTETTER pertenece a la cuenta 9518.

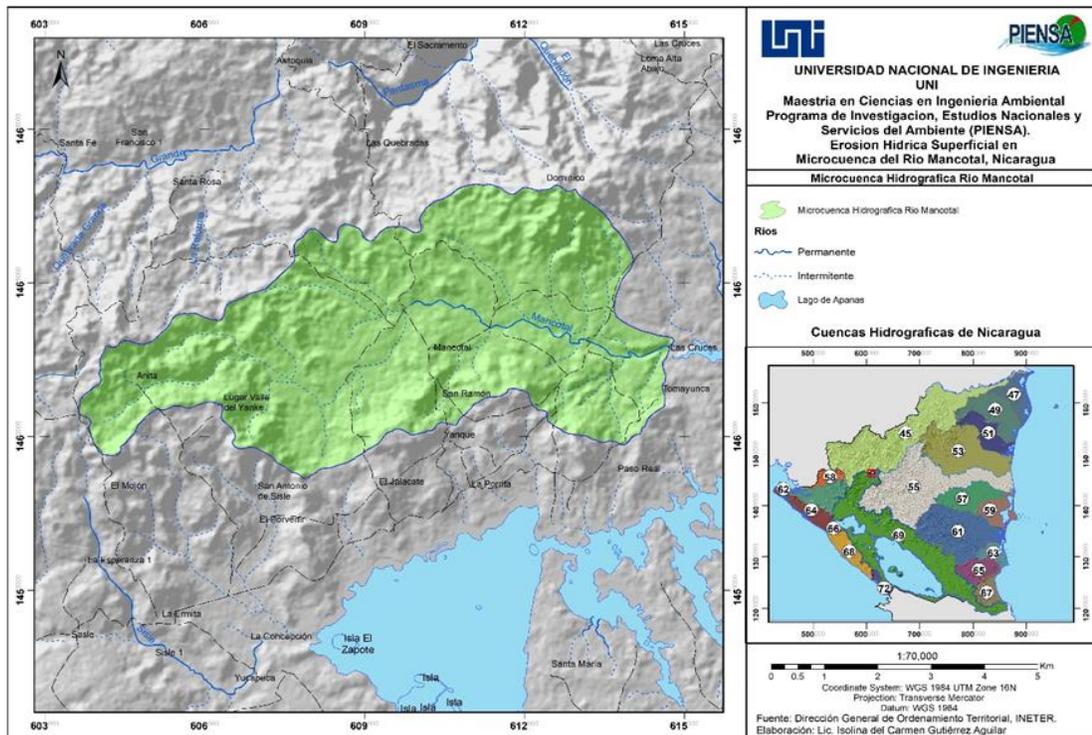


Figura 1. Microcuenca Mancotal, con un área de 37.17 km².

Fuente: Elaboración Propia

Tipos de suelos a nivel de orden

Del área total de la microcuenca (37.17 km²), en el 88.13% de la superficie, predominan los suelos Ultisols del suborden Humults (HB), mientras que el 11.87%, corresponde a suelos Alfisols del suborden Udalfs (JE) (Figura 2,).

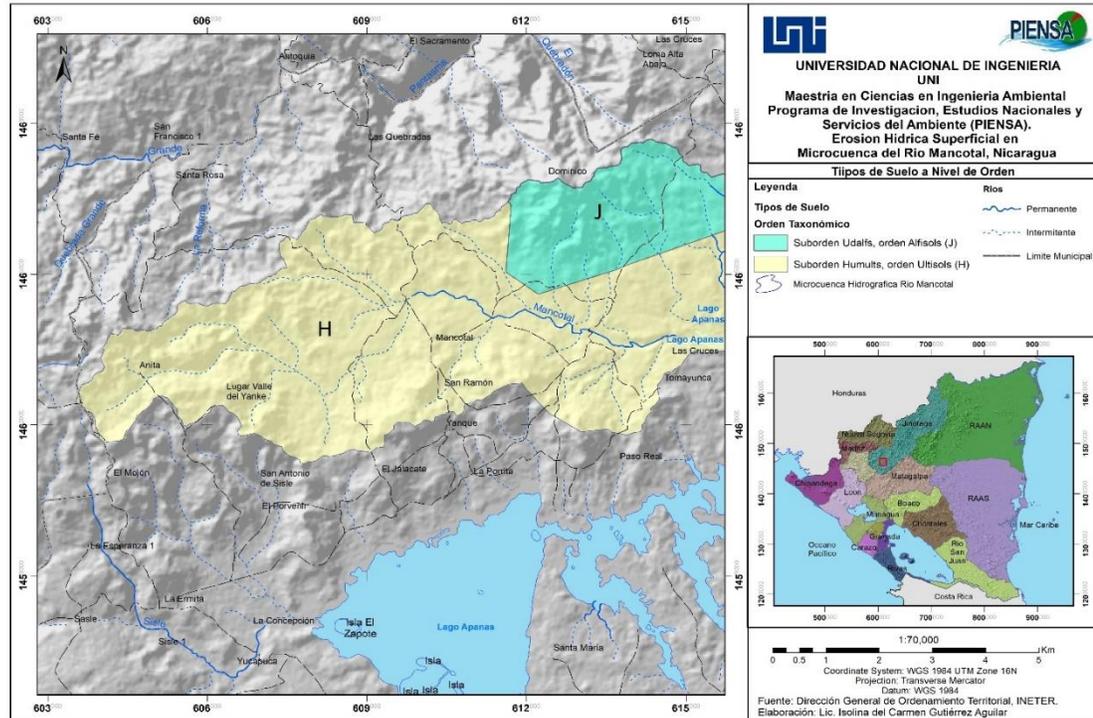


Figura 2. Tipo de suelo a nivel de orden taxonómico J: orden Alfisols, H: orden Ultisols
Fuente: Elaboración Propia.

5.3. Información pluviométrica

Cobertura espacial de estaciones meteorológicas

En el área de investigación y sus alrededores no se observó una cobertura espacial de Pluviógrafos con registros prístinos para el cálculo del índice de erosividad de la lluvia (R), pero si una red de pluviómetros representativos de la región, donde se localiza el área de investigación (Figura 3,).

5.4. Análisis de los datos de precipitación

Para obtener la erosividad de la lluvia se utilizaron los acumulados mensuales y anuales de precipitación pluvial de 10 estaciones meteorológicas (A-3, Tabla 17), todas operadas por Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), la ubicación georreferenciada de las estaciones se muestra en la Figura 3. Los datos de precipitación pluviométricos, fueron medidos con Pluviómetros y las intensidades de precipitación de la estación de Jinotega, con Pluviógrafos, ambos instrumentos de tipo Hellman (A-3, Figuras 15-16). Los datos de intensidades de precipitación se obtuvieron de las lecturas de las bandas de pluviógramas (A-3, Figura 17) para una duración de 30 minutos.

Para las 10 estaciones seleccionadas, se eligió un periodo común de análisis de 20 años, comprendidos de 1996 al 2015.

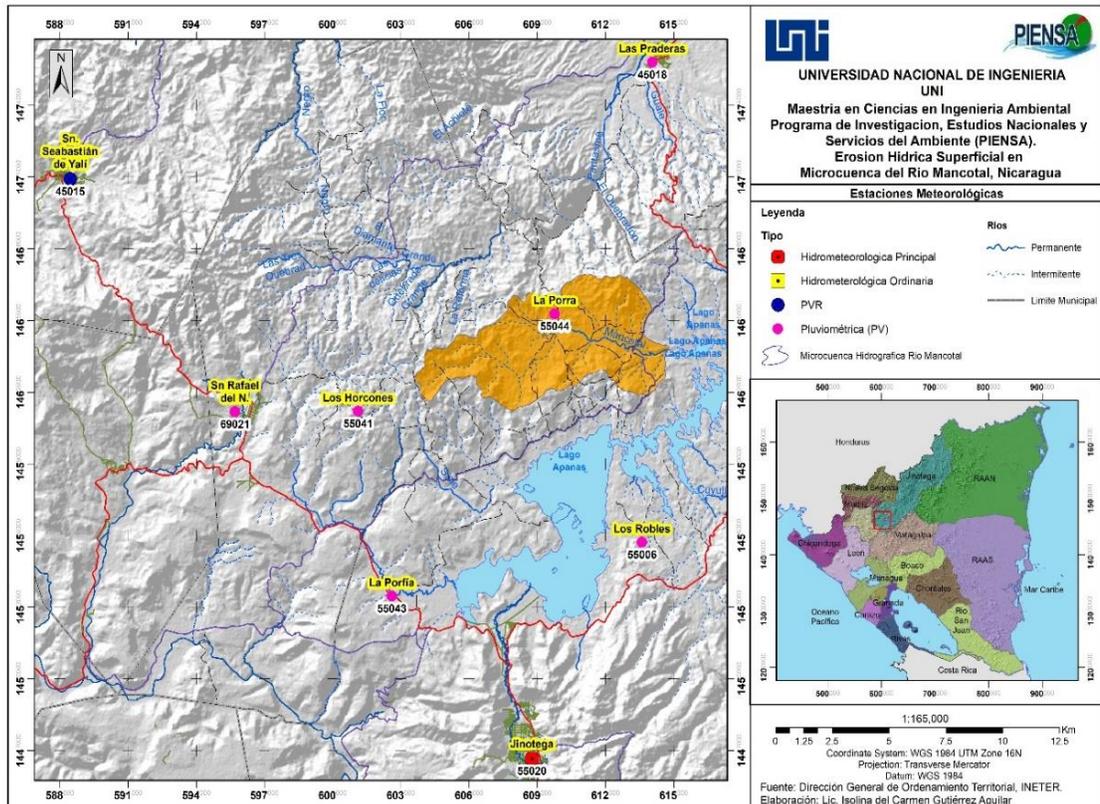


Figura 3. Localización de las Estaciones Meteorológicas seleccionadas dentro del área de investigación.

Fuente: Elaboración Propia

5.5. Estimación de datos faltantes de precipitación mensual

El control de calidad de los datos, se inició con una revisión exhaustiva y comparativa de los registros digitalizados con los datos asentados en las hojas originales: Este análisis brindó una serie de datos seleccionados que mostraron datos faltantes en las diferentes estaciones: la estación de Corinto Finca, tres meses faltantes del año 1999; La Porfía, tres meses faltantes del año 1999 y 12 meses faltantes del año 2008; La Porra, doce meses faltantes por año 1999 y 2013 y San Rafael del Norte, doce meses faltantes del año 2013. Estos meses fueron estimados estadísticamente utilizando regresión lineal, pues presentaron coeficientes de determinación mayor o igual de 0.66 (Tabla 8) que indican que las correlaciones fueron aceptables para el relleno de datos de precipitación (Manual de Procedimiento de INETER 2019), (Ayesta, 1994).

5.6. Análisis de consistencia de los datos de precipitación

La utilización de los registros de los datos de precipitación, permitió realizar un análisis de la consistencia de la información por el método de doble masa, para lo cual, se calcularon los acumulados de precipitación anual de cada estación, multiplicando las columnas 2-11 y se obtuvo la precipitación media anual acumulada (estación base).

La información obtenida (Tabla 9) se utilizó para graficar los valores de la columna (12) en abscisas con cada una de las columnas (2-11) en ordenadas (Figuras 4), que mostraron el comportamiento de la relación de proporcionalidad de la serie acumulada de precipitación anual de cada estación meteorológica, con la estación base.

5.6.1. Comportamiento de la precipitación media anual.

Verificada la consistencia de la información se obtuvo la precipitación media anual de cada estación meteorológica (A-3, Tabla 19). Con esta información se realizó el mapa de precipitación media anual, mediante el método de isoyetas (Figura 5).

5.7. Factor erosividad de la lluvia (R)

5.8. Estimación del factor R

Para la estimación de la erosividad anual de la lluvia (**R**) en el área de la microcuenca Mancotal se utilizó la ecuación de regresión que resultó de la correlación lineal entre los valores anuales de: **R** y el Índice Modificado de Fournier (**IMF**) de la estación de Jinotega para el periodo de 1995 a 2015.

Previo al análisis de la correlación entre ambas variables se preparó la siguiente información:

- a. Lecturas de las bandas de los pluviogramas para obtener los valores de las intensidades máximas de precipitación diaria para una duración de 30 minutos, de las cuales se tomaron las intensidades máximas por mes y de estas se escogieron las máximas por año. Además, se registró la duración del evento, la lluvia total del evento y la lluvia total del día. Utilizando estos datos y las ecuaciones (2-6) se estimó para cada año la erosividad de la lluvia. Un ejemplo del algoritmo utilizado para tres años se muestra en (A-3, Tabla 20).

- b. Utilizando los acumulados de precipitación mensual y la ecuación (7), se estimó para cada año el Índice Modificado de Fournier de la estación de Jinotega. El procedimiento aplicado consistió en calcular el cociente entre el cuadrado de la precipitación acumulada por mes (A-3, Tabla 22) y la precipitación media anual. La suma de los 12 valores se toma como el IMF anual (Tabla 21).

5.9. Verificación de la relación del IMF y R

Tomando la serie de datos del Índice Modificado de Fournier (**IMF**) y el factor de erosividad de la lluvia (**R**), obtenidas de la estación de Jinotega (Tabla 11), se analizó la correlación lineal entre ambas variables (Figura 7) para los años 1996 – 2015. De este procesamiento resultó la ecuación de regresión lineal número (15), con su respectivo coeficiente de determinación (r^2).

El proceso realizado, condujo a comprobar la correlación lineal entre los valores del IMF y R, calculados con datos pluviométricos e intensidad de la lluvia de la estación de Jinotega, respectivamente. Con este análisis se verificó que existe una relación lineal ($r^2=0.562$) aceptable entre ambas variables, donde R es la variable dependiente y IMF la independiente.

La correlación aceptable, permitió estimar con la ecuación 15, los valores anuales de erosividad (R) en el resto de estaciones pluviométricas dentro del área de estudio (Tabla 12). Los valores anuales de R fueron clasificados según los criterios que se muestran en la Tabla 1 (Rivera, P.J.H. y A.A. Gómez, 1991).

Tabla 1. Clasificación de los valores de erosividad de las lluvias (R).

Clase	Erosividad R (MJ-mm-ha⁻¹)	Clasificación
1	<1.000	Natural
2	1.000 a 2.500	Muy Baja
3	2.500 a 5.000	Baja
4	5.000 a 7.500	Moderada
5	7.500 a 10.000	Alta
6	10.000 a 15.000	Muy Alta
7	15.000 a 20.000	Severa
8	>20.000	Extremadamente severa

(Rivera, P.J.H. y A.A. Gómez, 1991)

Con esta información y utilizando la interpolación espacial en ArcGIS, se realizó el mapa de isoerosividad de la microcuenca Mancotal (Figura 8).

5.10. Estimación de Índice Modificado de Fournier (IMF):

Utilizando la ecuación (7) y el procedimiento mostrado en el (A-3, Tabla 21) se estimaron los valores anuales del IMF en nueve estaciones pluviométricas (Tabla 10). Estos valores, fueron clasificados según los criterios de la Tabla 2, de la página siguiente. Con base en esta información se generó el mapa del IMF (Figura 6).

Tabla 2. Clasificación de los valores del índice Modificado de Fournier (IMF)

Clase	Rango	Clasificación
1	<60	Muy bajo
2	60 – 90	Bajo
3	90 – 120	Moderado
4	120 -160	Alto
5	>160	Muy Alto

(CEC - Commission of the European Communities., 1992)

5.11. Cálculo del factor erodabilidad del suelo (K)

Para el cálculo de factor K fueron considerados las siguientes fases:

- a. A nivel de gabinete se obtuvo la siguiente información
 - Información cartográfica
 - La información de uso de suelo 2018 fue proporcionada por la Dirección de Ordenamiento Territorial - INETER
 - Los tipos suelo publicado por INETER en el año 2015.
 - Tomando como base los mapas de tipos de suelo y uso de suelo se efectuó la selección de cinco puntos para tomar muestras de suelo.

- b. A nivel de campo.
 - Muestreo de suelo
 - Se visitó la comarca Los Pimpe y El Yankee (A-3, Figuras 19-23), para cada sitio se realizaron perfiles de suelo y actividades como:
 - Se verificó en campo la existencia de una topografía ligeramente accidentada.
 - Se conversó con los campesinos dueños de las parcelas de café, sobre la importancia de realizar la investigación, obteniendo la autorización para tomar las muestras de suelo.

Se procedió a colocar sobre un mapa los tipos de suelo, lugares de toma de muestras y los correspondientes valores de K en el área de investigación (Tabla 15).

Los valores obtenidos del factor K expresan la vulnerabilidad que tiene el suelo para ser desprendido por el agente erosivo, refiriéndose a la erosión hídrica superficial. El mapa raster del factor K se generó para los diferentes tipos de suelo (Figura 10).

Con los valores de textura (arena muy fina + limo), el porcentaje de materia orgánica, la estructura, la permeabilidad se procedió a utilizar el nomograma de Wischmeier (A-3, Figura 24) para obtener los valores de erodabilidad de los suelos correspondiente a las muestras obtenidas a nivel de campo.

5.12. Estimación de Longitud de pendiente y factor de inclinación (LS)

Para el cálculo de la longitud y el gradiente de la pendiente, se utilizaron los datos de la Tabla 3 y fueron sustituidos en la ecuación (10). El algoritmo de la ecuación está integrado en la herramienta de análisis espacial ArcGIS 10.1, específicamente en el Modelo de Elevación Digital (DEM) obtenido de Alos Palsar DEM. Con la información que se obtuvo, se logró construir el mapa raster de dirección de llenado y flujo (Figura 11).

Tabla 3. Valor del exponente (m) según gradiente de la pendiente

Exponente	Gradiente de la pendiente (%)
0.2	<1
0.3	1 – 3
0.4	3 – 5
0.5	5 – 10
0.6	10 – 50

Fuente: (INETER - COSUDE, 2005)

5.13. Factor cobertura vegetal (C).

Para obtener la cobertura en la microcuenca con ayuda del sistema de información geográfica, se identificó el tipo de vegetación y utilizando la Tabla 4 de (Rosse, 1977) se obtuvieron los valores de cobertura de la vegetación. Con base en esta información se elaboró el mapa raster del factor C (Figura 12).

Tabla 4. Valores de C reportados por Rosse *et al* (1977) en África Occidental

Uso de la tierra	Promedio anual
Suelo desnudo	1
Bosque denso o cultivo con mulch	0.001
Sabana o pastizales sin pastoreo	0.01
Cultivos de cobertura, siembra	-
Primer año	0.3 – 0.9
Segundo año	0.1
Cultivo de cobertura de desarrollo	0.1
Maíz, sorgo	0.4 – 0.9
Arroz (cultivo intense, Segundo	0.1 – 0.2
Algodón, Tabaco (Segundo ciclo)	0.5
Maní, soya	0.4 – 0.8
Palma, café, coco con cultivos	-

Fuente: (INETER - COSUDE, 2005).

5.14. Factor prácticas de conservación de suelos (P).

Debido a que no se dispone de un mapa, a escala nacional, que muestre las áreas agrícolas, donde existen las prácticas de manejo de conservación, el procedimiento para obtener los valores de las prácticas de conservación de suelo fue a través del mapa uso de suelo (Figura 9), asignando valores de la Tablas 5 y 16, al factor P (Wischmeier & Smith, 1978), teniendo en cuenta que el factor P, oscila entre valores de 0 que indica buenas prácticas de conservación y 1 demuestra malas prácticas de conservación. Con base en esta información se elaboró el mapa raster del factor P (Figura 13).

Tabla 5. Valores de factor P para cultivos en faja (ancho de las fajas de cultivos y longitud de pendientes permisibles (Wischmeier & Smith, 1978).

Gradiente de Pendiente (%)	Factor P	Ancho de faja (m)	Máxima longitud pendiente (m)
1 – 2	0.30	40	24
3 – 5	0.25	31	183
6 – 8	0.25	31	122
9 – 12	0.30	24	73
13 – 16	0.35	24	49
17 – 20	0.40	18	37
21 – 25	0.45	15	31

Fuente (INETER - COSUDE, 2005)

5.15. Estimación de niveles de amenaza de erosión hídrica.

Se determinó con la ecuación 1, la erosión actual (Figura 15) y de la misma ecuación se obtuvo la erosión potencial (Figura 14), pero sin considerar los componentes antrópicos. Utilizando la Tabla 6, se clasificaron los valores de la erosión actual y potencial, que según INETER-COSUDE (2005), son los rangos para la zonificación de los niveles de intensidad de la erosión.

Tabla 6. Niveles de intensidad de erosión o pérdida de suelo adaptados de criterios internacionales.

Intensidad de Amenaza	Pérdida de suelo (Ton/ha-año)	Pérdida de suelo (mm)
Baja	5 – 12	0.4 – 2
Media	12 – 25	2 – 5de
Alta	>25	>5

Fuente. Adaptados de Wischmeier y Smith, 1978; Roffe, Ligtenberg, et, al 2004. FAO 1985.

La erosión tolerable o pérdida de suelo tolerable, oscila entre 5 – 10 t/ha/ año, el cual está determinado por la profundidad y propiedades del suelo. (Wischmeier & Smith, 1978).

5.16. Técnicas e instrumentos para determinación de la información.

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron los instrumentos de recolección de datos descritos a continuación, por objetivos específicos.

Tabla 7. Actividades, métodos, técnicas e instrumentos para recolección de datos.

Objetivo específico	Actividad	Fuentes de datos o del método	Técnicas	Instrumentos	
1) Caracterizar los tipos de suelo, uso del suelo y las prácticas de cultivo mediante visita a diferentes sitios de la microcuena.	Identificar tipo y estructura de suelos	INETER/Datos Básicos	Documento y registro	Software ArcGIS, mapas uso y tipode suelo y hojas topográficas. Shape de cuencas hidrográfica de Nicaragua con la metodología PFAFSTETTER (INETER,2014).	
		Muestreo en campo	sensorial, forma zig-zag	Barreno, GPS, tabla Munsell	
		-	-	Descripción de perfiles de suelo (FAO, 2006), Clave Taxonómica	
	Identificar Usos del suelo	Campo	Entrevista libre y sensorial	Entrevista y observación visual	
	Determinar Textura de suelos	Criterios de Kilmer y Alexander, 1949	Pipeta de Robinsón	Laboratorio	
2) Determinar factores de la ecuación RUSLE necesarios para la estimación de la pérdida de suelo	Determinar Contenido de Materia Orgánica	Criterio de Walkley -black, 1934	Walkley- Black	Laboratorio	
	Determinar IMF	INETER/Datos climático	Análisis cuantitativo/Interpolación espacial IDW	Software Excel y ArcGIS	
	Determinar Factor R	INETER/Datos climáticos	Análisis cuantitativo/Interpolación espacial IDW	Software Excel y ArcGIS	
	Determinar Factor K	Resultado de laboratorio y nomograma de Wischmeier & Smith (1978)	Análisis cuantitativo/Interpolación espacial IDW	Software Excel y ArcGIS	
	Determinar Factor L y S	INETER/ Modelo de elevación digital (Alos Pasar DEM), con tamaño de celda 12.5 m.	Análisis cuantitativo/Raster a Slope. Raster a Fill - Flow Direction - flow Accumulation. Raster calculador Factor F, M, L, S, LS	Software Excel y ArcGIS	
	Determinar Factor C	Mapa de uso de suelo, INETER (2018), Tabla de cobertura de la vegetación, Rosse, E. et al. (1977)	Análisis cuantitativo/ Polígono a Raster	Software Excel y ArcGIS	
	Determinar Factor P	Tablas de prácticas de conservación de suelo de: Wischmeier & Smith, (1978) y FAO, (1989).	Análisis cuantitativo/ Polígono a Raster	Software Excel y ArcGIS	
	Determinar erosión A	Raster de cada factor modelo RUSLE	Raster calculador de las capas	Software Excel y ArcGIS	
	3) Estimar los niveles de amenaza de erosión hídrica superficial en la microcuena del lago de Apanas.	Clasificar los Niveles de Amenazas	Estimaciones actuales y potenciales de erosión hídrica	Tablas de clasificaión de niveles de erosión o pérdidas de suelos INETER-COSUDE (2005).	Modelo RUSLE, Software ArcGIS

Fuente: Elaboración propia

Con base en la información que se obtuvo se digitalizaron los mapas temáticos a escala 1: 70000, con base en la Proyección Transversal de Mercator, Dato Horizontal: Sistema Geodésico Mundial WGS 84.

VI. Análisis de resultados.

6.1. Análisis de los datos de precipitación.

La distribución de las 10 estaciones meteorológicas seleccionadas (A-3, Tabla 17) y Figura 3, presenta una cobertura espacial razonable y representativa del área de investigación. Además, las estaciones presentaron más del 80% de sus registros completos, en el periodo de estudio de 1996 al 2015. Antes de utilizar esta información fue rellenada y homogenizada, para hacer compatibles y comparables entre si la serie de precipitación de cada estación.

6.1.1. Relleno de datos faltantes de precipitación mensual.

En el periodo de referencia de las 10 estaciones seleccionadas, el 60% de ellas, presentó sus observaciones reales completas. El otro 40%, mostró datos faltantes, es decir, que en algunos meses no se midieron las observaciones reales.

Considerando lo antes referido, por correlación lineal múltiple entre las estaciones de referencia vs la estación con datos incompletos, se obtuvieron los coeficientes de determinación (Tabla 8), que explicaron entre el 66% y 84%, la proporción de variación de los valores estimados, en relación a la observación real. Con base en este resultado se utilizaron ecuaciones de regresiones respectivas para el relleno de los meses con información faltante (A-3, Tabla 18).

Tabla 8. Coeficientes de determinación de las correlaciones lineales (R^2) entre las estaciones referencia y las estaciones con datos incompletos.

Estación de referencia	Estación con datos incompletos	R^2 de la correlación lineal
Los Robles Los Horcones Jinotega	La Porra	0.82
Los Robles Jinotega	Corinto Finca	0.72
Los Robles Los Horcones Jinotega	La Porfía	0.66
Los Horcones Jinotega	San Rafael del Norte	0.84

Fuente: Elaboración Propia

6.1.2. Análisis de consistencia de los datos de precipitación

Realizado el relleno de datos faltantes, se procedió al análisis de consistencia de los datos de precipitación, utilizando el método de Doble Masa que se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Acumulado de precipitación anual de cada estación y el promedio de la estación base (precipitación media anual acumulada de 10 estaciones) del periodo 1996 – 2015.

Precipitación Acumulada Anual (mm), 1996-2015.											
Col-1	Col-2	Col-3	Col-4	Col-5	Col-6	Col-7	Col-8	Col-9	Col-10	Col-11	Col-12
Año	San Sebastian de Yali	Las Praderas	Corinto Finca	Los Robles	Mancotal	Jinotega	Los Horcones	La Porfia	La Porra	San Rafael del Norte	Promedio
1996	1388	1901	1498	1784	2093	1655	2437	1321	1665	1487	1723
1997	2534	3394	2859	2926	3753	2752	4602	2250	3007	2623	3070
1998	4249	4991	4877	4817	5403	4685	7872	4040	5826	4298	5106
1999	5542	6276	6764	5610	6820	5816	10379	5129	7311	5814	6546
2000	6505	7309	8001	6896	8538	6821	12605	5981	8721	6884	7826
2001	7396	8340	9428	8109	9915	7636	13984	6743	9764	7905	8922
2002	8305	9649	11146	9311	11727	8863	15536	7623	10976	9113	10225
2003	9089	11125	12534	10315	13860	9953	17017	8663	11913	9956	11442
2004	10310	12709	13627	11312	15600	11018	18788	9398	13398	10911	12707
2005	12022	14298	15553	13029	17356	12607	20667	10162	14908	12324	14293
2006	13574	15780	17048	14162	18728	13650	22210	11175	16657	13453	15644
2007	14987	17221	18814	15719	20246	15206	24087	12687	18261	15120	17235
2008	16848	18996	20686	17523	21645	16616	26129	14070	20039	16827	18938
2009	17856	20331	22357	18673	23231	17538	27397	15659	21210	17762	20201
2010	19920	22123	24429	20575	25267	19684	29442	17356	23133	19841	22177
2011	22154	23604	26220	22837	26603	21049	31228	18447	24876	21600	23862
2012	23925	25095	28019	24499	28418	22265	33156	20104	26468	23210	25516
2013	25650	26745	30164	26184	29909	23635	34981	21670	28097	24669	27170
2014	26859	28061	31740	27558	31443	24662	36071	22767	29793	25975	28493
2015	28144	29306	33272	28454	33241	25632	37329	24693	30680	27057	29781

Fuente: Elaboración Propia, 2019

En la Figura 4, página siguiente, se observó que los datos de precipitación se ajustaron bien a una línea de pendiente única en cada uno de los casos, por lo tanto, se comprobó que los datos analizados son consistentes y confiables.

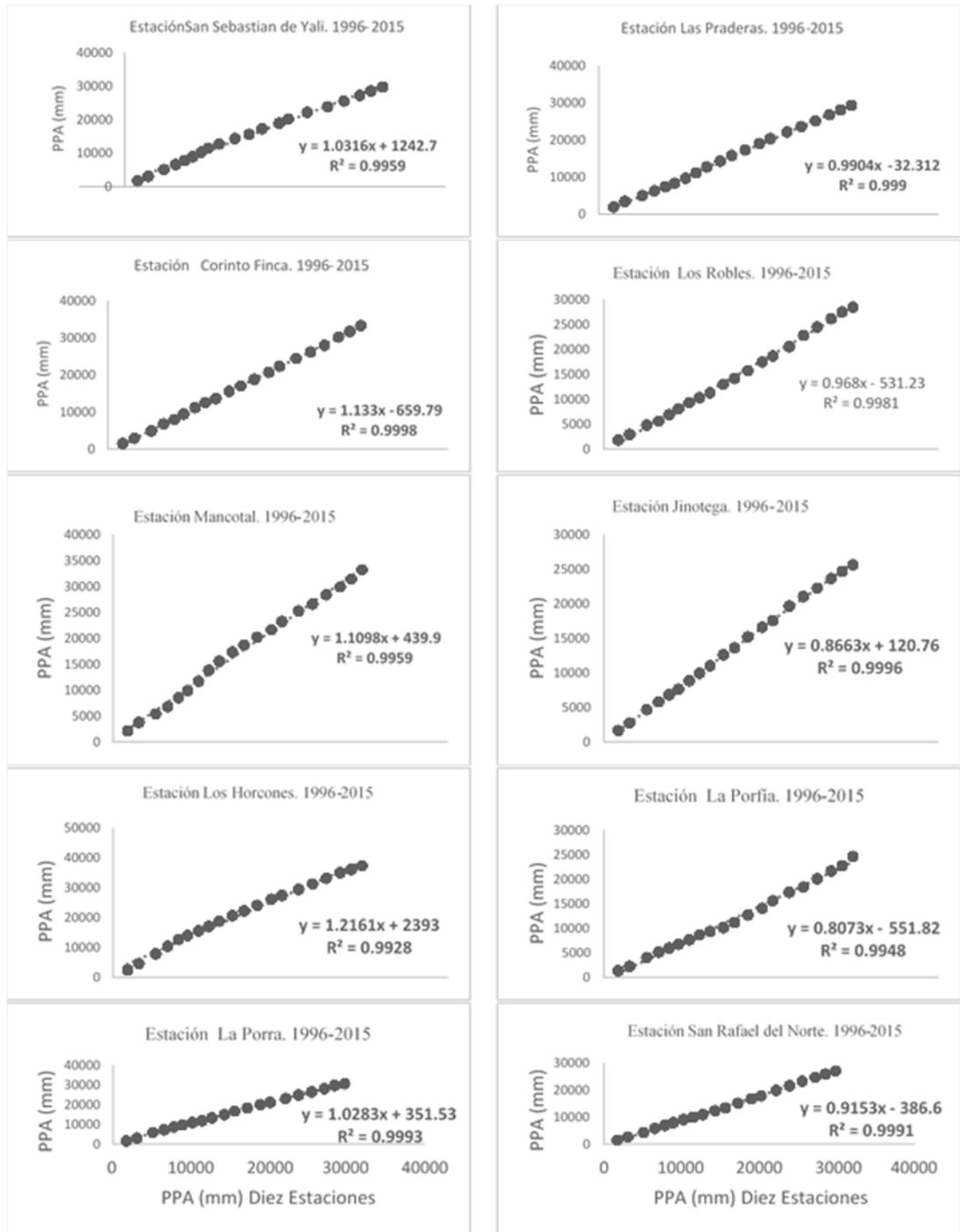


Figura 4. Análisis de doble masa de la precipitación acumulada anual (APP) de 10 estaciones meteorológicas dentro y alrededor de la microcuenca Mancotal período 1996-2015.

Con base en el historial de las estaciones meteorológicas (INETER, 2015) y el debido control de calidad de las estaciones, se determinó que las observaciones de la variable climatológica precipitación, fueron medidas con los mismos instrumentos meteorológicos (pluviómetro y pluviógrafos), sin cambios en su emplazamiento local, ni en el procedimiento de observación.

Además, se verificó con el método de doble masa la consistencia de la base de datos de precipitación anual. Con lo descrito se comprobó que los datos recopilados son coherentes en sus observaciones y representativos del período que se tomó como referencia, obteniendo en general valores de regresión lineal de $r^2 = 0.9928$ a $r^2 = 0.999$ en la estación Los Horcones y Las Praderas, respectivamente.

6.2. Comportamiento de precipitación media anual.

El comportamiento espacial de la precipitación media anual en el área de investigación se muestra en la Figura 5, mediante el método de isoyetas.

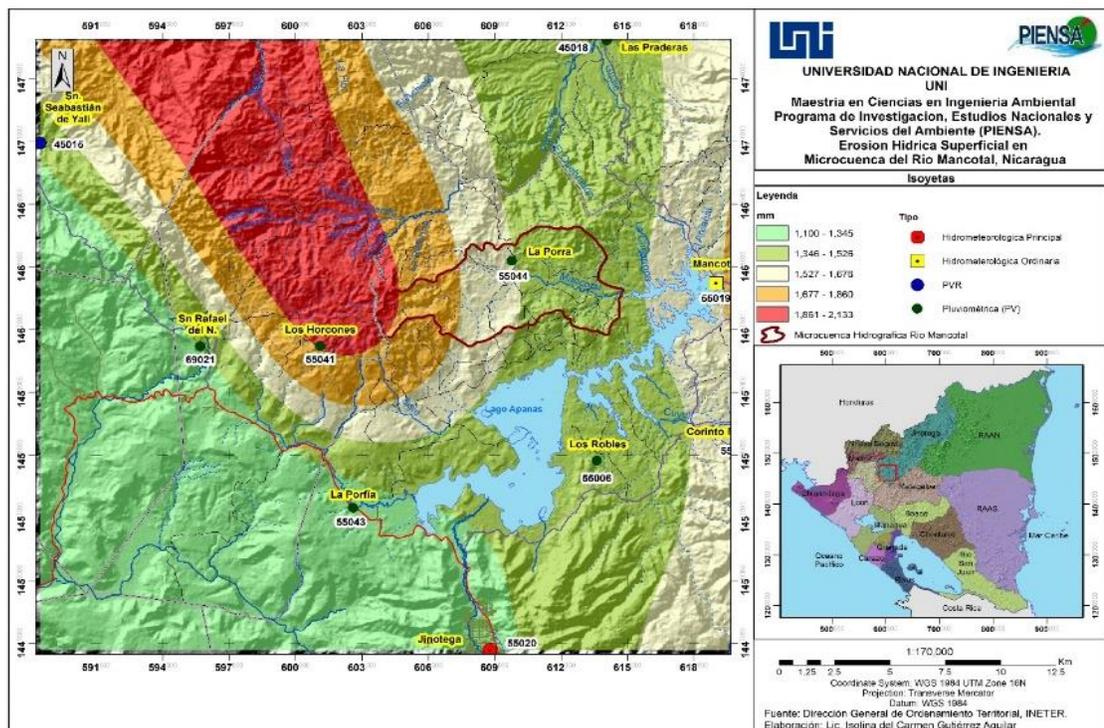


Figura 5. Distribución espacial de la precipitación media anual (mm) en la microcuenca Mancotal y su entorno.

Fuente: Elaboración Propia.

Se observó que la precipitación presentó un incremento progresivo en dirección de Este a Oeste de la microcuenca. Este comportamiento es apreciable, desde la comunidad de Tomayunca, pasando por las comunidades de Mancotal y Lugar Valle El Yanke. En todos estos sectores se sobrepasan los 1100 mm de precipitación media anual, alcanzando los 1861 mm, al Oeste y Noroeste de la comunidad de Anita (A-3, Tabla 19).

Esta conducta de la lluvia posiblemente esté vinculada a la influencia que ejerce el relieve, cuando las Ondas tropicales en su desplazamiento impactan a barlovento el área de investigación, durante la estación lluviosa (mayo a octubre) de cada año. Esto favorece la generación de lluvias sobre el área referida. Pagney (1976) encontró que los aportes de humedad de los Alisios (vientos que soplan de Noreste y Sureste), en asociación con la termo convección provocan lluvias de relieve a barlovento de los sistemas montañosos, siendo una característica dominante de América Central.

Además, el científico Riehl (1945), documentó que este tipo de perturbaciones que están embebidas en el flujo de vientos del Este, que ahora se conocen como las "ondas tropicales, salen del noroeste de África". El científico, Burpee (1972), demostró en sus estudios que las "ondas tropicales se propagan hacia el Oeste, cruzando el Atlántico en la corriente de los alisios de la tropósfera baja y que estas pueden afectar América Central en los meses de abril o mayo y continúan surgiendo hasta octubre o noviembre".

6.3. Índice Modificado de Fournier

Utilizando la ecuación (7), se obtuvieron los valores del IMF, que se muestran en la Tabla 10, observándose que en determinados lugares, como San Sebastián de Yalí, San Rafael del Norte y La Porfía, se registraron valores anuales de 158.7 mm a 160.5 mm, calificándolos con un nivel alto de erosividad de la lluvia, mientras que el resto de los sitios, expuesto a barlovento del flujo de viento del Este, presentaron valores de 171 mm a 199.1 mm, que los clasifica con un nivel muy alto de erosividad de la lluvia.

Tabla 10. Valores del Índice Modificado de Fournier (IMF) para la microcuenca Mancotal-2019

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
45015 San Sebastian de Yali	2.8	0.8	0.3	0.5	12.6	29.0	23.2	20.5	28.6	30.1	7.9	2.4	158.7
45018 Las Praderas	1.5	0.6	0.6	0.1	10.2	32.3	28.9	27.3	24.0	36.5	11.3	1.6	175.0
55001 Corinto Finca	1.5	0.5	0.3	0.4	12.9	41.9	35.7	34.1	31.6	31.3	6.6	1.7	198.4
55006 Los Robles	1.1	0.3	0.3	0.2	9.7	24.3	31.1	37.5	39.1	21.7	8.4	1.8	175.5
55019 Mancotal	1.8	0.9	0.6	0.4	12.5	41.2	32.4	39.6	36.9	24.1	5.6	3.1	199.1
55041 Los Horcones	4.7	1.6	0.9	0.4	13.3	33.3	27.7	25.6	31.7	35.6	16.0	6.6	197.4
55043 La Porfia	0.4	0.1	0.1	0.3	9.3	27.6	16.7	23.1	27.3	32.6	9.7	2.9	149.9
55044 La Porra	2.1	0.6	0.3	0.3	13.4	30.9	25.7	22.7	31.2	27.9	12.4	3.8	171.3
69021 San Rafael del Norte.	1.7	0.8	0.2	0.3	15.2	31.5	16.9	18.4	36.7	31.6	5.0	2.1	160.5
55020 Jinotega	1.0	0.4	0.2	0.3	15.4	31.8	17.1	17.1	26.2	49.0	5.3	1.0	198.9

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

El área de investigación presentó un nivel Muy Alto de erosividad pluvial, con base en la clasificación de la CEC en 1992 (Tabla 2) con valores IMF que superaron los 168 mm, como se muestra en la Figura 6.

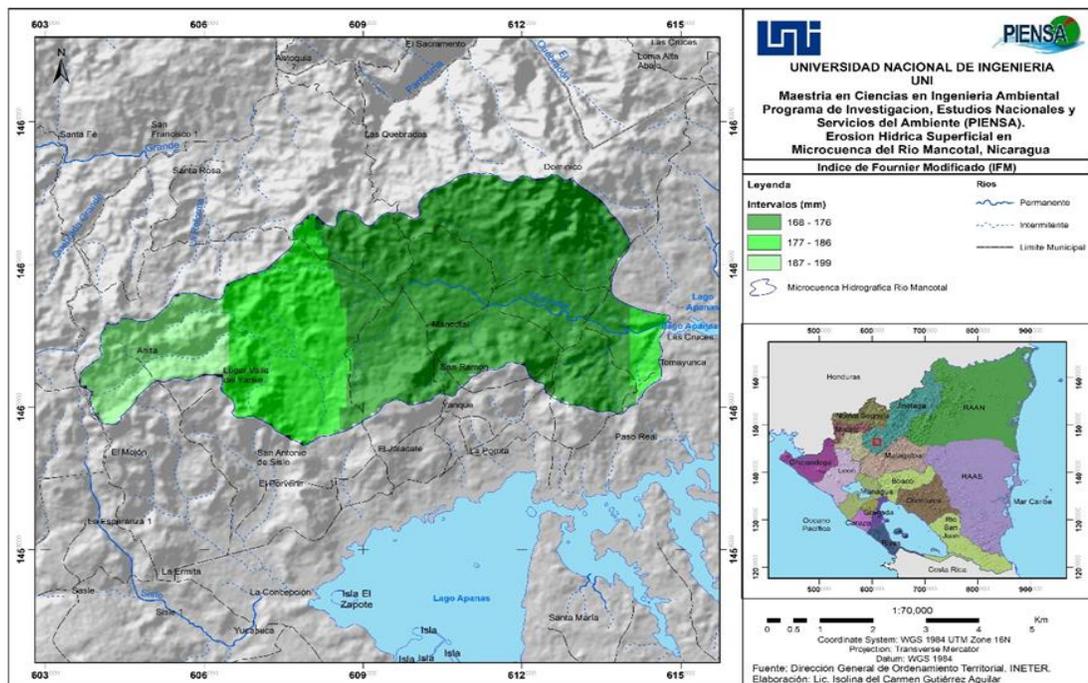


Figura 6. Distribución espacial del Índice de Fournier Modificado (IMF)

Fuente: Elaboración Propia

En determinados puntos, como en las zonas de Tomayunca, Lugar Valle del Yankee y Anita, expuestas al viento predominante del Este, la agresividad de la lluvia llegó a ser severamente alta con valores que oscilaron entre 177 mm y 199 mm, mientras que en lugares intermedios como Mancotal, San Ramón y Domingo, disminuyó el valor del IMF. Investigación similar fue

realizada en la subcuenca del Río San Marcos, Puebla, México, donde se demostró que IMF, proporcionó mejores resultados en relación a otros índices para estimar la agresividad de las precipitaciones (Castelán Vega R, et al, 2014).

6.4. Estimación del factor erosividad de la lluvia (R)

6.4.1. Verificación de relación IMF y R

Con base en los datos de la Tabla 11, los cuales corresponden al periodo de registro de los años 1996-2015 de la estación meteorológica de Jinotega del INETER, se analizó la relación entre las variables; factor R y IMF, por el método de correlación lineal, observándose que los datos se ajustaron a una recta creciente (Figura 7), representada por la ecuación de regresión 15, con un coeficiente de correlación significativamente alto de 0.81, que equivale a un coeficiente de determinación de $r^2=0.652$, el cual indica que los cambios que pudieron ocurrir al estimar el valor local de R en cada estación pluviométrica, fueron explicados en un 65.2% por la variable IMF.

$$R = 505.47 + 12.229 (\text{IMF}) \quad (\text{Ec. 15})$$

Tabla 11. Valores de Erosividad (R) e Índice Modificado de Fournier (IMF), estación Jinotega.

Año	$R = \sum EI_{30}$	$IMF = \sum_{i=1}^{i=12} \frac{P_i^2}{P_t}$
1996	2006.9	313.5
1997	1345.7	173.6
1998	1104.3	156.5
1999	1912.7	137.3
2000	1389.8	139.3
2001	1459.3	67.7
2002	2769.0	167.3
2003	2478.8	145.3
2004	1688.3	115.3
2005	5695.6	317.3
2006	3164.5	114.2
2007	5711.3	299.9
2008	3124.1	251.7
2009	2057.3	94.0
2010	7664.5	585.3
2011	1943.9	207.2
2012	3025.9	177.9
2013	4752.4	209.0
2014	3080.3	193.2
2015	2139.2	111.5
Promedio	2925.7	198.9

Fuente: Elaboración Propia, 2019

El análisis estadístico sobre la correlación de ambas variables (Figura 7), mostró que la relación es más fuerte en el intervalo de 0 a 200 mm según IMF y en el rango de 0 – 3000 MJmm /ha.hr en concepto de erosividad, y muy pocos eventos se presentaron fuera de estos rangos.

En la misma figura (7) se observó que el valor del coeficiente de determinación $r^2 = 0.652$, indica una relación consistente entre ambas variables expresada en la ecuación (15) para el periodo analizado, estableciendo que cuando el valor parte del origen la erosividad es de 505.72 y que a medida que hay un incremento en el valor del IMF habrá un incremento en el valor de erosividad, ya que la recta ajustada es creciente.

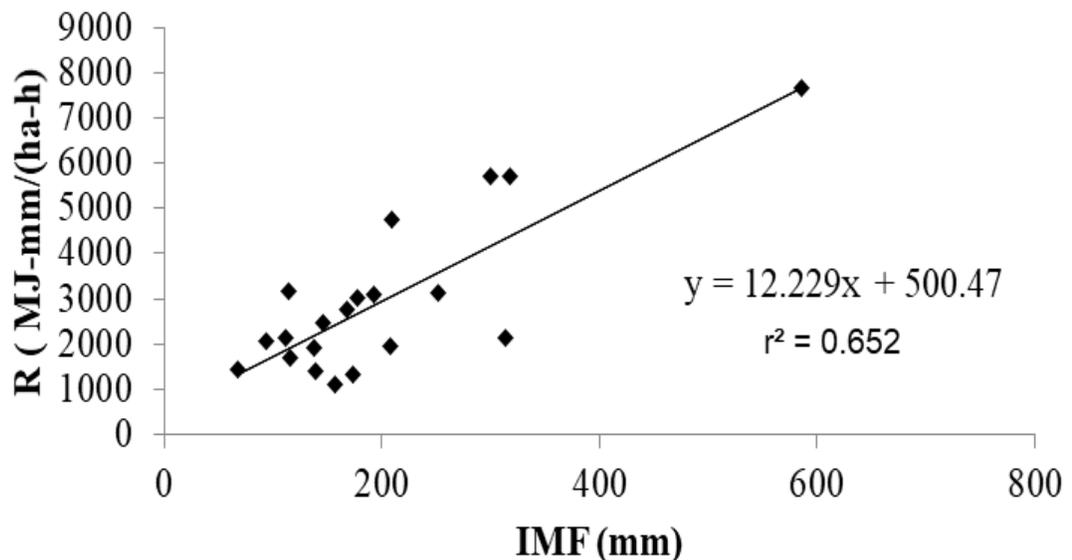


Figura 7. Relación entre el factor R e Índice Modificado de Fournier, estación Jinotega, 2020.

Fuente: Elaboración propia.

El análisis también permite determinar que a medida que se analice mayor periodo de tiempo, con registro consistente es posible que el valor de correlación mejore sustancialmente, obteniendo más confiabilidad de los resultados obtenidos del factor climático para el caso de la erosividad (R) de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

6.4.2. Comprobación de la correlación de R: f(EI30) y R: f(IMF).

En correspondencia con lo antes descrito se comprobó la correlación observada (Figura 7) entre los valores del índice de erosividad de la lluvia en función de la energía cinética y la intensidad máxima de la precipitación en 30 minutos (EI_{30}), con los valores de R estimados con el Índice Modificado de Fournier (IMF), en la estación de Jinotega, para los años de 1996 a 2015. Para estimar la energía cinética se seleccionaron 383 tormentas, estas se obtuvieron de los datos de intensidad, considerando una tormenta si su acumulado de lluvia iguala o excede los 10 mm.

El valor de R calculado con EI_{30} en la estación de Jinotega fue 2925.7, mientras que el valor de R estimado en función del IMF de 2926.3. Este resultado del ajuste es aceptable, pues R en función de **IMF** es 0.02% más que el valor de R, obtenido con EI_{30} . Esta diferencia no es significativa si se considera el tipo de estimación de erosión de que se realiza con el modelo.

Así que, con la ecuación (15), donde la variable dependiente corresponde a R, fueron estimados los valores anuales de erosividad de la lluvia para 9 estaciones pluviométricas (Tabla 12). Donde los valores de R, oscilaron de 2330.2 mm en el sector de La Porfía a 2928.4 mm en Mancotal.

Tabla 12. Valores anuales del índice de erosividad de la lluvia (R).

Estación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
45015 San Sebastian de Yali	539.4	515.8	509.3	512.3	659.1	859.0	788.0	755.7	854.3	871.5	601.4	534.7	2437.6
45018 Las Praderas	523.5	512.4	512.7	507.5	630.4	899.1	857.9	838.5	798.1	950.1	642.7	525.1	2635.3
55001 Corinto Finca	523.5	511.9	509.5	510.5	663.0	1015.3	940.2	920.2	890.4	886.0	586.1	526.6	2920.2
55006 Los Robles	519.7	509.2	509.1	507.8	623.3	801.6	884.5	962.1	981.4	769.3	608.5	527.8	2641.3
55019 Mancotal	527.3	517.2	512.6	510.0	658.2	1007.5	899.4	987.6	954.9	798.7	574.2	543.6	2928.4
55041 Los Horcones	562.7	525.6	516.2	510.6	668.0	910.7	843.4	816.9	891.5	938.8	700.1	586.6	2908.0
55043 La Porfía	510.0	507.0	506.8	509.3	618.3	841.5	709.0	786.4	837.9	902.9	623.5	540.4	2330.2
55044 La Porra	531.1	513.4	509.9	508.8	668.8	882.2	818.2	782.0	885.5	845.7	656.3	551.7	2590.9
69021 San Rafael del Norte	526.8	515.8	508.1	509.8	690.2	888.9	711.5	729.4	952.5	890.8	566.5	531.8	2459.1
55020 Jinotega	518.4	510.3	507.6	509.2	692.9	893.3	714.4	713.3	824.9	1101.9	570.5	517.3	2925.7

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

6.4.3. Factor de erosividad de la lluvia R

La distribución espacial del factor anual de erosividad de las lluvias se muestra en la Figura 8

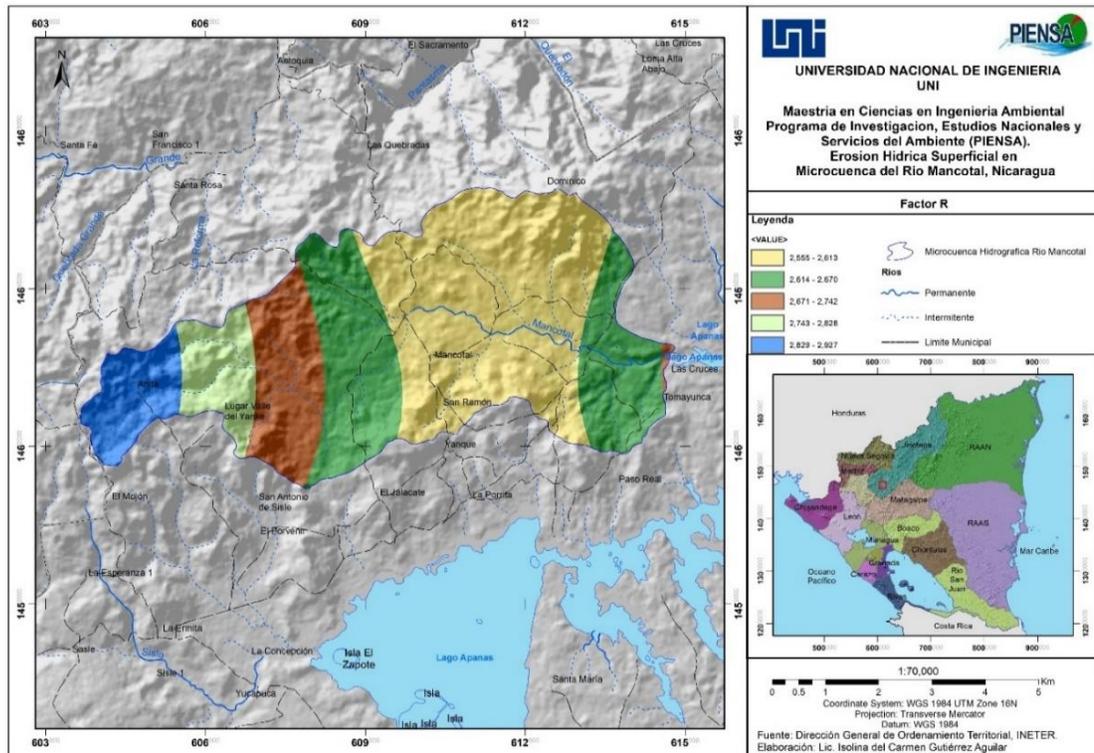


Figura 8. Mapa de erosividad de la lluvia en la microcuenca Mancotal, 1996-2015.

Fuente: Elaboración propia

Se observan dos núcleos de baja erosión según clasificación de la Tabla 1 (Rivera, P.J.H. y Gómez, 1991). El primero se localizó en el centro-Este de la parte media y baja de la cuenca, donde se localiza las comunidades Mancotal, San Ramón y Tomayunca, y la zona alta de Domingo, abarcados por la isolínea de 2613 MJmm/(ha-h-año), mientras que al Oeste se observó el segundo núcleo con el máximo de 2829 MJmm/(ha-h-año), donde se localiza la comunidad Anita.

El resto de las comunidades de la parte media: San Francisco, San Gregorio, La Porra y la parte baja en Tomayunca, presentaron valores de 2614 a 2742 MJmm/(ha-h-año). En la comunidad El Valle El Yankee la erosividad osciló entre 2743 y 2828 MJmm/(ha-h-año). Estos resultados determinan que la lluvia es un factor relevante en la erosión del suelo.

En otras investigaciones, como la realizada en la cuenca Nethravathi-Karnataka-India, se comprobó que esta variable climatológica es uno de los factores más importantes para determinar la erosión del suelo (Ganasri y Ramesh, 2016).

En el mapa se observan cinco niveles de valores de erosividad dentro de la microcuenca en investigación, con efectos importantes debido al comportamiento de los otros factores de la RUSLE. Los mayores niveles de erosividad de la lluvia se presentan al Oeste y Noroeste de la zona de estudio, los valores más bajos en la parte media de la microcuenca.

6.5. Tipo de suelo a nivel de orden.

Con base en el análisis de las muestras que se tomaron en la comunidad El Yankee (A-3, Figura 23), se determinó que, en la microcuenca, según la Tabla 13, predominan los suelos Ultisols del suborden Humults (HB). Lo que concuerda con la Figura 2, donde la isolínea del suelo citado, abarca el 88.14% del área total (37.17 km²) de la microcuenca.

Mediante la técnica visual y táctil se calificaron las características edafológicas del tipo de suelo (A-3, Figura 22), encontrándose suelos arcillosos hidratados de color amarillento, con concreciones de hierro y magnesio, así como alto contenido de materia orgánica en diferentes etapas de descomposición. Además, los análisis de laboratorio indicaron que estos suelos, presentaron textura arcillosa, con estructura granular compuesta y permeabilidad moderada.

En la Figura 2, se observó que, al noreste de la microcuenca, donde las pendientes varían del 6% a más del 10%, existen suelos Alfisols Sub órdenes Udalfs (JE). De la misma figura se tiene que la superficie de la isolínea que encierra este tipo de suelo, según la Tabla 13, es del 11.86% del área total de investigación.

En campo se comprobó de forma visual y táctil (A-3, Figura 22) que los suelos presentan una textura arcillosa, con actividad biológica bastante activa, evidenciada con la presencia de lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*), siendo estos organismos del suelo muy valiosos y

necesarios en los sistemas agrícolas de la zona. Además, se observó que a 20 centímetros de profundidad se produjo un cambio de color del suelo de pardo oscuro a pardo amarillento.

Con base en el análisis de laboratorio se determinó que estos suelos son de textura arcillosa, con estructura granular compuesta y permeabilidad moderadamente lenta.

Tabla 13. Orden de Suelo en la microcuenca Mancotal-2019

Orden Taxonómico	Km2	Área (%)	Área respecto al
Alfisols (Udalts)	4.41	11.86	0.003
Ultisols (Humults)	32.76	88.14	0.03
	37.17	100	

Fuente: Elaboración propia.

6.6. Uso actual del suelo

El uso de los suelos para la agricultura en las cuencas hídricas, es parte esencial en el manejo de los recursos naturales. Podemos decir que es la base de sustentación de la conservación y sostenibilidad de los demás recursos básicos como: la tierra, el bosque y el agua. Figura 9.

Del área total (37.17 Km²) de la microcuenca Mancotal, se determinó que el 25.0% está dedicado al cultivo de café con sombra, generalmente asociado con musáceas, principal rubro de producción, 11.8% son suelos dedicado a las actividades agrícolas en su mayoría de subsistencia, 32.1%, corresponden a los bosques latifoliados que desempeñan un papel muy importante en la protección del suelo y el agua, 7.5% de pasto distribuido de forma dispersa, 23.5% pasto con árboles dispersos y una proporción pequeña del 0.1% son áreas pobladas (Tabla 23).

Es relevante mencionar que el río Mancotal es uno de los principales efluentes de la presa hidroeléctrica Centroamérica, una de las más importantes del país. Sus inclinadas pendientes la vuelven vulnerable a la degradación en su parte superficial por efectos erosivos del agua, pues recibe aportes promedios anuales de lluvia que oscilan de 1 234.6 mm a 1 866.5 mm (A-3, Tabla 19).

El mapa de uso del suelo en la micro cuenca determina que el 11.8 % dedicado actualmente a la agricultura, está causando un impacto desfavorable sobre el cambio acelerado de la vocación del suelo, ocasionando una amenaza que debe ser atendida, ya que ocasiona alto riesgo de erosión de la microcuenca. Esta actividad según el mapa tiene un avance acelerado del área media hacia el área de captación que podrá ocasionar un incremento en las pérdidas de suelo.

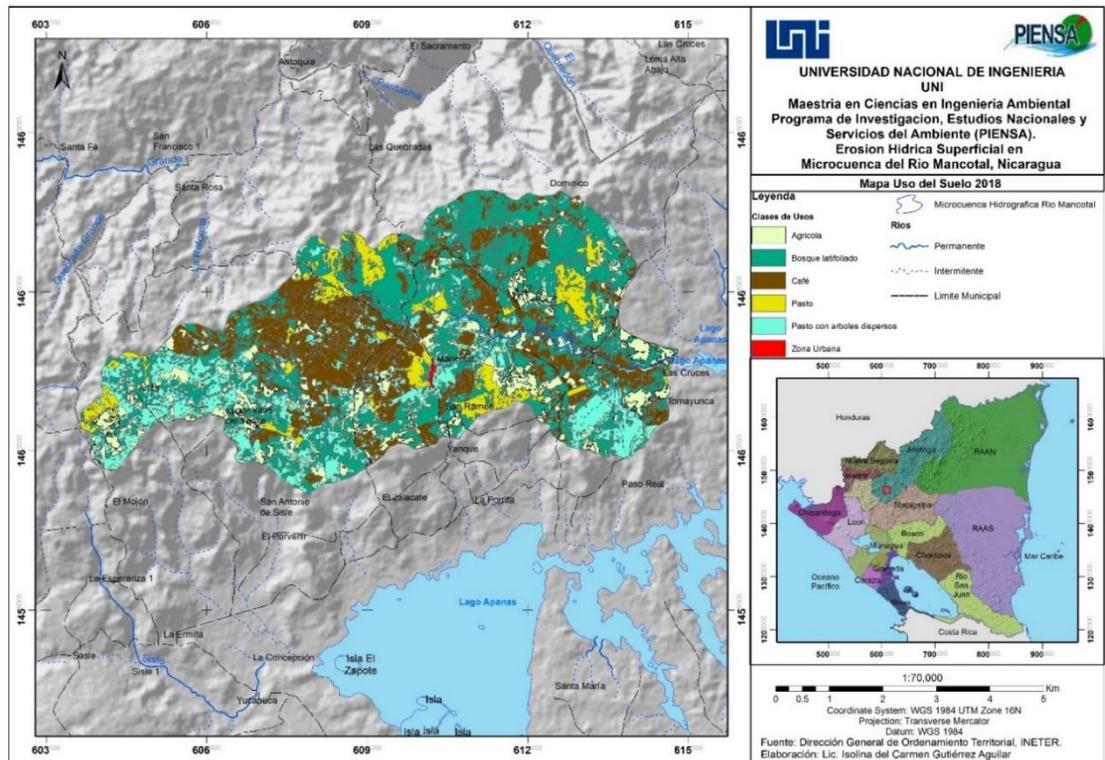


Figura 9. Mapa Uso de Suelo 2018. Fuente: Elaboración Propia

En estudio similar en la microcuenca las Canoas en San Juan de Cinco Pinos y San Pedro de Potrero Grande, se obtuvo erosión potencial entre los 25 a 50 ton/ha/año por el cambio del uso del suelo en pendientes superiores a los 45 % en la zona de captación según (Torres, 2020).

6.7. Factor erodabilidad del suelo (K)

Los resultados muestran que los suelos varían en susceptibilidad a la erosión. Suelos con alto contenido de arcilla tienen bajo valor de erodabilidad (K) por ser resistentes al

desprendimiento. La materia orgánica del suelo disminuye el valor de K, porque produce compuestos que mantienen unidas las partículas del suelo e incrementa su agregación, reduciendo la susceptibilidad al desprendimiento por el impacto de la gota de lluvia y al escurrimiento superficial.

Tabla 14. Resultado de laboratorio de las muestras de suelo de la microcuenca Mancotal.

Cod	Orden de Suelo	Estructura	Permiabilidad	% Arena muy fina (63 Nm)	Partículas			% Limo Total	% Arcilla	Clase Textura
					% Arena Total	Limo Grueso	Limo Fino			
826	Alfisol	Granular compuesto	Moderadamente lenta	0.29	10.75	3.44	25.8	29.24	60.01	Arcilloso
827	Ultisol	Granular compuesto	Moderada	0.611	22.47	7.04	27.34	34.38	43.15	Arcilloso

Fuente: Elaboración propia.

El resultado del laboratorio permitió usar el Nomograma para obtener la primera aproximación del factor K. La vulnerabilidad de las partículas del suelo producto del golpe de la gota de lluvia, para ser desprendida depende en gran medida de la preparación del suelo, el sistema radicular, humedad del suelo y de la cobertura. Este factor tiene una fuerte influencia en la infiltración y del desprendimiento de las partículas y transporte, esto define la erodabilidad o resistencia del suelo a la erosión, según (Hausenbuiller R.L., 1972)

Con la ecuación (8) se resolvió con el nomograma, utilizado para obtener los cálculos en cada sitio muestreado.

Tabla 15. Valores de los cinco parámetros para determinar el Factor K.

Cod	Tipo de suelo	Clase Textura	Código		Químico MO (%)	Granulometría Partículas			K T/ha-año/MJ-mm/ha-h
			Estructura	Permeabilidad		% Arena muy fina (63 Nm)	% Limo Total	% Arcilla	
826	Alfinsols	Arcilloso	3	4	5.62	0.29	29.24	60.01	0.010
827	Ultisols	Arcilloso	3	3	4.97	0.611	34.38	43.15	0.020

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 10 se muestran los resultados del factor K, donde se evidencia la distribución espacial del tipo de suelo, textura y contenido de materia orgánica de la cuenca.

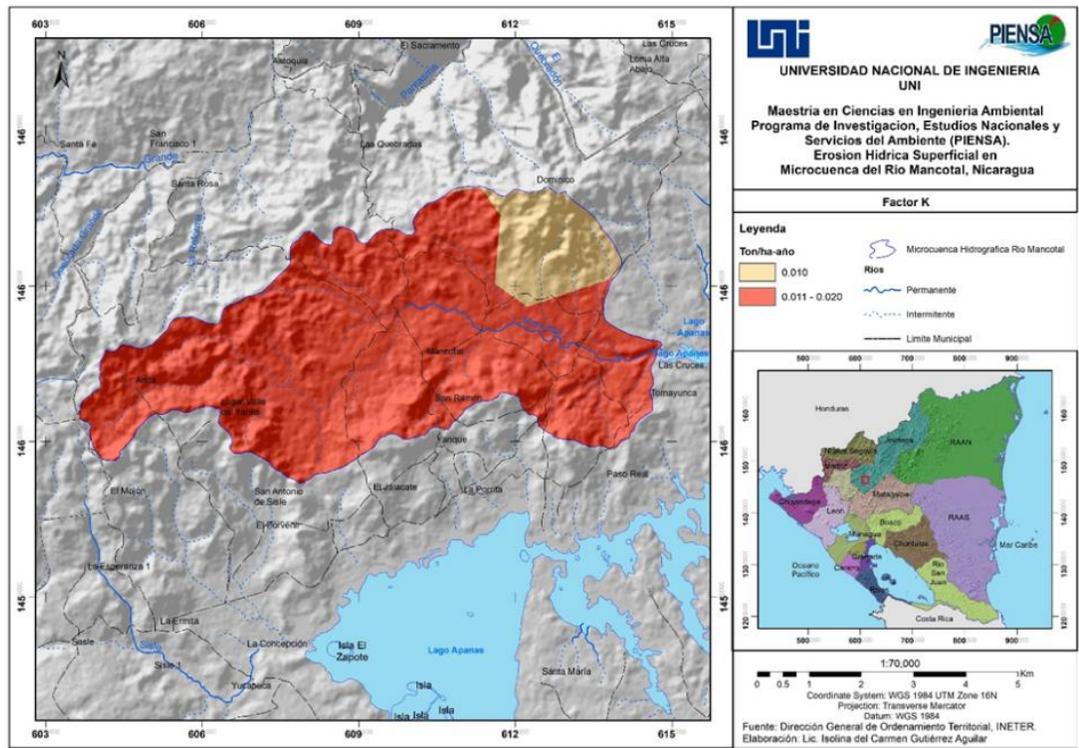


Figura 10. Mapa del factor de erodabilidad (K) del suelo en la microcuenca de Mancotal. Fuente: Elaboración Propia.

Los valores mínimos de 0.01 t/ha/año se localizaron en la parte noreste, donde predominaron los Udalfs (JE) que presentaron un horizonte superficial con alto contenido de materia orgánica (5.62%) y baja susceptibilidad a los procesos de degradación. Sin embargo, el alto contenido de arcilla y menor contenido de limos los hace menos susceptibles a la erosión.

Los valores predominantes de 0.02 t/ha/año, corresponden al Humults (HB) con menor contenido de materia orgánica (4.97%), en el horizonte superficial, suelos que fueron comunes en áreas de bosque tropical húmedo en los que se acumulan hojarasca en distintas etapas de descomposición. Sin embargo, el menor contenido de arcillas y mayor contenido de limos los hace más susceptibles a la erosión.

6.8. Factor Longitud de pendiente y factor de inclinación (LS)

De la aplicación del algoritmo de McCool, resultó que en la cuenca se tiene pendientes de 5% hasta más del 10%, concordante con estas pendientes los valores de LS oscilaron entre 0.0 y superior 14 en la cuenca (Figura 11), por tal razón es probable que ocurran erosiones altas en las partes elevadas y erosiones media a moderada de la microcuenca en concordancia con el valor del factor LS. La microcuenca se caracterizó por pendientes (5%-15%) y valores LS moderados.

Según Cervantes, (1999), manifiesta que “los efectos de los escurrimientos superficiales están relacionados a la longitud y gradiente de la pendiente”, y que el efecto del incremento del volumen de agua que escurre pendiente abajo a medida que aumenta la gradiente, crece proporcionalmente el peligro de la erosión, debido a que el agua correrá más rápidamente sobre la superficie puede ser reducido cambiando en el uso y manejo del suelo.

De tal forma que en la microcuenca de Mancotal el cambio de la vocación de uso forestal está siendo remplazado por un uso agrícola, lo que favorece el peligro de erosión superficial en la zona de captación.

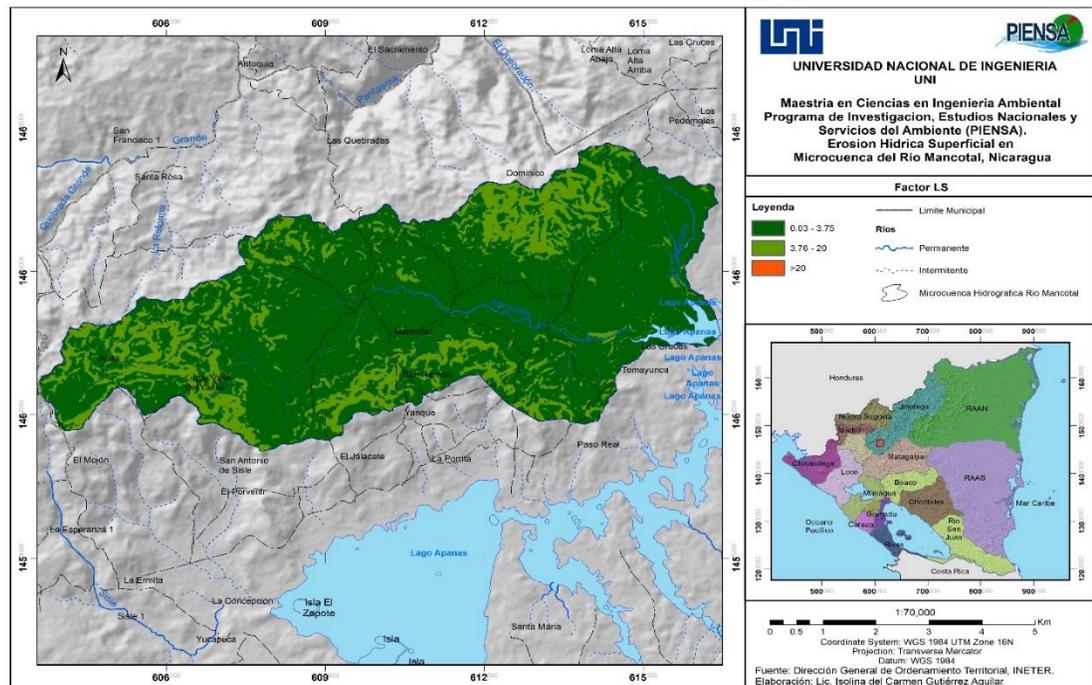


Figura 11. Mapa del factor LS, longitud y pendiente del suelo en la microcuenca de Mancotal. Fuente: Elaboración Propia.

6.9. Factor cobertura vegetal (C).

Se revisaron diversas fuentes para hacer corresponder distintos valores del factor vegetación (en la Tabla 16 y Figura 12). Estas muestran que de NE al SE de la cuenca sobresalen los bosques latifoliados con un valor de 0.001, dato válido para áreas boscosas. Según Escobar, (2008), citando a Wischmeier & Smith (1978), esto se debe a la “cobertura y profundidad del dosel arbóreo”. La cobertura vegetal de café con sombra se le asignó un valor de 0.09 (FAO, 1989) y para la parte media, donde predomina la agricultura con un valor C de 0.21. Con base en la cobertura que se obtuvo, este factor tomó valores de 0.001 hasta 0.21.

Tabla 16. Valores asignados del Factor C y Factor P.

Uso de Suelo	Factor C	Factor P	Área (km ²)
Agrícola	0.21	0.30	4.89
Café	0.09	1	9.49
Bosque latifoliados	0.001	1	12.79
Pastos con árboles dispersos	0.005	1	6.99
Pasto	0.005	1	2.97
Zona Urbana	-	-	0.04
			37.17

Fuente: Elaboración propia.

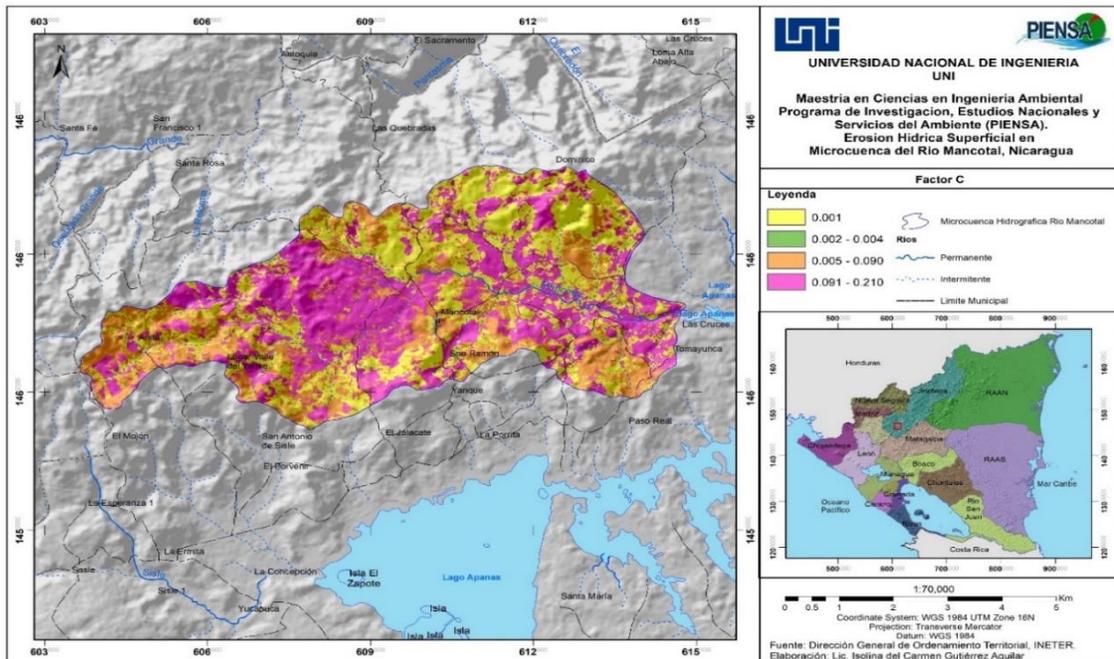


Figura 12. Mapa del factor C, cobertura y manejo de la vegetación en la microcuenca del río Mancotal.

Fuente: Elaboración Propia

En el mapa de cobertura se observó que la microcuenca Mancotal se encuentra protegida por una cobertura de bosque latifoliados, café y árboles dispersos, como se muestra en el mapa de uso actual (Figura 9). Sin embargo, el cambio de la capacidad de uso de la tierra se debe a que los productores están sometiéndola a cultivos limpios como maíz, frijol, hortaliza y pasto que están afectando el 11.8 % y 7.5% del área total de la microcuenca, respectivamente, lo que indica que los riesgos de erosión superficial en un futuro serán drásticos, si no se revierte la tendencia actual de uso de la tierra.

6.10. Factor prácticas de conservación de suelos (P).

Este resultado se adapta a los sistemas de producción mixtos o a aquellos donde se emplean cultivos densos y otros de escarda. El objetivo, es disminuir la velocidad del agua de escurrimiento a través del obstáculo que representan las fajas de los distintos cultivos (Denoia, 2007).

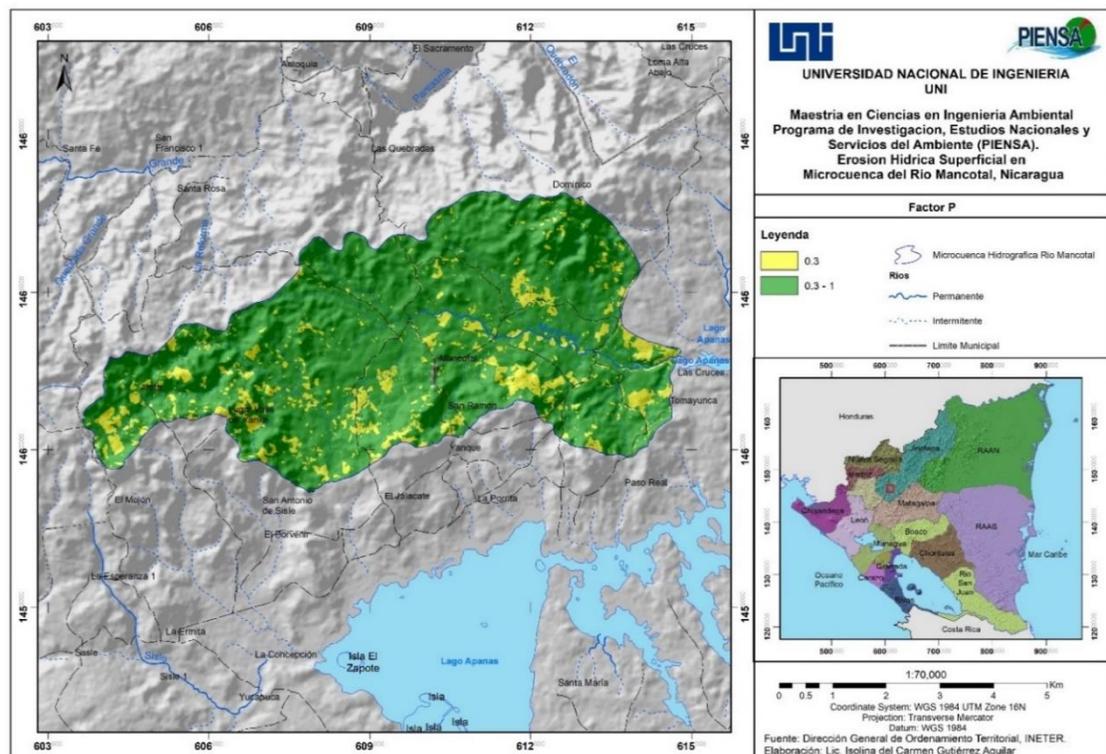


Figura 13. Mapa del factor P: Prácticas de conservación del suelo en la microcuenca de Mancotal. Fuente: Elaboración Propia

Del área total de la microcuenca, el 11.8 %, está dedicada de forma aislada a la agricultura de subsistencia (Figura 13 y Tabla 16), con pocas prácticas de conservación de suelo, con un valor de $P=0.30$. También es importante mencionar que el 88.2 % del área de investigación en la actualidad tiene un valor de $P=1$, lo que significa que no se aplican las prácticas de conservación de suelo por estar ocupadas por bosque, pasto y árboles dispersos. Por tanto, los agricultores como los líderes comunales, deberán establecer los sistemas agrícolas con técnicas conservacionistas que eviten la erosión, de tal forma que haciendo uso del mapa de LS (Figura 11) se deberán establecer los cultivos en fajas, según la Tabla 5.

6.11. Erosión potencial

Con los elementos que conforman la RUSLE, se realizó el cálculo de los factores naturales. Sin considerar los componentes antrópicos (provocados por el hombre) para obtener la erosión potencial como lo indica la ecuación universal de la pérdida de suelo, se obtuvieron tres niveles de riesgo de la erosión potencial, de acuerdo con los límites mostrados en la Tabla 6 y Figura 14, (INETER - COSUDE, 2005). Esta clasificación se efectuó con la finalidad de representar el efecto que ha tenido la erosión hídrica en el área y para identificar rápidamente las zonas más afectadas.

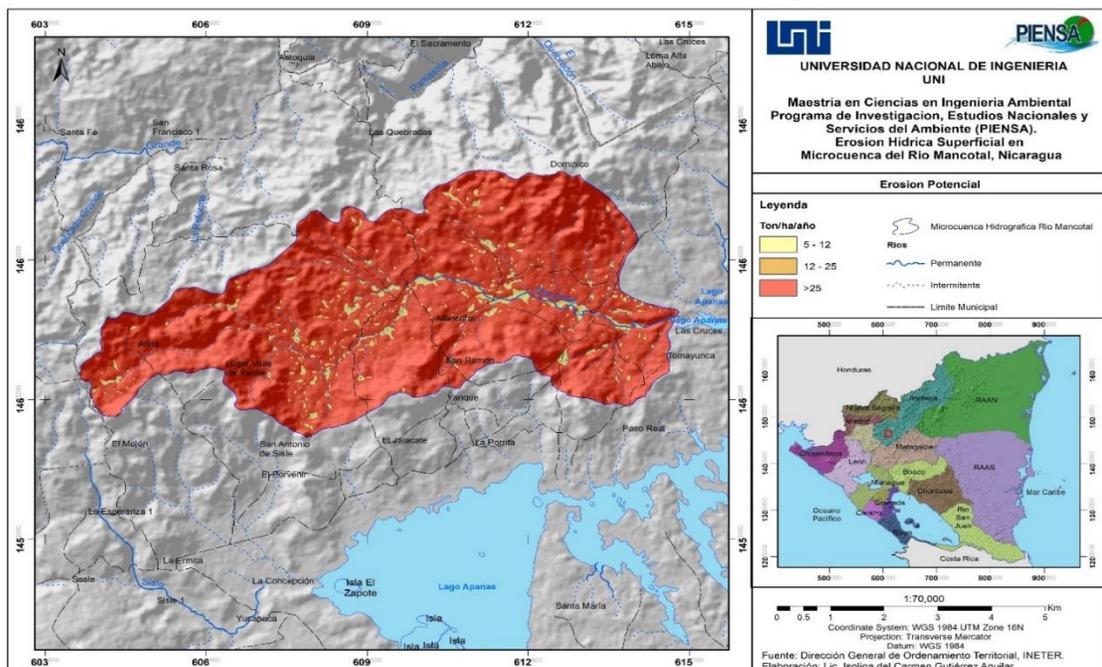


Figura 14. Mapa de erosión potencial del suelo en la microcuenca de Mancotal.

Fuente: Elaboración Propia

Considerando la clasificación citada, se observó que el 94.46% de la superficie de la microcuenca, presentó una erosividad potencial alta, con valores superiores a 25 t/ha/año, mientras que el 0.06% mostró un área muy pequeña de la erosión potencial media con valores que oscilaron de 12 a 25 t/ha/año y erosión potencial baja entre 5 a 12 t/ha/año, representando el 5.48% dentro del rango de tolerancia permisible y propuesta por Wischemeier y Smith.

6.12. Erosión Actual

La pérdida actual del suelo se estimó al considerar el producto de los factores (R, K, LS, C, P) que conforman la RUSLE; se generó el mapa de la erosión actual, observando que en el 78.4% de la superficie de la microcuenca, predominó una erosión actual baja de 12 t/ha/año, mientras que en el 21.6% del área se presenta erosión actual alta de 13 a 86 t/ha/año, (Tabla 6 y Figura 15).

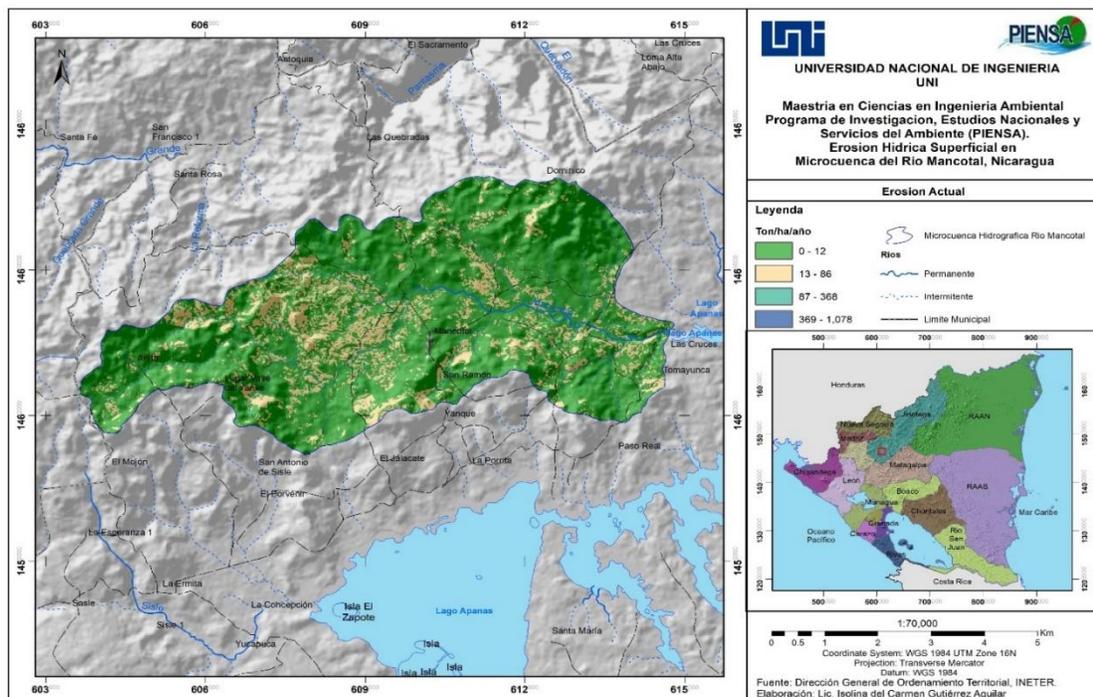


Figura 15. Mapa de erosión actual del suelo en la microcuenca de Mancotal.

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos son congruentes con los del estudio de erosión de Galeano (2008) en la Microcuenca Las Mercedes, subcuenca del río Jigüina-Jinotega, efluente del lago de

Apanás, con cantidades similares de precipitación, presentó pérdidas de suelo, en parcelas de café, que oscilaron de 50 a 200 t/ha/año.

La erosión actual que se observó en la Microcuenca Mancotal podría ser un problema de alto riesgo, debido a que la erosión media anual, según el mapa de uso actual, está cambiando con la pérdida de la vocación forestal por un uso agrícola, lo que aumenta los riesgos de erosión y arrastre de sedimento al embalse de lago de Apanás. Esto quizás ocasione problemas de contaminación por productos químicos del mismo suelo, al incrementar el uso agrícola del suelo.

6. 13 Limitaciones del estudio

Debido a que esta investigación se desarrolló con recursos propios de la tesista, no fue posible realizar la validación de los factores que conforman la Ecuación Universal Revisada de la Pérdida de Suelo (RUSLE) en el área de estudio.

VII. Conclusiones.

En la investigación realizada se encontró que el 78.4% de la microcuenca Mancotal, presentó una erosión actual baja de 12 t/ha/año y un 21.6% con erosión alta de 13 a 86 t/ha/año. También se estimó que el 94.46% de la superficie de la microcuenca, mostró una erosión potencial alta superior a 25 t/ha/año. Ambos resultados exceden a la tolerancia propuesta por Wischmeier y Smith, a causa del cambio de uso de suelo con vocación forestal, pues se demostró que el 11.8 % del área de la cuenca está sufriendo cambios bruscos por una agricultura de subsistencia.

También se comprobó que el uso de técnicas de conservación de suelo es nulo, conduciendo a que la preparación del suelo en pendientes mayores de 14 % pueden incrementar bruscamente los riesgos de erosión superficial, afectado el desprendimiento y transporte de sedimento al embalse de Apanás.

Además, se determinó que el valor de erosividad obtenido por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y los valores de Índice Modificado de Fournier (IMF) tienen una relación de $r^2 = 0.652$, lo que demuestra que se puede estimar la erosividad utilizando el IMF.

VIII. Recomendaciones.

Los resultados del estudio sugieren que se debe diseñar un plan integral de conservación de suelo y agua que contribuya a mitigar los riesgos de erosión por efecto de la agricultura migratoria en la microcuenca del río Mancotal.

Este plan deberá elaborarse en forma participativa, interinstitucional y multisectorial con el propósito de contener el cambio del uso del suelo en la microcuenca.

Una vez completado y puesto en práctica este plan, debe continuarse la investigación para valorar el impacto del plan de conservación de suelo y agua en la zona.

X. Bibliografía

- A. Demirci, A. K. (2012). Estimación de la erosión del suelo utilizando RUSLE en un marco SIG: un estudio de caso en la cuenca del lago Buyukcekmece, noroeste de Turquía. *Environmental Earth Sciences, Volumen 66, Número 3*, páginas 903-913.
- Albaladejo. (1987). *Geografía. El medio físico y los recursos naturales*. Barcelona, España: Crítica.
- Arnoldus, H. (1977). Metodología utilizada para determinar la pérdida de suelo anual promedio máxima potencial debido a la erosión de la hoja y el surco en Marruecos. *Boletín de suelos de la FAO, 34*, págs. 39 - 48.
- Ayesta, S. M. (1994). *Apuntes de Hidrología de Superficie*. Managua, Nicaragua: Printart.
- Burpee. (1972). Las lluvias en América Central: Una Climatología Geográfica. *Anuario de Estudios Centroamericanos año 2001, Vol. 27, número 002*.
- Caballero, Y. (2016). Estimación de la erosión y sedimentación en la subcuenca del Embalse Apanás - Asturias usando radioisótopos (¹³⁷Cs y ²¹⁰Pb). *Agua y Conocimiento*.
- Castelán Vega R, et al. (2014). Agresividad de las precipitaciones en la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía UNAM Volume 2014, Pages 28-40*.
- CEC - Commission of the European Communities. (1992). *CORINE soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community*. Commission of the European Communities. Luxembourg: Autor.
- Cervantes. (1999). *Disminución de la esorrentía superficial debido a variaciones en el uso del suelo. Proyecto de graduación – Ingeniería Civil*. San José, Costa Rica: Autor.
- COSUDE. (2003). *Análisis de riesgos naturales en el municipio de Jinotega*. Managua, Nicaragua: Autor.
- DD Alexakis, D. H. (2013). Uso integrado de datos de teledetección, SIG y precipitación para la evaluación de la tasa de erosión del suelo en el área de captación de "Yialias" en Chipre. *Atmospheric Research, Volumen 131*, páginas 108-124.
- DK McCool, L. B. (1987). Factor de pendiente revisado para la ecuación universal de pérdida de suelo. *Trans, ASAE, 30*, 1387-1396.
- Escobar, G. A. (2008). *Apuntes docentes: Uso y conservación de suelos: Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal*. Santiago, Chile: Autor.

- F. Shabani, L. K. (2014). Mejora de la predicción del factor USLE K. *Journal of Geomorphology*, 201 (1), págs. 229 - 234.
- FAO. (1978). *Erosión del suelo por el agua*. Roma, Italia: Autor.
- FAO. (2015). *Guía de campo para una evaluación rápida de las funciones protectoras del bosque en materia del suelo y el agua*. Roma, Italia: Autor.
- FAO. (2016). Estado mundial del recurso suelo. Roma, Italia: Autor.
- FAO. (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales*. Bogota, Colombia: Autor.
- Gabriels, D. V. (2003). Assessment of rain erosivity and precipitation concentration in Europe. En D. a. Gabriels, *Proceeding of the International Symposium 25 Years of Assessment of Erosion* (págs. 87-92). Belgium: Ghent.
- Galeano Roa, C. J. (2008). Evaluación de erosión actual a escala de parcela y subcuenca para tres agroecosistemas con café, Río Jigüina - Jinotega. *Tesis Ingeniería*. Universidad Nacional Agraria, UNA, Managua, Nicaragua, Nicaragua.
- Ganasri y Ramesh. (2016). Evaluación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE mediante teledetección y SIG: un estudio de caso de la cuenca Nethravathi, India. *Fronteras de la geociencia Volumen 7, Número 6*, páginas 953-961.
- Gelagay y Minale. (2016 aa). Estimación de la pérdida de suelo utilizando SIG y técnicas de teledetección: un caso de la cuenca de Koga, en el noroeste de Etiopía. *Investigación internacional de conservación de suelos y aguas*, páginas 126-136.
- Gisbert Blanquer, J. M. (2011). <https://riunet.upv.es>. Obtenido de (<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12868/Ultisoles.pdf>)
- Hausenbuiller R.L. (1972). Soil science Principles and practices. *Washington State University*, Ed. VI pag. 389.
- INETER - COSUDE. (2005). *Recomendaciones Técnicas para la Elaboración de Mapa de Amenaza por Erosión Hídrica*. Managua, Nicaragua: Autor.
- INETER. (1998). *Catálogo de Estaciones Meteorológica de Nicaragua*. Managua, Nicaragua: Autor.
- INETER. (2015). *Mapa de Suelos de la República de Nicaragua*. Managua, Nicaragua: Autor.
- INETER. (2019). *Manual de procedimientos*. Managua, Nicaragua: Autor.
- INETER, A. U. (2014). *Cuencas Hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter*. Managua, Nicaragua: Autor.

- INIDE. (2005, 2017). *Instituto Nacional de Información de Desarrollo, Dirección de Estadísticas Continuas. Estimación y Proyecciones de Población, Revisión (2005, 2017)*. Managua, Nicaragua: Autor.
- Jordán, A. y. (2000). Cartografía de la Erosividad de la lluvia estimada a partir de registros pluviométricos mensuales en el campo de Gibraltar (Cádiz). *Edafología Volumen 7-3*, 83-92.
- Kashani, M.H., & Dinapashoh, Y . (2012). Evaluation of efficiency of different estimation methods for climatological data. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 26(1), 59-71.
- Kheir et al. (2008). Evaluación de la erosión del suelo en los paisajes kársticos mediterráneos del Líbano utilizando la teledetección y los SIG. *Engineering Geology* , 99, págs. 239 - 254.
- Kirkby, M. a. (1980). *Erosión del suelo*. México D.F: Limusa.
- Kothyari et al. (1994). Predicción del rendimiento de sedimento. *Ingeniería de Riego y Drenaje*, pp. 1122 - 1131 mil.
- Kumar, P. R. (2012). Enfoque integrado de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) y el sistema de información geográfica (SIG) para la evaluación del riesgo de pérdida de suelo en el sur del sur de la Cuenca Koel, Jharkhand. *Revista del Sistema de Información Geográfica* , 4 (6), pp. 588 - 596.
- Lee, J.-H. H. (2011). Evaluación de los métodos de estimación de la erosividad de la lluvia basados en la precipitación anual en Corea. *Journal of hidrología* , 409 (1-2), pp. 30 - 48.
- MARENA. (2017). *Estudio de las causas de la deforestación y la degradación forestal Nicaragua. La problemática de las existencias de carbono forestal en el marco de la estrategia -ENDE-REDD+NICARAGUA*. Managua, Nicaragua: Autor.
- Montes M. A., E. M.-C. (2011). Mapa de Erosión Potencia. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol II., 5-17.
- Novák, Z. (2003). *Investigaciones de Riesgos Naturales en los alrededores de la Ciudad de Jinotega*. Managua, Nicaragua: Autor.
- OMM. (2006). *El clima y la degradación de las tierras*. Suiza: Autor.
- OMM. (2011). Guía de prácticas climatológicas. *OMM-N°100*. Ginebra, Suiza: Autor.

- ONU. (2015). *Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Perú: Autor.
- Pagney. ((1976)). Las lluvias en América Central: Una Climatología Geográfica. *Anuario de Estudios Centroamericanos año 2001, Vol. 27, numero 002*, 07-19.
- Park et al . (2011). Riesgo de erosión del suelo en cuencas hidrográficas coreanas, evaluado utilizando la ecuación universal revisada de pérdida de suelo. *Revista de hidrología*, 263 - 273.
- Pedraza, V. (2015). Estimación de la erosión hídrica mediante dos métodos de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) de la cuenca del río Chapingo, Texcoco. *Tesis Lic.* Universidad Autónoma del estado de México, México.
- PJJ Desmet, G. G. (1996). Un procedimiento SIG para calcular automáticamente el factor USLE LS de paisaje topográfico complejo. *J. Conserv de agua del suelo.* ,51, 427- 433.
- Renard, e. a. (1997). *Predicción de la erosión del suelo por el agua: una guía para la planificación de la conservación con la ecuación universal revisada de pérdida de suelo (RUSLE).* Manual de Agricultura N°703. Washington D.C: (USDA).
- Reusing et al. (2000). Modelando las tasas de pérdida de suelo en las tierras altas de Etiopía mediante la integración de datos de alta resolución MOMS-02 / D2-Streao en un SIG. *Revista Internacional de Teledetección* ,.
- Riehl. (1945). Las lluvias en América Central: Una Climatología Geográfica. *Anuario de Estudios Centroamericanos año 2001, Vol. 27, numero 002*, 07-19.
- Rita Y, S. H. (2011). Estudio de la erosión de los suelos en áreas protegidas de Cienfuegos, utilizando el cesio 137 como radiotrazador. *Ciencias Nucleares*, N°50, 31.
- Rivera, P.J.H. y A.A. Gómez. (1991). Erosividad de las lluvias en las zonas cafeteras central Colombiana (Caldas, Quindio y Risaralda). *CENICAFE*,42 (2), pp. 37-52.
- Rosse, E. e. (1977). *Uso de la ecuación universal de pérdida de suelo para predecir la erosión en África occidental"*, en *Erosión del suelo: predicción y control*, Actas de la Conferencia Nacional sobre Erosión del Suelo , Soil Conservation Society of America. Iowa: Ankeney pp. 143-151.
- Shamshad, M. A. (2008). Desarrollo de un procedimiento apropiado para la estimación del índice RUSLE EI30 y preparación de mapas de erosividad para Pulau Penang en Malasia peninsular. *CADENA Volumen 72, Número 3*, páginas 423-432.

- Soutter M., M. y. (Ingeniería de aguas y suelos de 2007). *Ingénierie des eaux et du sol processus et aménagements. Presse polytechniques et universitaires romandes.*
- Torres, J. Y. (2020). Canoas en San Juan de Cinco Pino y San Pedro de Potrero Grande-Chinandega. *Tesis Ingeniería.* Universidad Nacional Agraria (UNA), Managua, Nicaragua.
- Toruño, P. j. (2007). Experiencias nacionales de Nicaragua en el manejo de erosión hídrica en laderas mediante sistemas agroforestales. *Tecnología en marcha*, 56-63.
- Wischmeier & Smith. (1978). *Predicción de pérdidas por erosión por lluvia: Una guía para la planificación de la conservación.* Manual de Agricultura No. 537 USDA. Washington DC, Estados Unidos de América: Autor.
- Zemenu y Minale. (2014). Adopción de prácticas de conservación del suelo en el distrito de North Achefer, noroeste de Etiopía . *Journal of Population Resources and Environment*, 261 - 268.

XI. Anexos

A-1 Glosario

1.- Cultivo en contorno

Es una práctica que consiste en labrar el terreno, hacer surcos y sembrar el cultivo en dirección perpendicular a la pendiente, siguiendo las curvas a nivel. Es común en suelos con ligeras pendientes.

Sus principales objetivos son:

- Reducir la velocidad del escurrimiento superficial.
- Aumentar la infiltración.
- Reducir la erosión.
- Evitar la formación de surcos y cárcavas.

El cultivo en contorno se recomienda para terrenos planos. Si la pendiente es mayor, esta práctica debe complementarse con otras, como la construcción de terrazas de base ancha.

2.- Agricultura itinerante

¿Qué es y quién la practica?

La agricultura nómada, también conocida como agricultura itinerante, se refiere a la técnica de cultivos rotativos en la que se abren claros para ser cultivados (normalmente con fuego), y que después se dejan regenerar transcurridos unos pocos años. Gobiernos de todo el mundo han tratado de erradicar este tipo de agricultura, a la que a menudo se denomina despectivamente de “roza y quema”, debido a una creencia errónea de que conduce a la deforestación.

A-2 Leyes y Normativas

El marco legal y normativas nicaragüense.

Sistematización del marco legal y normativo existente que respalda las iniciativas de manejo de erosión hídrica en laderas, mediante sistemas agroforestales en Nicaragua El marco legal y normativo nicaragüense cuenta con leyes, reglamentos de ley y normativas que rigen los recursos naturales. Dentro de este, podemos citar los instrumentos legales relacionados con conservación de suelos:

N°. de la Norma	¿Qué establece?	Fecha de La Gaceta	N° de La Gaceta
Decreto 25 - 2001	Política Ambiental y Aprueba el Plan Ambiental de Nicaragua 2001-2005	2/3/2001	44
Decreto 50 - 2001	Política de Desarrollo Forestal de Nicaragua	11/5/2001	88
Decreto 107 - 2001	Política Nacional de los Recursos Hídricos	7/12/2001	233
Decreto 90 - 2001	Política General para el Ordenamiento Territorial	7/2/2002	4
Resolución Ministerial Marena N°033-2004	Política sobre Gerencia de proyectos con financiamiento externo del Ministerio del Ambiente y los Recursos naturales	17/9/2004	181
Resolución Ministerial N°27 - 2002 Marena	Estrategia Nacional de Biodiversidad y su Plan de Acción	20/8/2002	156
Resolución Ministerial N° 45	Plan de Desconcentración de la Gestión Ambiental del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) 2004-2007	15/10/2004	201

(Toruño, 2007)

Las normas jurídicas ambientales relacionadas con conservación de suelos:

- a) Ley N.° 217, Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales; Reglamento, el Decreto 9-96.
- b) Decreto 1308, Ley de Protección de Suelos y Control de la Erosión.

Las normas jurídicas sectoriales relacionadas con conservación de suelos:

- a) La Ley N.° 462, Ley de Fomento y Desarrollo Sostenible del Sector Forestal
- b) La Ley general de aguas, aprobada en lo general por la Asamblea Nacional.

Las normas jurídicas orgánicas e institucionales relacionadas con conservación de suelos:

- a) La Ley N.° 40, Ley de Municipios.

b) La Ley N.° 290, Ley de Organización, Competencias y Procedimientos del Poder Ejecutivo y su Reglamento.

c) La Ley N.° 475, Ley de Participación Ciudadana

Toda la reglamentación existente es una base sobre la cual se pueden crear normas técnicas ambientales para el manejo de la erosión hídrica en laderas, tomando en consideración aspectos sobre ordenamiento territorial y enfoque de cuencas.

A-3 Fotografías, gráficas y tablas complementarias



Figura 16. Instrumentos recolectores de la precipitación

Pluviómetro (izquierda) medidor.
Pluviógrafo (derecha) registrador.



Figura 17. Observador meteorológico cambia Pluviógrafo 07:00:00 am

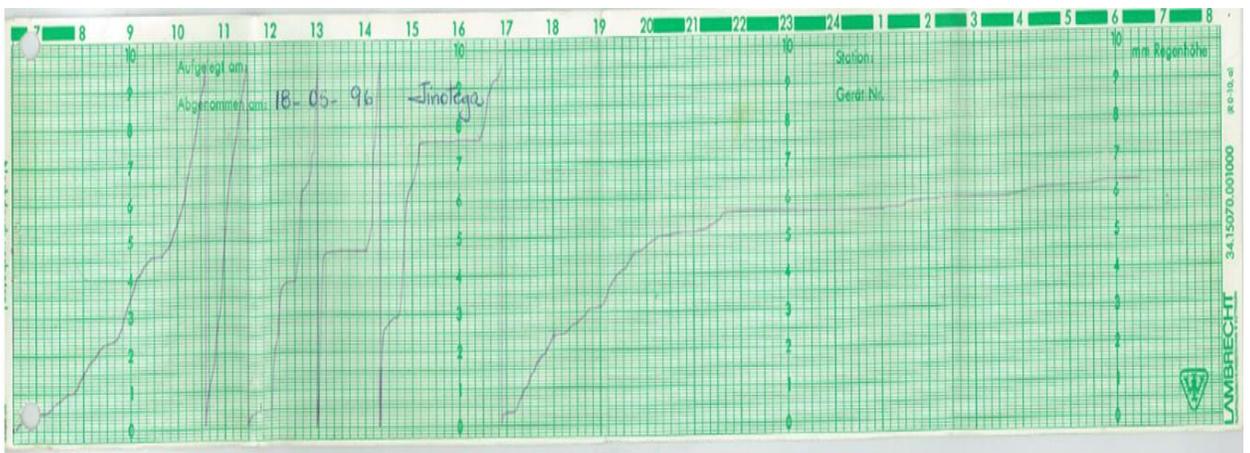


Figura 18. Pluviogramas de la estación meteorológica de Jinotega, correspondiente al día 18 de mayo de 1996.



Figura 19. Los Pimpe Mancotal, Jinotega 25/08/2019



Figura 20. Los Pimpe Mancotal, Jinotega 25/08/2019



Figura 21. El Yankee, Mancotal Jinotega 25/08/2019



Figura 22. El Yankee Mancotal Jinotega 25/08/2019



Figura 23. El Yankee Mancotal Jinotega 25/05/2019

El resultado del laboratorio permitió usar el Nomograma para obtener la primera aproximación del factor K.

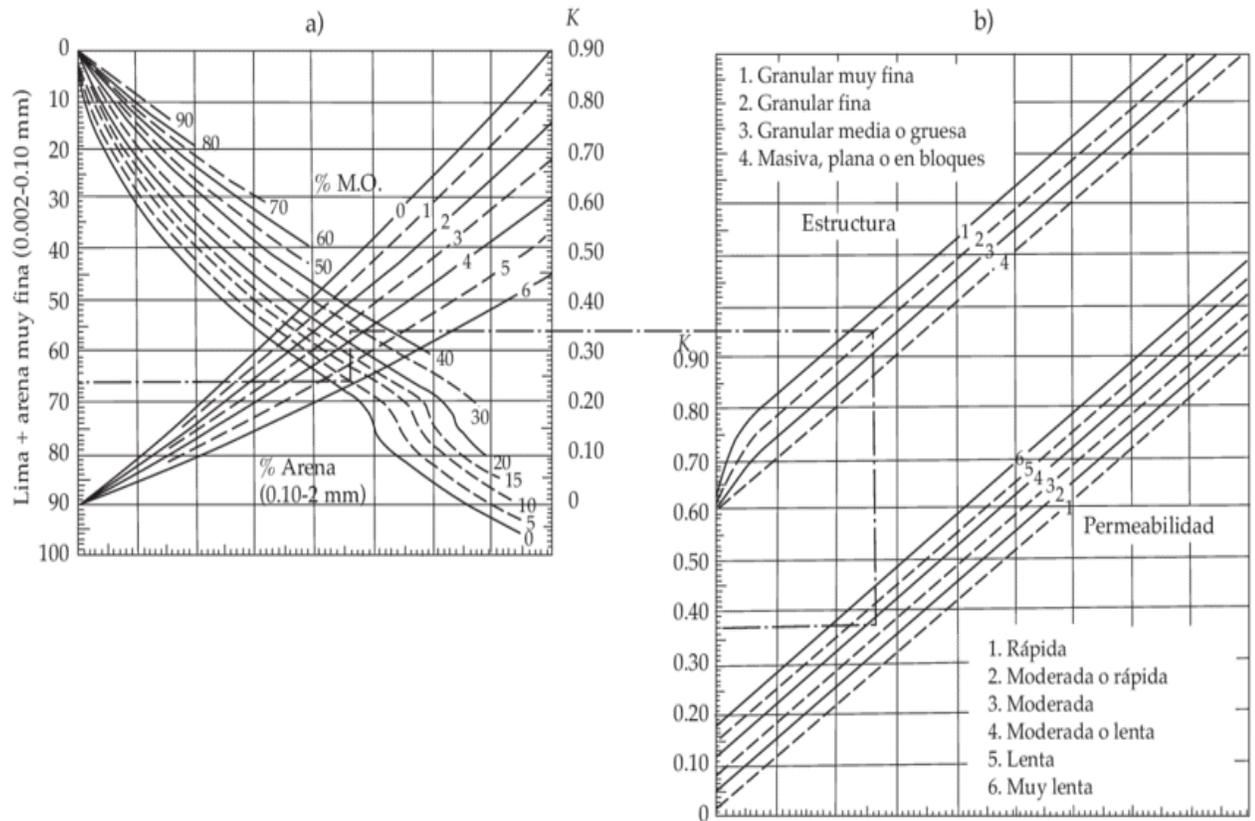


Figura 24. Nomograma de Wischmeier y Smith para el cálculo del factor K, (Renard, 1997)

Tabla 17. Estaciones representativas del área de Investigación.

Código	Estación	Municipio	Latitud	Longitud	Altitud	Tipo
45015	San Sebastián	San Sebastián de	13° 18' 18"	86° 11' 00"	880	PV
45018	Las Praderas	Santa María de	13° 20' 54"	85° 56' 48"	415	PV
55001	Corinto Finca	Jinotega	13° 10' 11"	85° 53' 00"	1070	PV
55006	Los Robles	Jinotega	13°10' 00"	85° 57' 06"	990	HMO
55019	Mancotal	Jinotega	13°14' 36"	85° 54' 06"	950	HMO
55020	Jinotega	Jinotega	13° 05' 06"	85° 59' 48"	1032	HMP
55041	Los Horcones	San Rafael del Norte	13° 13' 00"	86° 04' 00"	1320	PV
55043	La Porfía	Jinotega	13° 08' 48"	86° 03' 12"	970	HMO
55044	La Porra	Jinotega	13° 15' 12"	85° 59' 12"	1020	PV
69021	San Rafael del	San Rafael del Norte	13° 13' 00"	86° 07' 00"	1078	PV

(INETER, 1998)

Tabla 18. Meses rellenados en las estaciones meteorológicas que presentaron, datos faltantes en el periodo 1996 – 2015.

Código	Estación	Meses con datos rellenados
55001	Corinto Finca	Oct – Dic 1999
55043	La Porfía	Jul – Sept 1999, 2008
55044	La Porra	1999, 2013
69021	San Rafael del Norte	2013

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 19. Precipitación Media Anual de las estaciones seleccionadas (1996 - 2015)

Código	Estación	Precipitación Media Anual
45015	San Sebastián de Yalí	1407.2
45018	Las Praderas	1465.3
55001	Corinto Finca	1663.6
55006	Los Robles	1422.7
55019	Mancotal	1662.0
55020	Jinotega	1245.3
55041	Los Horcones	1866.5
55043	La Porfía	1234.6
55044	La Porra	1534.0
69021	San Rafael del Norte	1352.9

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 20. Estimación del factor de erosividad de la lluvia (R), en la estación de Jinotega, durante las tormentas acaecida en los años 1996 a 1998.

Fecha		Duración	Precipitación Total de la tormenta	Intensidad del intervalo de precipitación	Precipitación total diaria	Intensidad máxima de la tormenta en 30 minutos	$e = 0.119 + 0.873 \log_{10} I$		$E = e^*(Ia)$	$E^* I_{30}$	$R = \sum E^* I_{30}$	
Día	Mes	Años	Horas	$Ia(mm)$	$I(mm/h)$	$P(mm)$	$I_{30}(mm/h)$	si $I < 76 mm/h$	si $I > 76 mm/h, e=0.283$	(MJ/ha)	$(MJ/ha) - mm/h$	$(MJ/ha) - mm/h$
17	5	1996	1.5	21.5	14.3	41.7	19.6	0.220		4.7	92.6	
25	6		3.7	13.0	3.5	36.6	16.4	0.167		2.2	35.6	
27	7		6.8	58.2	8.5	73.7	21.6	0.200		11.6	251.6	2006.9
19	8		1.7	18.7	11.2	27.1	34.0	0.211		3.9	133.9	
18	9		0.7	12.0	18.5	12.3	23.4	0.229		2.8	64.4	
8	10		1.4	57.2	40.4	58.8	96.4	0.259		14.8	1428.8	
1997												
1	6		0.5	10.1	20.2	14.2	20.2	0.233		2.4	47.5	
3	6		1.2	25.8	22.1	35.5	48.4	0.236		6.1	295.1	
30	6		0.7	20.7	29.6	32.0	41.0	0.247		5.1	209.9	
27	7		2.3	14.0	6.0	15.1	16.0	0.187		2.6	41.9	1345.7
7	9		1.2	32.6	27.9	32.8	55.8	0.245		8.0	446.0	
2	10		2.0	28.6	14.3	51.4	48.6	0.220		6.3	305.5	
1998												
1	3		1.2	14.7	12.6	16.0	20.0	0.215		3.2	63.2	
24	5		2.0	10.0	5.0	12.8	11.6	0.180		1.8	20.9	
29	5		4.0	23.7	5.9	39.5	34.0	0.186		4.4	150.2	
7	6		0.8	12.4	14.9	14.5	19.6	0.221		2.7	53.8	
16	6		2.0	26.1	13.1	27.0	19.6	0.216		5.6	110.6	
28	8		3.0	22.8	7.6	27.0	32.8	0.196		4.5	146.4	1057.1
30	8		2.7	16.2	6.1	27.2	27.6	0.187		3.0	83.7	
1	9		0.8	15.6	18.7	41.8	19.2	0.230		3.6	68.9	
5	9		6.7	45.1	6.8	56.2	16.6	0.191		8.6	143.3	
25	9		1.2	11.6	9.9	21.0	22.2	0.206		2.4	53.0	
16	10		2.0	20.5	10.3	31.4	38.4	0.207		4.2	163.1	

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 21. Cálculo del índice de Fournier modificado para la estación meteorológica Jinotega

$IMF = \sum_{i=1}^{i=12} \frac{P_i^2}{P_i}$	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	SUMA
1996	1.5	0.3	0.1	0.0	35.1	9.0	50.3	37.5	28.4	117.5	33.4	0.4	313.5
1997	0.8	0.4	0.9	0.0	0.0	74.7	7.6	1.4	46.7	27.5	13.6	0.0	173.6
1998	0.1	0.0	0.7	0.0	12.6	8.9	17.1	16.0	53.9	29.2	15.1	2.8	156.5
1999	3.4	3.0	0.1	0.1	4.7	21.9	14.5	9.9	47.1	30.9	1.4	0.2	137.3
2000	1.8	0.4	0.1	0.0	5.6	14.0	7.9	2.3	85.2	19.7	1.4	1.0	139.3
2001	0.6	1.0	0.0	0.0	14.4	6.3	3.7	12.2	19.1	6.7	2.9	0.7	67.7
2002	0.4	0.1	0.4	1.2	15.9	76.3	26.2	9.3	10.3	20.7	5.2	1.2	167.3
2003	1.3	0.1	0.2	0.1	18.6	79.4	9.8	13.2	11.2	5.3	5.5	0.6	145.3
2004	0.8	0.4	0.8	0.6	12.7	19.7	8.2	9.0	44.5	9.0	9.6	0.2	115.3
2005	0.2	0.1	0.1	0.9	15.0	138.4	43.4	35.6	14.9	63.9	3.6	1.1	317.3
2006	1.6	0.5	0.2	0.0	3.4	28.9	32.1	4.2	10.1	25.9	3.5	3.9	114.2
2007	0.2	0.7	0.7	0.1	15.4	11.6	9.9	55.4	73.5	122.8	7.9	1.7	299.9
2008	2.7	0.6	0.2	0.2	57.8	29.3	35.9	7.8	9.0	107.0	0.5	0.6	251.7
2009	0.8	0.6	0.0	0.0	29.1	6.4	30.8	5.6	1.6	11.4	6.4	1.3	94.0
2010	0.2	0.6	0.0	12.0	90.2	31.6	60.0	234.3	132.9	20.9	2.6	0.0	585.3
2011	0.3	0.1	0.0	0.6	17.4	55.8	30.7	37.1	18.0	43.3	1.6	2.2	207.2
2012	3.9	0.6	0.0	1.6	50.5	78.9	6.8	8.7	5.0	19.7	0.7	1.6	177.9
2013	2.4	0.1	0.0	0.0	22.0	62.5	9.8	8.6	67.1	22.6	8.6	5.3	209.0
2014	1.6	0.1	0.0	0.0	0.8	9.9	1.8	23.0	4.5	144.5	6.7	0.3	193.2
2015	1.5	0.4	0.3	0.5	0.8	28.7	9.4	3.9	6.1	52.6	6.7	0.4	111.5
Promedio	1.3	0.5	0.2	0.9	21.1	39.6	20.8	26.8	34.5	45.1	6.8	1.3	198.9

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 22. Resumen Meteorológico Anual de la estación de Jinotega.

INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES
DIRECCIÓN GENERAL DE METEOROLOGÍA
RESUMEN METEOROLÓGICO ANUAL

Estación: JINOTEGA / JINOTEGA

Código: 55020

Departamento: JINOTEGA

Municipio: JINOTEGA

Latitud: 13°05'06"

Longitud: 85°59'48"

Años: 1996 - 2015

Elevación: 1032 msnm

Parámetro: Precipitación (mm)

Tipo: HMP

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Suma
1996	43.8	20.7	9.9	2.5	209.1	105.7	250.2	216.1	188.1	382.6	203.8	22.7	1655.2
1997	30.7	22.3	33.8	1.0	0.9	304.9	97.5	41.6	241.2	185.2	130.1	7.2	1096.4
1998	8.8	0.0	29.9	5.0	125.4	105.1	146.1	141.3	259.1	190.8	137.0	59.3	1207.8
1999	64.6	61.3	10.5	11.1	76.3	165.3	134.4	110.9	242.3	196.3	42.2	15.3	1130.5
2000	47.9	21.2	8.2	0.8	83.3	131.9	99.0	53.7	325.8	156.8	42.0	34.5	1005.1
2001	26.7	35.6	1.5	0.4	134.0	88.7	68.2	123.3	154.1	91.3	60.6	30.3	814.7
2002	23.4	11.4	23.4	39.2	140.9	308.2	180.5	107.4	113.4	160.4	80.4	39.2	1227.8
2003	40.0	8.0	16.0	9.9	152.1	314.5	110.6	128.2	118.0	81.4	82.9	27.9	1089.5
2004	30.6	21.4	30.9	27.0	125.6	156.5	100.9	106.1	235.5	105.7	109.1	15.9	1065.2
2005	14.0	12.8	10.9	34.3	136.6	415.1	232.6	210.7	136.2	282.2	66.7	37.0	1589.1
2006	45.1	24.4	15.7	3.6	64.6	189.8	199.8	72.3	112.3	179.6	65.6	69.7	1042.5
2007	15.3	30.3	29.2	9.8	138.6	120.1	111.3	262.6	302.6	391.0	99.3	45.9	1556.0
2008	58.1	28.1	15.1	14.7	268.2	191.0	211.3	98.5	106.1	365.1	25.8	28.2	1410.2
2009	31.8	27.1	7.3	2.4	190.4	89.0	195.7	83.3	45.3	119.3	89.2	40.8	921.6
2010	17.0	28.2	1.9	122.0	335.2	198.5	273.3	540.2	406.8	161.2	56.5	6.0	2146.8
2011	20.0	11.2	5.1	27.4	147.0	263.7	195.6	214.9	149.9	232.1	45.1	52.8	1364.8
2012	69.5	28.2	4.5	44.6	250.7	313.4	92.1	104.1	78.6	156.7	29.1	44.2	1215.7
2013	55.1	10.1	2.5	2.1	165.4	279.0	110.6	103.5	289.1	167.7	103.4	81.2	1369.7
2014	44.1	13.4	2.7	0.3	31.3	111.0	47.0	169.4	75.2	424.2	91.3	17.7	1027.6
2015	43.6	23.5	20.3	26.0	32.5	189.2	108.3	69.3	87.0	255.9	91.4	23.1	970.1
Suma	730.1	439.2	279.3	384.1	2,808.1	4,040.6	2,965.0	2,957.4	3,666.6	4,285.5	1,651.5	698.9	24,906.3
Media	36.5	22.0	14.0	19.2	140.4	202.0	148.3	147.9	183.3	214.3	82.6	34.9	1245.3
Max	69.5	61.3	33.8	122.0	335.2	415.1	273.3	540.2	406.8	424.2	203.8	81.2	2146.8
Min	8.8	0.0	1.5	0.3	0.9	88.7	47.0	41.6	45.3	81.4	25.8	6.0	814.7

Fuente: INETER 2020

Tabla 23. El uso del suelo y el área ocupada en la microcuenca Mancotal, 2018.

Clasificación	Km ²	%
Agricultura	4.38	11.8
Bosque Latifoliados	11.95	32.1
Café	9.29	25.0
Pasto	2.78	7.5
Pastos con árboles dispersos	8.73	23.5
Zona Urbana	0.04	0.1
Total	37.17	100.0

Fuente: Elaboración propia.