



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS
NATURALES Y DEL AMBIENTE

**Por un Desarrollo
Agrario Integral
y Sostenible**

Trabajo de Tesis

**Desarrollar un índice de riesgo de degradación del
suelo a partir de indicadores ambientales en la
microcuenca La Carreta, San Juan de Cinco Pinos,
Nicaragua, 2019 - 2020**

Autor:

Br. Daniel Antonio Lagos Tijerino
Br. Miriam Tamara Cruz Benavides

Asesores:

Ing. .M Sc. Reynaldo Bismark Mendoza
Ing. Mp. Álvaro Emilio Martínez Gadea

Managua, Nicaragua

Agosto, 2020



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y
DEL AMBIENTE**

Trabajo de tesis

**Desarrollar un índice de riesgo de degradación del
suelo a partir de indicadores ambientales en la
microcuenca La Carreta, San Juan de Cinco Pinos,
Nicaragua, 2019 - 2020**

Autor:

Br. Daniel Antonio Lagos Tijerino

Br. Miriam Tamara Cruz Benavides

Asesores:

Ing. .M Sc. Reynaldo Bismarck Mendoza

Ing. Mp. Álvaro Emilio Martínez Gadea

Managua, Nicaragua

Agosto, 2020



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible"

Universidad Nacional Agraria
Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente

HOJA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Este trabajo de tesis fue evaluado y aprobado por el Honorable Tribunal Examinador designado por la Decanatura de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, como requisito parcial para optar al Título Profesional de:

INGENIERO FORESTAL

Miembros del tribunal examinador

Ing. Alex Castellon Meyrat
Presidente

Ing. Luis Hernández
Secretario

Ing. Gerardo Murillo Malespín.
Vocal

Managua, Nicaragua

Agosto, 2020

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE CUADRO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
2.1. Objetivo General	4
2.2. Objetivo Específicos	4
III. MATERIALES Y MÉTODOS	5
3.1. Localización del área de estudio.....	5
3.2. Aspectos biofísicos de la microcuenca	7
3.2.1 Vegetación.....	7
3.2.2 Geología	7
3.2.3 Vocación de usos de los suelos.....	9
3.2.4 Uso actual de los suelos	9
3.2.5 Recursos hídricos y disponibilidad del agua.	10
3.3 Materiales	10
3.4 Metodología	10
3.4.1 Etapa de pre-campo	12
3.4.2 Etapa de campo	12
3.4.3 Etapa de post campo	13
IV.RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	22
4.1 Descripción taxonómica de los suelos encontrados en la microcuenca la Carreta	22
4.1.1 Inceptisol:	22
4.1.2 Entisol:.....	23
4.1.3 Vertisol:	24
4.1.4 Alfisol:.....	25
4.2 Almacenamiento de Carbono Orgánico del Suelo (COS)	29
4.3 Capacidad de Retención de Agua en el Suelo (CRAD).....	32

4.4 Pérdida de suelo (PS).....	35
4.5 Índice de Riesgo de Degradación del suelo (IRDS)	38
V. CONCLUSIONES	41
VI. RECOMENDACIONES.....	42
VII. Bibliografías	43
VIII. ANEXOS	47
.....	47

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación principalmente a Dios todo poderoso porque nunca me abandonó en los tiempos difíciles y que es él que me ha guiado por el camino correcto y me ha dado la fuerza para continuar en este proceso de alcanzar uno de mis objetivos más deseados.

Dedico especialmente con gran orgullo a una mujer luchadora que con gran esfuerzo me ayudó a formarme como persona de bien, en enseñarme buenos valores y principios que era consciente de mis necesidades durante mis estudios mi madre Herminia Damiana Tijerino Aguilar.

A ese trabajador, un luchador que ha estado haciendo el trabajo de padre dándonos buenos consejos para ser buenas personas, mi padrastro José Camilo Blandón Pérez.

Dedico el trabajo de investigación a mi hijo Dani Damián Lagos Fletes que ha sido mi inspiración para poder salir adelante.

A todos mis hermanos, a mi pareja, a la madre de mi hijo y a todos mis amigos que formaban parte de este proceso de entrenamiento. A todas aquellas personas que creyeron en mí y de una manera u otra, contribuyeron para que yo pudiera cumplir este sueño hecho realidad.

Br. Daniel Antonio Lagos Tijerino.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación ante todo a Dios que es el facilitador en mi andar que siempre está a mi lado y me levanta todos los días, aunque tenga errores. Al Creador de mi vida y de mis padres, que me motivan cada día para esforzarme y alcanzar mis metas.

A mis padres por haberme dirigido a ser la persona que soy gracias a sus consejos, ejemplos y motivaciones para la superación. Por creer en mí y estar siempre a mi lado para darme todo su amor y apoyo.

A mis hermanos y sobrinos porque de una forma u otra me fueron de inspiración para hacer posible mi sueño, tal como es, llegar al final de la meta y terminar mi carrera

Br: Miriam Tamara Cruz Benavides.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios, por bendecirme con la vida, por guiarme a lo largo de mi camino, por ser el apoyo y la fortaleza en esos momentos de dificultad y debilidad.

A mi madre que siempre ha estado ahí en los buenos y difíciles momentos para apoyarme. Doy las gracias a nuestros profesores de la Universidad Nacional Agraria por compartir sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión,

De modo especial, a nuestros consultores de nuestro proyecto de investigación que nos dieron la mano en los momentos más difíciles, guiándonos a mí y a mi colega Miriam Cruz Benavides con su paciencia, dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración para el desarrollo de culminación de tesis, a los Ingenieros. MSc Reynaldo B. Mendoza, Mp Álvaro Emilio Martínez, especialmente Guiseel, Belkyz e Isaac.

De manera especial al Proyecto Catholic Relief Services (CRS) por su apoyo, a mis compañeros de clase, que siempre se apoyaban y estaban juntos en lo bueno y lo malo durante todo el período de la carrera.

A todos... ¡Muchas gracias!

Br. Daniel Antonio Lagos Tijerino

AGRADECIMIENTO

A Dios por su gran amor e inmensa bondad que son infinitas. Porque me dio la oportunidad de sonreír a todos mis logros que son el resultado de su ayuda. Le doy las gracias de todo corazón porque por él me fue posible superar toda pruebas y dificultades que se me presentaron durante mis años de estudio por ser tan bueno conmigo por escucharme y estar atento a mis oraciones cuando me sentía insegura de mí para poder llegar al final de esta carrera. Y hacerme ver que todo es posible si lo ponemos en primer lugar y sobre todo si tenemos fe y confianza en quien todo lo puede. A Dios sobre todo son las gracias infinitas.

A mi padre y a mi madre José Cruz Izaguirre y Miriam Benavides Andrade por ser parte de mi lucha gracias por su apoyo confianza y amor, por instarme y aconsejarme que continuara mi sueño anhelado por sus ejemplos de superación y su inmenso amor por todos sus hijos.

En gran manera a mis asesores los Ingenieros. MSc Reynaldo B. Mendoza, Ing. Mp Álvaro Emilio Martínez y al Ingeniero. Alex Castellón, del Departamento de Cuenca. Por habernos dado la oportunidad de trabajar con ellos por su apoyo y tiempo que nos dedicaron y por qué gracias a ellos fue posible terminar este trabajo de investigación son muy especiales tienen todo el deseo de apoyar a los estudiantes darles su amistad y comprensión que Dios les bendiga y que siempre pueden tener esa disponibilidad y voluntad de seguir apoyando a los estudiantes.

De una manera especial a los profesores Dra. Martha Orozco Izaguirre y el Dr. Carlos Zelaya Martínez por la oportunidad que nos dieron de formar parte de su proyecto y de sus enseñanzas, por sus aportaciones y confianza como maestros y como amigos.

De manera especial al Proyecto Catholic Relief Services (CRS) por su apoyo y de corazón a mis compañeros de estudios por su amistad y compañerismo. A mi homologa de tesis Daniel Lagos por haberme apoyado en este trabajo de investigación y compartir su compromiso conocimiento y tiempo para lograr este sueño deseado.

Br: Miriam Tamara Cruz Benavides

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1. Rangos de pendiente del área de la microcuenca La Carreta, para la estimar la pérdida de suelos utilizando la EUPS	9
Cuadro 2. Lista de materiales utilizados para el estudio de suelos, La Carreta (2018)	10
Cuadro 3 Datos de propiedades hidrofísicas inferidos a partir de la textura: (Amisial y Jegat, Banco de programas CIDIAT)	16
Cuadro 4. Erosión laminar de acuerdo con las pérdidas de suelo propuesta por (Aviles E. , Mendoza, Hoek, & Tellez, Nicaragua, 2013, pág. 8)	19
Cuadro 5. Valores o escala ponderación del CRAD propuesta para la microcuenca La Carreta, 2020	20
Cuadro 6. Valores a escala ponderación de la pérdida de suelos, propuesta para la microcuenca La Carreta, 2020	20
Cuadro 7. Valores a escala ponderación del carbono almacenado en el suelo, propuesta para la microcuenca La Carreta, 2020	20
Cuadro 8. Asignación de pesos por variables para obtener el valor del índice de degradación de suelos, propuesta para la microcuenca La Carreta, 2020	21
Cuadro 9. Propuesta de categorías y colores para representar en mapas el Índice de Riesgo a la degradación de suelos, propuesta para la microcuenca La Carreta, 2020	21

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca La carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020	6
Figura 2. Mapa de pendiente de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020	8
Figura 3. Esquema metodológico de la investigación, para Desarrollar un Índice de Riesgo de Degradación de suelo (IRDS) de la microcuenca La Carreta, San Juan de Cinco Pinos, Chinandega, 2020.	11
Figura 4. Perfil representativo del subgrupo taxonómico Lithic Haplustepst microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos Chinandega, 2020.....	23
Figura 5. Perfil representativo del subgrupo taxonómico Lithic Ustorthents microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos Chinandega, 2020.....	24
Figura 6. Perfil representativo del subgrupo taxonómico Lithic Haplusterts microcuenca La Carreta, San Juan Cinco pinos Chinandega,2020.....	25
Figura 7. Perfil representativo del subgrupo taxonómico Typhic Haplustalf microcuenca La Carreta, Cinco Pinos, Chinandega 2020.....	26
Figura 8. Mapa de suelo a nivel de orden y subgrupo taxonómico de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020.....	27
Figura 9. Mapa de cobertura y usos de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020.	28
Figura 10. Mapa de Carbono Orgánico en el suelo de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020.....	31
Figura 11. Mapa de Capacidad de Retención de Agua en el suelo de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020.....	34
Figura 12 . Mapa de Pérdida de suelo de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020	37
Figura 13. Mapade Índice de Riesgo de Degradación de suelo de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos Chinandega, 2020	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Valores de Carbono Orgánico del Suelo (COS)	47
Anexo 2 . Valores estimados de CRAD para distintos Órdenes de suelo	47
Anexo 3. CRAD en suelos con régimen Xerico o aridico.....	48
Anexo 4. Valores estimados de Densidad Aparente, Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente según textura de suelo (Martin et al.,1990)	48
Anexo 5. Relación entre CRAD y humedad del suelo	48
Anexo 6. Estimación de la Perdida de Suelo por USLE (1978).....	49
Anexo 7. Relación entre factores C y P según cobertura del Suelo (Jung et al., año):	50
Anexo 8. Valores de Cobertura ©, para diferentes formaciones vegetales y cultivos en África Occidental (Roose, 1977)	51

RESUMEN

Con el fin de generar un índice de riesgo de degradación del suelo para la microcuenca La Carreta, en San Juan de Cinco Pinos-Nicaragua; se estimó el porcentaje de carbono orgánico almacenado en el suelo, la capacidad de retención de agua en el suelo y la pérdida de suelo mediante el modelo de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS). Los métodos aplicados fueron; la descripción taxonómica de cuatro perfiles de suelos, muestreo de carbono y análisis de información climática. Como resultados, los suelos que presentan mayor riesgo a la degradación fueron los Entisoles, por ser superficiales y escarpados. El mayor almacenamiento de carbono orgánico se observó en los suelos Alfisoles ($39.24 \text{ ton ha}^{-1}$), seguido por los suelos Inceptisoles. La capacidad de retener agua disponible para las plantas (CRAD), fue mayor en los Suelos Alfisoles y Vertisoles, por presentar mayor desarrollo, profundidad y presencia de arcilla. La erosión potencial estimada para la microcuenca es clasificada de alto a muy alto (entre 25 y más de 50 ton ha^{-1}), y es afectada por la conversión de uso de bosque a pasturas y agricultura en las áreas de laderas con pendientes mayores de 40%, donde predominan los suelos superficiales. Finalmente, un 16.12% del área de la microcuenca presenta riesgos altos a la degradación en zonas escarpadas. Lo cual constituye una fuerte amenaza y presión para suelos que presentan mayor desarrollo (Alfisol/Inceptisol) y para aquellas áreas donde se conserva una cobertura arbórea permanente. Lo cual sugiere desarrollar estrategias ambientales y productivas que permitan conservar y restaurar suelos en el territorio.

Palabras claves: Índice de Degradación de Suelos, Carbono en el Suelo, Retención de Agua, Erosión Potencial de Suelo

ABSTRACT

In order to generate a risk index to soil degradation for the La Carreta watershed, in San Juan de Cinco Pinos-Nicaragua; The percentage of organic carbon stored in the soil, the water retention capacity in the soil loss erosion were estimated using the Universal Soil Loss Equation (USLE) model. The methods applied were; the taxonomic description of four soil profiles, carbon sampling and analysis of climate information. As a result, the soils that present the greatest risk to degradation are the Entisols, as they are susceptible to being used for agriculture. Higher organic carbon storage was observed in Alfisols soils (39.24-ton ha⁻¹), followed by Inceptisols. The capacity to retain water available to plants (CRAD), was greater in Alfisols and Vertisols soils, due to the greater development, depth and presence of clay. The estimated potential erosion for the micro-basin is classified as moderate to severe (between 25 and more than 50-ton ha⁻¹), and is affected by the conversion of forest use to pastures and agriculture in hillside areas with slopes greater than 40 %, where surface soils predominate. Finally, 16.12% of the micro-basin area presents high risks to degradation in steep areas. This constitutes a strong threat and pressure for soils that present greater development (Alfisol / Inceptisol) and for those areas where a permanent tree cover is preserved. This suggests developing environmental and productive strategies that allow conserving and restoring soils in the territory.

.

Key words: Soil degradation index, soil organic carbon, water retention, potential soil erosion

I. INTRODUCCIÓN

Los suelos constituyen un sistema vital de la más alta importancia, bajo la sola consideración que la mayor parte de la producción alimentaria requerida por la población mundial en continuo crecimiento depende de ellos. Aparte de esa función primordial de ser la base para la producción de biomasa, los suelos cumplen otras funciones para la vida humana. (Lopes, 2002)

La evaluación de la calidad del suelo es indispensable para determinar si un sistema agroecológico de manejo es sustentable a corto o largo plazo. Dicha evaluación permite comprender y revertir el deterioro en la funcionalidad ecosistémica que ocurre como consecuencia de la degradación de los suelos, generada por fenómenos como la erosión, compactación, pérdida de nutrientes reducción de la densidad y la actividad biológica, la mayoría de ellas causados por la implementación de prácticas de manejo inadecuadas.

La degradación del suelo se debe a los constantes cambios en la capacidad del uso de la tierra; forestales agrícolas, ganadero y una gestión inadecuada de los productores. La preparación de suelos en el Occidente del país en condiciones, secas provoca la pérdida de toneladas de suelos fértiles que a su vez afectan las vías respiratorias de los comunitarios este suelo es por arrastre y tiene como destino final los océanos. (Betancourt & Caldearon, 2012- 2013)

En décadas pasadas en las zonas del Oeste de Nicaragua (León y Chinandega) se talaron miles de hectáreas de bosques para dar paso a la agricultura que dio lugar al deterioro del suelo, el aumento de las temperaturas en el medio ambiente y la reducción de la recarga hídrica de los acuíferos (Betancourt & Calderon, 2012- 2013).

La cantidad de Carbono almacenado en un suelo determinado depende del equilibrio entre la cantidad de Carbono que entra en el suelo y la cantidad que sale del suelo como gases respiratorios a base de Carbono de la mineralización microbiana, y en menor medida, la lixiviación del suelo como Carbono Orgánico Disponible. También se puede perder o ganar a través de la erosión o disposición del suelo, lo que conduce a la redistribución del suelo a escala local, paisajística y regional. Por lo tanto, los niveles de almacenamiento de Carbono Orgánico del Suelo se controlan principalmente gestionando la cantidad y el tipo de residuos orgánicos que entran en el suelo (es decir, la contribución del Carbono Orgánico al sistema del suelo) y minimizando las pérdidas del suelo C (FAO y GTIS, 2015).

Las estimaciones implican la medición de Carbono en su suelo con el fin de conocer el estado en el que se encuentran y el potencial de productividad, ya que la pérdida de Carbono Orgánico en el suelo (COS) afecta negativamente, la producción de alimento, la salud del suelo y el cambio climático; viéndose afectado los pobladores de la zona, debido a que la agricultura es la principal fuente de ingreso para su subsistencia.

Según el informe de suelos de INETER, (2015), el mayor potencial de uso de los suelos de Nicaragua lo representa; forestales y sistemas agroforestales (33.83%), seguido por sistemas silvopastoriles (20.33%). Y únicamente un 6.93%, del territorio nacional, presenta potencial o vocación para la agricultura intensiva. Sin embargo, es preocupante que un 39.17% del territorio nacional se encuentra en alto riesgo a la degradación por estar sobre utilizados a la capacidad de uso de la tierra. (Atlas de suelos de Nicaragua INETER, 2015).

En la microcuenca La Carreta se estimó el potencial erosivo de sus suelos a fin de brindar información de las irreversibles prácticas agrícolas inadecuadas que realizan y considerar la erosión como un proceso de degradación de todas las propiedades del suelo, podríamos aseverar que la inseguridad alimentaria se convierte en una de las principales amenazas de los pobladores de esta zona.

En la zona de estudio también fue oportuno realizar la estimación de la Capacidad de Retención de Agua en sus suelos, pues de ello dependen muchos ciclos de algunos cultivos que constituyen la principal fuente de ingresos de las familias. En el desarrollo de esta investigación se consideraron como principales servicios ambientales del suelo la capacidad de retención de agua CRAD, Carbono Orgánico del Suelo de COS y la Pérdida de Suelos producida por la erosión hídrica. y de los resultados de los tres componentes COS, CRAD, y PS que afectan directamente el estado del suelo. Se desarrolló un IRDS para fines de otros estudios más profundizados con la visión en el desarrollo de la agricultura sostenible en las áreas de degradación de la microcuenca La Carreta. Como resultados del estudio los suelos con mayor riesgo a la degradación son los suelos Entisoles por ser vulnerables y sufrir cambios de usos forestal a agricultura y ganadería en áreas de laderas con pendientes muy escarpado donde predominan los suelos superficiales. Los suelos con menor riesgo a la degradación son los suelos (Alfisoles, Vertisoles). Esto debido a que son suelos con mayor desarrollo ya que según las características que presentan en el estudio de los perfiles de suelos retienen mayor COS, CRAD, y menor PS

esto considera que los suelos pueden ser aprovechados por los productores de la microcuenca en distintas actividades siempre y cuando le den un buen uso racional y valoren su estado para un buen desarrollo productivo.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- ❖ Generar información para desarrollar un índice de riesgo de degradación del suelo a partir de los indicadores ambientales; almacenamiento de carbono en el suelo, retención de agua disponible para las plantas y el potencial de erosión hídrica en la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, Nicaragua 2019-2020.

2.2. Objetivo Específicos

- ❖ Caracterizar los suelos de la microcuenca haciendo énfasis en indicadores de calidad relevantes (COS, CRAD, PS). Para el sitio de estudio.
- ❖ Determinar umbrales de degradación por cada indicador seleccionado (COS, CRAD, PS).
- ❖ Determinar el Índice de degradación de suelo a partir de la relación entre los componentes o indicadores ambientales

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del área de estudio

Este estudio se llevó a cabo en la microcuenca La Carreta municipio San Juan de Cinco Pinos, ubicado en el departamento Chinandega. Se encuentra entre las coordenadas geográficas 13° 13' 00' latitud N y 86° 52' 00" longitud O, limita al Norte con el municipio San Pedro del Norte, al Sur con el municipio Somotillo, al Este con el municipio San Francisco del Norte y Oeste con el municipio Santo Tomás del Norte. Se compone de las comarcas: El Espino, El Pavón, El Carrizal, El Cerro, Los Araditos, El Zacatón, El Llano, Las Pozas, Maderas Negras, La Honda, Villa Camilo Ortega, entre otras. Abarca una extensión territorial de 30.31 k m² del área de estudio. Presenta un clima tropical seco con una temperatura media de 28°C, con una precipitación media anual entre 1400 y 1600 mm, estación seca, es de 4 a 6 meses de duración, confinada principalmente de los meses de noviembre a abril. Ver figura 1.

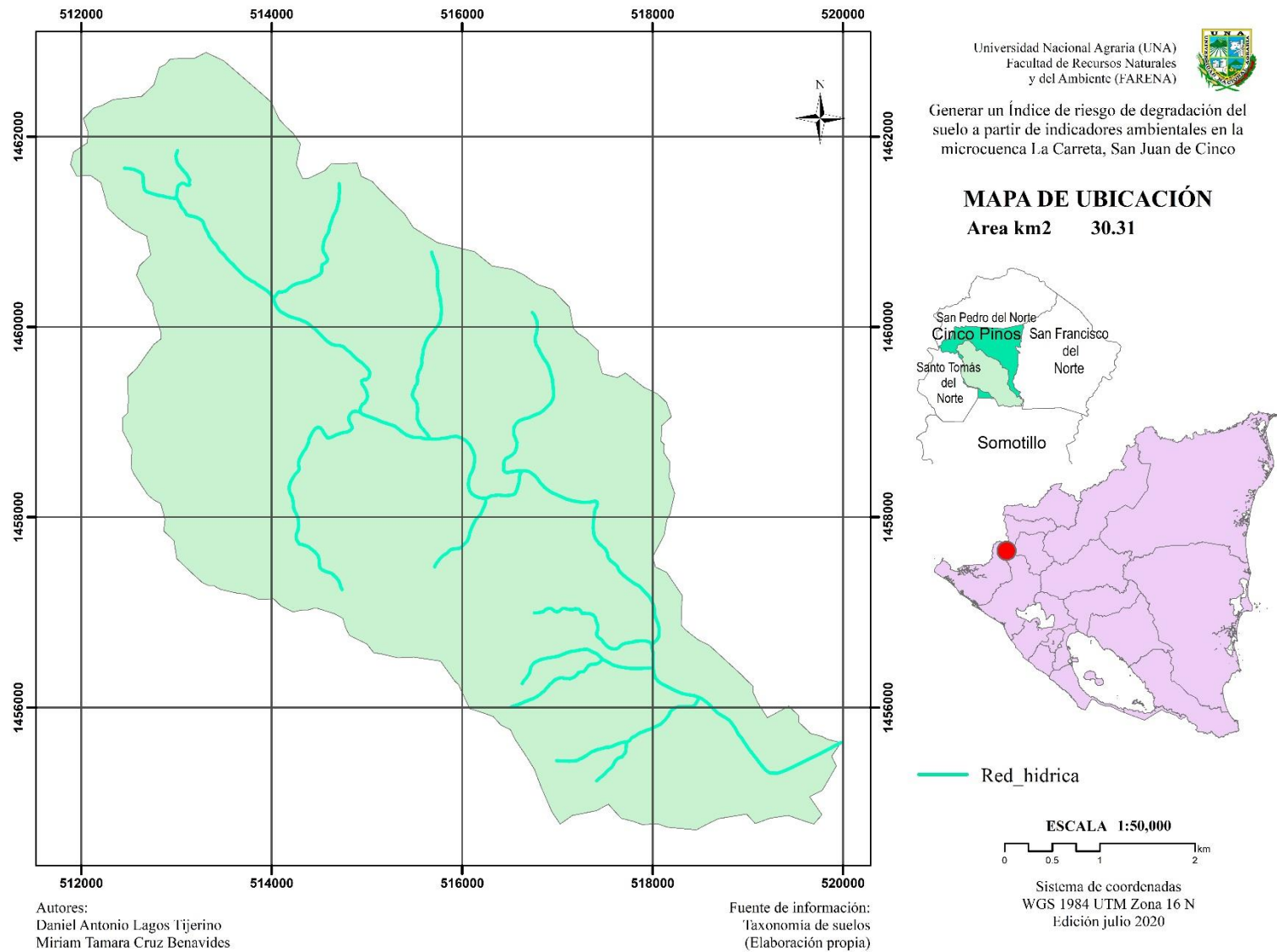


Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca La carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020

3.2. Aspectos biofísicos de la microcuenca

3.2.1 Vegetación.

Según OPS (2018), La microcuenca de Cinco Pinos cuenta con bosque seco tropical, bosques de pinos, con pequeños valles de aptitud agropecuaria, con bosques abiertos, bosques cerrados presenta vegetación arbustiva y se pueden encontrar pequeños parches de bosques de galería y se han implementado los sistemas agroforestales que han surgido como parte de pequeños programas de reforestación impulsados por las alcaldías y unas instituciones.

3.2.2 Geología

El sitio se encuentra en las formaciones Matagalpa y los Márgenes del Batolito Dipilto, el primero compuesto principalmente de tobas riolíticas-dacíticas, lavas y andesita, basalto e ignimbritas, el segundo compuesto principalmente por granodiorita (rocas ácidas plutónicas). (Cruz, 2015, pág. 300) Posee un relieve escarpado característico de la cordillera central. Se elevan a 400 metros sobre el nivel del mar, (Aviles S. , y otros, 2018)

La mayor parte de los suelos de la microcuenca La Carreta presenta pendientes oscila conformados entre los rangos de 15% a 65% con un relieve ondulados/cóncavos a fuertemente escarpado, con posibilidades de recarga de moderado a muy baja, lo que favorece potenciales procesos erosivos en los sistemas agropecuario de la zona. En cambio, los terrenos con pendiente plana constituyen el 11.24% (3.41 km²) del área total y se concentra en la parte baja de la microcuenca. ver en el cuadro 1.

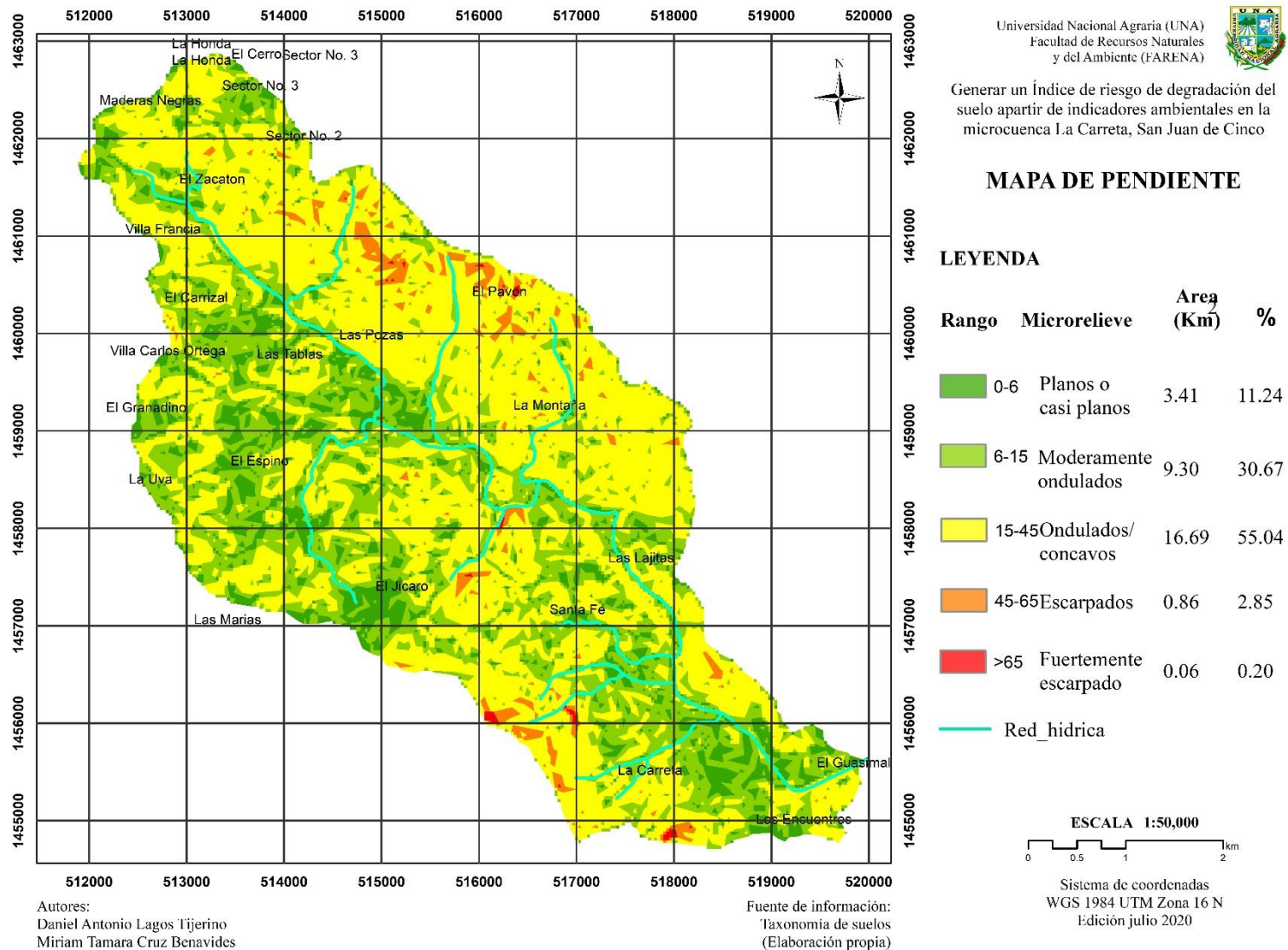


Figura 2. Mapa de pendiente de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020

Cuadro 1. Rangos de pendiente del área de la microcuenca La Carreta, para la estimar la pérdida de suelos utilizando la EUPS

Rango de pendiente.	Micro relieve	Valoración de pendiente	Área (km²)	%del total
0 a 6	Planos a casi planos/con o sin rugosidad.	Muy alta	3.41	11.24
6 a 15	Moderadamente ondulados/cónca vos	Alta	9.30	30.67
15 a 45	Ondulados/Cóncavos	Moderado	16.69	55.04
45 a 65	Escarpado	Baja	0.86	2.85
>65	Fuertemente Escarpado	Muy baja	0.06	0.20
Total			30.32	100.0

3.2.3 Vocación de usos de los suelos

La mayor parte de las tierras son de vocación forestal constituyendo la reforestación y los bosques su mayor potencial de desarrollo a largo plazo. Sin embargo, muchas de estas tierras son utilizadas para explotación agrícola y ganadera de manera tradicional y extensiva, ocasionando efectos negativos al medio ambiente. se observa un proceso acelerado de desertificación, disminución pronunciada en la biodiversidad, desaparición de bosques y la fauna como efecto del cambio del uso de la tierra.

3.2.4 Uso actual de los suelos

En la actualidad la agricultura junto a la ganadería constituye los principales rubros de la economía local. Sin embargo, dichas actividades se llevan a cabo en gran parte en suelos de vocación forestal.

La agricultura constituye la principal fuente de trabajo en la zona de estudio con el 60,8% del total de empleos, la segunda fuente de ingreso para la población de la zona de la microcuenca La Carreta, es la ganadería con el 16,8%. Actualmente, unas 3.000 manzanas se dedican a la agricultura, que tradicionalmente se cultivan: frijoles, maíz, sorgo, trigo, principalmente, cultivando otros rubros menores. (EcuRed, s.f.)

3.2.5 Recursos hídricos y disponibilidad del agua.

La principal fuente de agua del municipio río El Gallo, sus principales afluentes son los ríos. La Carreta y Las Canoas que se origina en San Pedro del Norte. Las microcuencas del río La Carreta cubren aproximadamente el 60% del territorio del municipio. (Zelaya E. , Rodriguez, Ortega, & Saavedra, 2012).

3.3 Materiales

Se definieron transeptos para realizar las observaciones de suelo en cortes de camino. Limpia de cara de los cortes con palines, pala, barreno, tabla Munsell, cuchillo, piocha. Para diferenciar los horizontes, y poder medir sus propiedades morfológicas.

Cuadro 2. Lista de materiales utilizados para el estudio de suelos, La Carreta (2018)

Materiales y equipos		
1) Pala	10) Cilindro	metálico
2) Palín	(dimensiones)	
3) Barreno	11) Cubo de plástico	
4) Tabla Munsell	12) Formatos de campo	
5) Cuchillo	13) Cintas pH	
6) Piocha	14) Agua oxigenada	
7) Plástico negro	15) Cinta métrica	
8) Machetes	16) Clavos	
9) Bolsas de plástico con etiquetas	17) Clinómetro	
	18) Botellas de plástico	

3.4 Metodología

El presente estudio se realizó ejecutando tres etapas (pre-campo, campo, post-campo). La etapa pre-campo incluyó la revisión bibliográfica y selección de sitios de muestreo. La etapa de campo implicó la caracterización de suelos. Por último, la etapa post-campo se centró en la estimación de umbrales de degradación en tres propiedades de suelo: Carbono Orgánico del Suelo (COS),

Capacidad de Retención de Agua en el Suelo (CRAD) y Pérdida de Suelo (PS) y su vinculación a través del desarrollo del Índice de Riesgos de Degradación de Suelo (IRDS). Estas etapas se detallan a continuación.

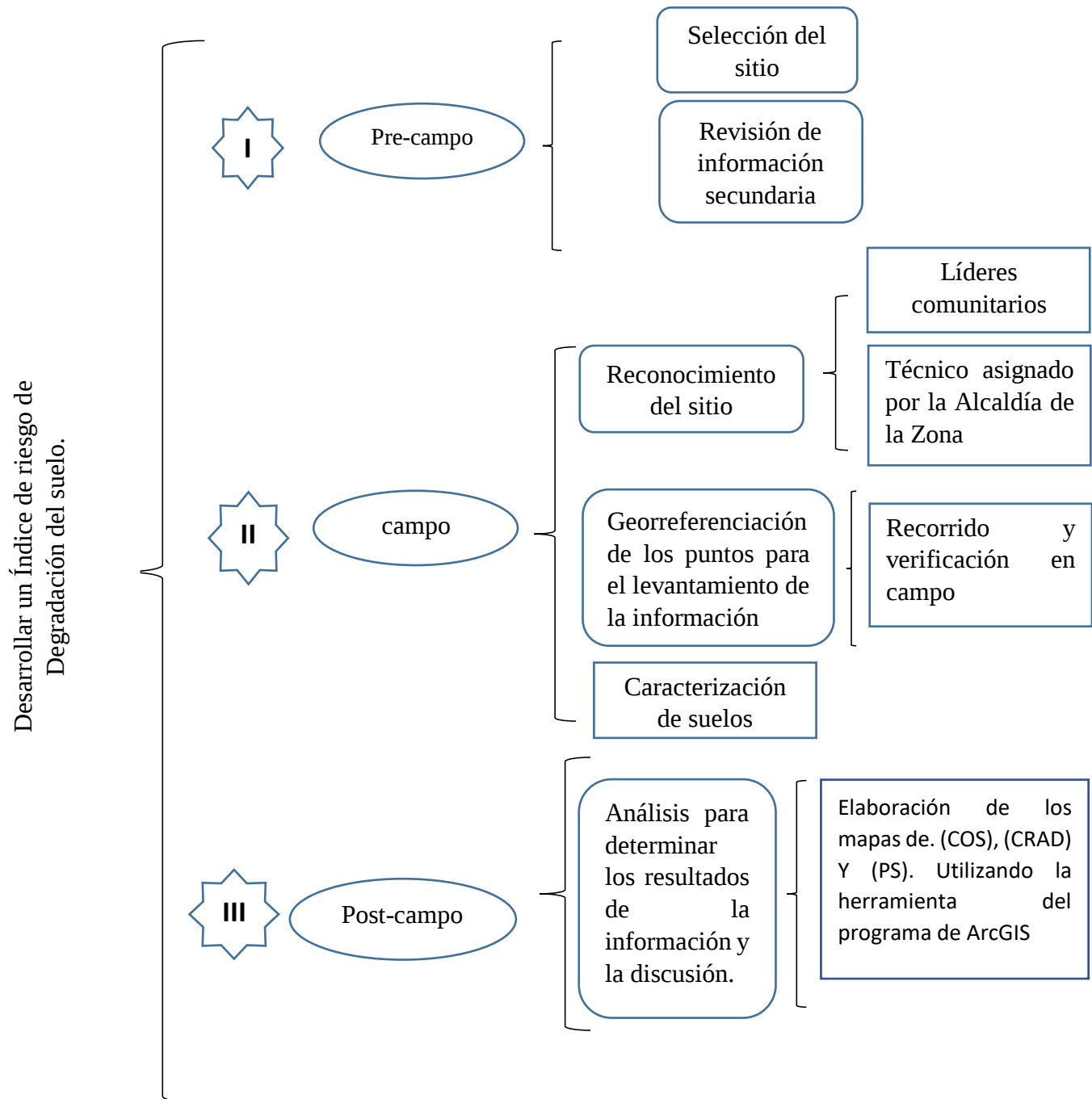


Figura 3.Esquema metodológico de la investigación, para Desarrollar un Índice de Riesgo de Degradación de suelo (IRDS) de la microcuenca La Carreta, San Juan de Cinco Pinos, Chinandega, 2020.

3.4.1 Etapa de pre-campo

a) Selección del sitio

En esta etapa seleccionamos el área a evaluar considerando de interés la microcuenca La Carreta, ubicado en el municipio de Cinco Pinos Chinandega, por ser un territorio con laderas vulnerable a la degradación de suelos y altamente poblado, en condiciones de laderas. Y donde no existe información de los servicios ecosistémicos en términos de almacenamiento de carbono, capacidad de retención de agua.

b) Revisión de información secundaria

En esta etapa se realizó una revisión exhaustiva de la información secundaria correspondientes al área de estudio y utilizando información geoespacial con ayuda de las herramientas SIG, se generaron una serie de mapas.

La información geoespacial utilizada consistió en: imágenes satelitales de Google Earth para valorar el uso actual del suelo, Mapa Nacional de subórdenes de suelo (INETER, Managua, Nicaragua 2015), Mapa Topográfico a escala 1:50,000 INETER (1989) y (INETER., 2004)

En la revisión de la información secundaria, se profundizó en la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS), métodos para estimar (COS), la estimación de (CRAD).

A partir del modelo de elevación del terreno con una resolución de 30 metros, se generó el mapa de pendientes utilizando el software ArcGIS 10.2. Este mapa se reclasifica según los rangos de pendiente. (Figura 3)

3.4.2 Etapa de campo

Para caracterizar y clasificar los suelos, fue necesario analizar la información de suelos existente, en mapa nacional de suelos (2015) y estudios realizados en el municipio relacionado al tema de suelos empleando la clave de la Soil Taxonomy 2016. (Guía práctica para la caracterización del suelo y del terreno).

Inicialmente se realizó una caracterización edáficas y biofísica de la microcuenca y generar información que complementara la ya existente. Los sitios para evaluarse fueron seleccionados por los técnicos asignados por la alcaldía y los líderes de las comunidades para generar el estudio

de los suelos, para cuantificar la cantidad de carbono orgánico, estimar la capacidad de retención de agua y la pérdida de suelos producida por la erosión hídrica en la microcuenca.

Cobertura y uso de la tierra

La caracterización biofísica se basa en la elaboración de un mapa de coberturas y usos de la tierra derivado a partir de la interpretación de imágenes satelitales Google Earth georreferenciadas, digitalización en pantalla de usos y coberturas identificadas y su debida corroboración en campo por medio de punto de validación.

3.4.3 Etapa de post campo

En esta etapa se realizaron las estimaciones de las variables consideradas en el estudio y para lograr definir valores para el índice de degradación de los suelos se utilizó la información primaria (levantada en campo) y secundaria, siguiendo un procedimiento en particular descrito a continuación:

3.4.3.1 Almacenamiento de Carbono Orgánico en el suelo (COS)

El contenido de COS es una de las principales propiedades cruciales para la producción agrícola. Como fuente de nutrientes. Los incrementos en las existencias de (COS) aumentan los rendimientos de los cultivos en la agricultura especialmente en tierras degradadas. En áreas como el África Subsahariana (ASS), donde los agricultores de subsistencia experimentan deficiencias en la disponibilidad de fertilizantes y un riego adecuado, el (COS) es la clave para el aumento de la producción (Lal, 2004) Según la misma fuente, cuantificar la retención de COS en el suelo es necesario porque permite identificar los cambios que se generan al utilizar los Suelos de manera inapropiada.

La Materia Orgánica del Suelo (MOS) es la fracción del suelo que consiste en tejido vegetal o animal en varias etapas de descomposición de diferentes componentes que se pueden agrupar en tres tipos principales: (1) residuos de plantas y biomasa microbiana viva, (2) Materia Orgánica activa del suelo también conocida como detrito y (3) Materia Orgánica estable del suelo a carbón en varios compuestos Orgánicos lo que comúnmente se conoce como COS. Relación entre COS y MOS: aunque el contenido de carbono en MOS puede variar en promedio contiene alrededor del 58% de carbón (Factor Van Bermmelen: 1,724), propuesto por (Walkley - Black, 1946)

Un método para estudiar la dinámica del COS es el modelado matemático. La capacidad de modelado se apoya en el hecho de que, como herramienta, ayuda a producir escenarios experimentando experimentados con diferentes variaciones de los parámetros en un ambiente controlado sin el sistema de estudio real. (Orellana, G; Sandoval, M; Linares, G; Garcia, N; Tamaris, J., 2012, pág. 124)

Para cuantificar el almacenamiento de COS, se utilizó el método analítico de (Walkley - Black, 1946) por combustión húmeda. Las muestras de campo fueron transportadas al laboratorio LABSA de Universidad Nacional Agraria En Managua, donde se les determinó el contenido de materia orgánica, por combustión húmeda.

El mapa de almacenamiento de COS se elaboró utilizando el programa de Excel tomando en cuenta los perfiles de suelos encontrados profundidad del suelo a los 30cm y la densidad aparente (Da). De los resultados que se obtuvieron de dividir el % de materia orgánica MOS entre el factor Van Bermmlen (1.724). Método para obtener (COS).

Para convertir el porcentaje de COS a (ton ha^{-1}), se calculó el peso del suelo a 30 cm de profundidad, multiplicándola por la densidad aparente y este valor por el área de una hectárea (10000 m^2). Luego para obtener el porcentaje total de carbono en (ton/ha^{-1}) para cada horizonte de suelo se dividió el valor de COS entre 100 y posteriormente se multiplico por el peso del suelo en (ton/ha^{-1}). Una vez conocido dichos valores, estos se promediaron con el fin de obtener datos representativos para cada orden haciendo uso de la herramienta ArcGIS utilizando el shapefile del mapa de clasificación taxonómica para generar el mapa de COS

3.4.3.2 Capacidad de Retención de Agua Disponible (CRAD)

La Capacidad de Retención de Agua Disponible (CRAD) en el suelo, se trata de un concepto útil en los suelos bien drenados, que han sido ampliamente regados. CRAD es la cantidad de agua en un perfil de suelo que teóricamente puede ser extraída por la planta, después de que se ha drenado libremente por gravedad durante un período de tiempo, y se ha definido por la diferencia en el contenido de humedad entre CC y PMP (Sancho A. L., 1999)

Esta capacidad está condicionada por los siguientes factores:

- Textura del suelo
- Estructura del suelo
- Contenido de materia orgánica
- Grosor del suelo explorado por las raíces
- La secuencia de capas en el perfil de horizontes

La mera presencia del agua retenida entre la CC y el PMP no es suficiente; el suelo debe entrelazarse con las raíces de la planta a una densidad suficientemente alta hasta permitir que el agua del suelo sea extraída hasta el punto de marchitez. Los suelos todavía retienen agua cuando se alcanza el PMP. (Sancho A. L., 1999, pág. 31) La fórmula aplicada para el cálculo del CRAD modificada se describe a continuación: (según Valero, 1999):

$$CRAD = H * Da \left(\frac{CC - PMP}{100} \right)$$

Donde:

H: Profundidad efectiva del suelo (mm)

CC: Capacidad de Campo (%)

PMP: Punto de Marchitez Permanente (%)

Da: Densidad aparente (gr/cm³)

CRAD es expresado en: l/m² o mm y m³/ha Para determinar las variables de: capacidad de campo, punto permanente de marchitez y la densidad aparente del suelo se utilizó el método inferido por textura, utilizando la siguiente ver (cuadro 3)

Este mapa se obtuvo a partir de la identificación de los órdenes de suelos localizados en la microcuenca La Carreta, posteriormente los datos se ingresaron en el programa ArcGIS se tomaron en cuenta los valores de la profundidad efectiva, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y la densidad aparente. Por último, a cada uno de ellos se aplicó la fórmula para determinar el CRAD y utilizando las herramientas SIG.

La capacidad de campo: Se obtuvo a partir de la tabla de datos inferidos según la textura de los suelos encontrados en base a estudios anteriores, Fuente: Amisial y Jegat, Banco de programas CIDIAT.

El punto de marchitez permanente se alcanza cuando el suelo a perdido toda el agua denominada capilar que puede ser absorbida por las plantas y Sólo queda el agua ligada que no puede ser adsorbida. Para obtener el punto de marchitez permanente se utilizó la fórmula: $Hg \text{ a PPM} = CC * 0.74 - 5$ y se multiplico la capacidad de campo por 0.74 menos 5., en donde:

Hg: es el agua gravimétrica

PMP: Es el punto de marchitez permanente

CC: Es la capacidad de campo.

Para determinar la **densidad aparente** se utilizó la tabla de relación del tamaño de partículas y la porosidad en el suelo, tomando en cuenta el tipo de suelo y su textura. (Dane & Topp, 2002, pág. 1192).

Cuadro 3 Datos de propiedades hidrofísicas inferidos a partir de la textura: (Amisial y Jegat, Banco de programas CIDIAT)

Textura suelo	Permeabilidad y/o Cap. Infiltración (cm h ⁻¹)	Capacidad de Campo (%)	Punto de Marchitez (%)	Densidad del Suelo (g cm ⁻³)
Arenoso	5 (2.5-25.5)	9 (6-12)	4 (2-6)	1.65 (1.55-1.8)
Franco Arenoso	2.5 (1.3-7.36)	14 (10-18)	6 (4-8)	1.5 (1.4-1.6)
Franco	1.3 (0.8-2.0)	22 (18-26)	10 (8-12)	1.4 (1.35-1.50)
Franco Arcilloso	0.8 (0.25-1.5)	27 (23-31)	14 (12-16)	1.35 (1.30-1.40)
Arcilloso Arenoso	0.25(0.03-0.5)	31(27-35)	16 (14-18)	1.3 (1.25-1.35)
Arcilloso	0.5(0.01-0.1)	35 (31-39)	18 (16-20)	1.25 (1.2-1.3)

3.4.3.3 Pérdida de suelos producida por la erosión hídrica (PS)

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), propuesta por Wischmeler y Smith (1978) estima la pérdida de suelo anual como valor promedio de un periodo representativo de años que se producen en una parcela o superficie de terreno producida por la erosión superficial, laminar y en reguero ante determinadas condiciones de clima, suelo, relieve vegetación y uso del suelo.

Este modelo considera las precipitaciones como el principal agente activo de la erosión superficial y así se establece que las pérdidas de suelos anuales son directamente proporcionales al índice de erosividad de las lluvias relacionadas con la energía cinética de cada tormenta y su precipitación máxima en 30 minutos.

En este estudio se utilizó el modelo USLE desarrollada por (Wischmeyer & Smith, 1978) como una herramienta útil para estimar la erosión de suelo inducida por el agua de lluvia. Utilizando el Artículo de Kenya, y las modificaciones propuestas por (Hurni, 1985) en los factores erosividad de lluvia y erodabilidad del suelo. Se puede utilizar adecuadamente para:

- Predecir la pérdida media a largo plazo del suelo de condiciones específicas del campo, utilizando un sistema de gestión específico.
- Predecir la erosión entre surcos y surcos, en pastos, cultivos y sitios en construcción.
- La pérdida de suelo calculada por el modelo es la cantidad de sedimento sin perdido por el perfil, no la cantidad de sedimento dejada por la cuenca o la tierra.
- El perfil del paisaje se define por una longitud de la pendiente, que es la longitud del origen del flujo de superficie hasta el punto donde el flujo alcanza una concentración más alta o una mayor área de deposición como en los taludes cóncavos y cerca de los límites del terreno.
- Estimar las tasas de erosión que se eliminan del suelo, de partes críticas del paisaje y que guían la elección de las prácticas de control de la erosión hasta un nivel tolerable de pérdida de suelo por la lluvia.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), se expresa matemáticamente como el producto de cada uno de sus factores, donde: $A = (R * K * L * S * C * P)$

Significado de cada variable de la fórmula:

A: la pérdida de suelo por unidad de superficie ($t\ ha^{-1}a^{-1}$)

- ✓ **R:** Es el factor erosividad de la lluvia en ($J. m^{-2} cm\ hora^{-1}$).
- ✓ **K:** Es el factor erodabilidad del suelo ($ton\ ha^{-1} a^{-1} / J. m^2. cm\ hora^{-1}$).
- ✓ **L:** Es el factor longitud del terreno (adimensional).
- ✓ **S:** Es el factor pendiente del terreno (adimensional).

- ✓ **C:** Es el factor cobertura y manejo de la vegetación (adimensional).
- ✓ **P:** Es el factor prácticas de conservación (adimensional).

Descripción de cada variable de la fórmula:

- **Factor R:** Conociendo los datos meteorológicos de lluvia obtenidos de la estación meteorológica más cercana de los últimos 39 años del municipio de Somotillo en la comunidad de Palo Grande para un promedio de **1518,23mm** de precipitación dividiéndolo entre 6 meses lluviosos, para un total de 253mm y con los datos constantes propuestos según Hurni (1985) modificado por el artículo de Kenya se calcula a partir de la ecuación $0.5 (\text{promedio mensual})^{-4.7}$ para un promedio mensual del factor de pendiente (**R**) de **134,45mm**.
- **Factor K:** según Hunri 1985 modificado por el artículo de Kenya propone que los suelos Vertisol tienen un valor de erodabilidad (0,15). Alfisol (0,25), Inceptisol (0,20) y Entisol (0,30) según la FAO los caracteriza en función de los perfiles de suelo en los que están determinados por el color.
- **Factor LS:** para obtener el factor de longitud de pendiente se utilizó el programa de ARGIS utilizando el DEM de pendiente de la microcuenca La Carreta en el cual se obtuvo una pendiente máxima de **66.75** y un ángulo de **38°** y se aplicó la ecuación según Hurni (1978) modificada por Wischmeier and Smith (1978) $LS(A/22.13)^{0.6} (\text{sen } B/0.0896)^{1.3}$ artículo de Kenya (Amdihun, Gebremariam, Rebelo and, & Zeleke, 2014) donde: A: Pendiente máxima, B: Angulo de la pendiente para un porcentaje de **23.76** en la microcuenca.
- **Factor C:** Dependiendo del tipo de cobertura, se realizó un promedio estimado basado en los valores presentados en la tabla propuesta por (Rosse., 1977) donde les da un valor para cada uso.
- **Factor P:** Según Jurica (1985) basado en la pendiente y el tipo de cultivo modificado por el artículo de Kenya estos datos se obtienen en función de la pendiente de la microcuenca y el tipo de cultivos, determinando el valor según el rango en el que se encuentran los usos. El factor **P** refleja el impacto que las prácticas de control tienen sobre la tasa de erosión.

Para generar el mapa de pérdida de suelo utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, (EUPS). Se utilizaron mapas digitales (vectoriales y rasters) y tablas de coeficientes de referencia. A partir de un DEM de 20 m, se extrajo el factor Longitud de Pendiente (LS), del mapa taxonómico de suelos se derivó el factor Erodabilidad del suelo (K), mientras que los factores de cobertura, manejo (C) y prácticas de conservación (P) se obtuvieron del mapa de coberturas y usos de la tierra. Al final, todos los mapas se transformaron a formato rasters y la pérdida de suelo (PS) se determinó combinando los factores por medio de un procesamiento de álgebra de mapas en ArcGIS utilizando la expresión matemática $PS = R * K * LS * C * P$.

Para interpretar el grado de erosión se utilizó la tabla de erosión laminar de acuerdo con la (PS) propuesta por la (FAO, (Roma,1984), pág. 24)

3.4.3.4 Índice de riesgo a la degradación de suelos

Se propone un Índice de Riesgo de degradación (IRDS) de suelos basado en tres componentes que afectan directamente la condición del recurso suelo independiente a su desarrollo morfológico. Estos tres componentes son la capacidad del suelo para almacenar Carbono Orgánico, retener agua en su perfil y conocer el grado de susceptibilidad del suelo a ser erosionado por el agua de lluvia. Para lo cual arbitrariamente se asignó un peso de 30% a los componentes; COS, y CRAD. Y asumiendo un peso de 40% al efecto de la pérdida de suelo (PS) (Cuadro 6).

Cuadro 4. Erosión laminar de acuerdo con las pérdidas de suelo propuesta por (Aviles E. , Mendoza, Hoek, & Tellez, Nicaragua,2013, pág. 8)

Grado	Pérdida de suelo (ton ha⁻¹)	Riesgo de erosión
1	5	Muy bajo
2	5 – 10	Bajo
3	10– 25	Moderado
4	25 – 50	Alto
5	50	Muy alto

Para cada componente se elaboraron mapas, con previa determinación de rangos de interpretación establecidos para su mapeo (Cuadro 5; 6 y 7). Cada escala interpretativa se le asignó un color específico al estilo semáforo (Cuadro 9).

Cuadro 5. Valores o escala ponderación del CRAD propuesta para la microcuenca La Carreta, 2020

Valor (mm)	Peso de la variable (0-30)	Categorías
≥ 80	0.30	Muy Alto
79-60	0.25	Alto
59-40	0.20	Moderado
39-20	0.15	Bajo
≤ 19	0.10	Muy bajo

Cuadro 6. Valores a escala ponderación de la pérdida de suelos, propuesta para la microcuenca La Carreta, 2020

Valor ton ha ⁻¹	Peso de la variable (0-40)	Categorías
< 5	0.40	Muy bajo
5 – 10	0.35	Bajo
11– 25	0.30	Moderado
26 – 50	0.20	Alto
>50	0.10	Muy Alto

Cuadro 7. Valores a escala ponderación del carbono almacenado en el suelo, propuesta para la microcuenca La Carreta, 2020

Valor ton ha ⁻¹	Peso de la variable (0-30)	Categorías
≥ 50	0.30	Muy Alto
49-30	0.25	Alto
29-20	0.20	Moderado
19-10	0.15	Bajo
< 10	0.10	Muy bajo

Cuadro 8. Asignación de pesos por variables para obtener el valor del índice de degradación de suelos, propuesta para la microcuenca La Carreta, 2020

Variables	Peso de la variable (%)	Descripción
CRAD	0.30	En la medida que se aproxime a 0.30 significa mayor retención de agua en el suelo.
PS	0.40	En la medida que se aproxime a 0.40 corresponde a menor pérdida de suelos.
COS	0.30	En la medida que se aproxime a 0.30 el valor significa mayor almacenamiento de carbono en el suelo.
Valor total del índice	1.0	

Cuadro 9. Propuesta de categorías y colores para representar en mapas el Índice de Riesgo a la degradación de suelos, propuesta para la microcuenca La Carreta, 2020

Valoración del Riesgo	Categoría	Colores para cartografía
80	Muy bajo	
70-79	Bajo	
60-69	Moderado	
50- 59	Alto	
≤49	Muy Alto	

IV.RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Descripción taxonómica de los suelos encontrados en la microcuenca La Carreta

Los suelos minerales con mayor predominio o cobertura en Nicaragua, y clasificados taxonómicamente son: Ultisoles (44.77%), Alfisoles (16.37%), Entisoles (13.18%), Molisoles (12.64%), Inceptisoles (4.82%), Vertisoles (4.33%), Andisoles (2.75%), y Oxisoles (0.50%). Adicionalmente, los suelos Histosoles de origen orgánico en condiciones saturadas representan un 0.15% de la cobertura nacional, según el mapa de suelos de Nicaragua (Managua , Nicaragua 2015)

Los suelos del Pacifico son de origen volcánico resiente, muy fértiles, y son influenciados por los factores clima (temperatura- humedad), tipo de relieve, y buen drenaje que permite cultivar en laderas con fuertes pendientes. Sin embargo, muchos muestran deficiente de fósforo, azufre y de boro. Los subgrupos taxonómicos identificados en la microcuenca La Carreta son: *Typic Haplustepst*, *Lithic Ustorthents*, *Lithic Haplusterts*, *Typic Haplustalfs*

4.1.1 Inceptisol:

Typic Haplustepst: Posee un perfil en desarrollo (suelos incipientes), Son suelos pocos profundos a profundo, de formación reciente presentan un perfil con un horizonte de estructuras en desarrollo cámbico, Este subgrupo representa el 1.01% del área de la microcuenca (0.30 km²), y se localizan en la parte este de la comunidad Las Tablas. En pendiente plana a muy escarpada un relieve ondulado, con evidencias de erosión, drenaje interno moderado presenta un grado de alteración en su estructura, de horizonte Bw.

En el horizonte A de 0 a 19 cm presentan una textura arcillosa de consistencia adhesiva en mojado de color marrón rojizo oscuro (2.5YR 2.5/4) en húmedo y raíces muy finas y pocas.

En el horizonte Bw de 19 a 24 cm presentan un color rojo oscuro (2.5YR 3/2 una textura franco arenoso a arcilloso en mojado de consistencia adhesiva, raíces muy pocas finas y gruesas.

Horizonte BC una profundidad de 24 a 60 cm el color del suelo es rojizo oscuro (2. 5YR3/4) una textura franco arcilloso de estructura en bloque subangular de consistencia adhesiva en mojado y plástica en húmedo la porosidad es poco pocas raíces. En el horizonte de 60 cm Color rojo amarillento (5YR 5/8) en húmedo; textura franco arcilloso; estructura en bloque

subangular; consistencia ligeramente plástica en húmedo y adhesivo en mojado; limite abruptos poros; raíces pocas y finas. El uso actual de este suelo agropecuarios vegetación arbustiva, bosque latifoliado abierto.



Figura 4. Perfil representativo del subgrupo taxonómico *Lithic Haplustepst* microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos Chinandega, 2020.

4.1.2 Entisol:

Lithic Ustorthents

Son suelos superficiales, y ocupa la mayor extensión dentro de la microcuenca (16.27 km²), del total del área. Son suelos de formación reciente y ocupan el mayor porcentaje de área con un 53.69%, en pendientes muy escarpadas. Poseen un contacto lítico a 50 cm de la superficie del suelo.

El horizonte A presenta un color marrón rojizo (5 YR 4/4) y (5 YR 3/4) en húmedo y una textura franca arenoso de consistencia friable en seco, adhesivo en mojado y plástico en húmedo de los poros varían entre grandes y medianos el pH es ligeramente ácido, altos contenidos en nitrógeno, potasio, y presencia de materia orgánica media, el uso actual es: agropecuarios árboles dispersos más pastos bosque de galería.



Figura 5. Perfil representativo del subgrupo taxonómico *Lithic Ustorthents* microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos Chinandega, 2020

4.1.3 Vertisol:

Lithic Haplusterts

Estos suelos presentan una cobertura de 24.93 % del área de la microcuenca, (7.55 km²) en el horizonte A₁ presentan un color gris (GLEY 1 7/10Y) en seco y en húmedo presentan un color gris muy oscuro (GLEY 1 6/10Y). Son suelos de consistencia dura en seco y plásticos en húmedo que presentan poros medianos y finos poca materia orgánica, alto porcentaje de saturación de bases y abundantes raíces finas, y textura arcillosa.

En el horizonte A₂ el color es gris en seco y gris oscuro en húmedo (GLEY 1 7/10Y) Y (GLEY 1 6.5/10Y) presentan una textura arcillosa de consistencia dura en seco y plástico en húmedo, el pH es ligeramente ácido, materia orgánica pobre, alto porcentaje de saturación de base, uso actual agropecuario, pasto más árboles dispersos, tacotal, y cultivos.



Figura 6. Perfil representativo del subgrupo taxonómico *Lithic Haplusterts* microcuenca La Carreta, San Juan Cinco pinos Chinandega, 2020.

4.1.4 Alfisol:

Typic Haplustalfs

Estos suelos de horizonte superficial claro a oscuro, con un horizonte enriquecido de arcilla iluvial (argílico Bt), desarrollados a partir de rocas ácidas. El área de cobertura en la microcuenca es de 20.4% (6.17km²), localizados en zonas de relieve plano a ondulados, el drenaje interno es moderado a bajo y de partículas muy finas.

El color que presentan en el horizonte A es marrón oscuro en mojado y marrón rojizo oscuro en húmedo (7.5 YR 3/3) y (5 YR 3/3) de textura arcillo limoso, pocas raíces gruesa y abundancia de raíces finas.

En el horizonte Bt la textura es arcillosa de consistencia friable en húmedo, adhesivo y plástico en húmedo poca presencia de raíces y muy finas presentan un color marrón oscuro en mojado y marrón rojizo oscuro en húmedo (2.5 YR 3/6). En el horizonte C presentan un color rojo en húmedo (2.5 YR 4/8). El uso actual para este suelo es bosque de galería, tacotales, pequeños parches de bosques secundarios y pasturas.



Figura 7. Perfil representativo del subgrupo taxonómico *Typhic Haplustalf* microcuenca La Carreta, Cinco Pinos, Chinandega 2020.

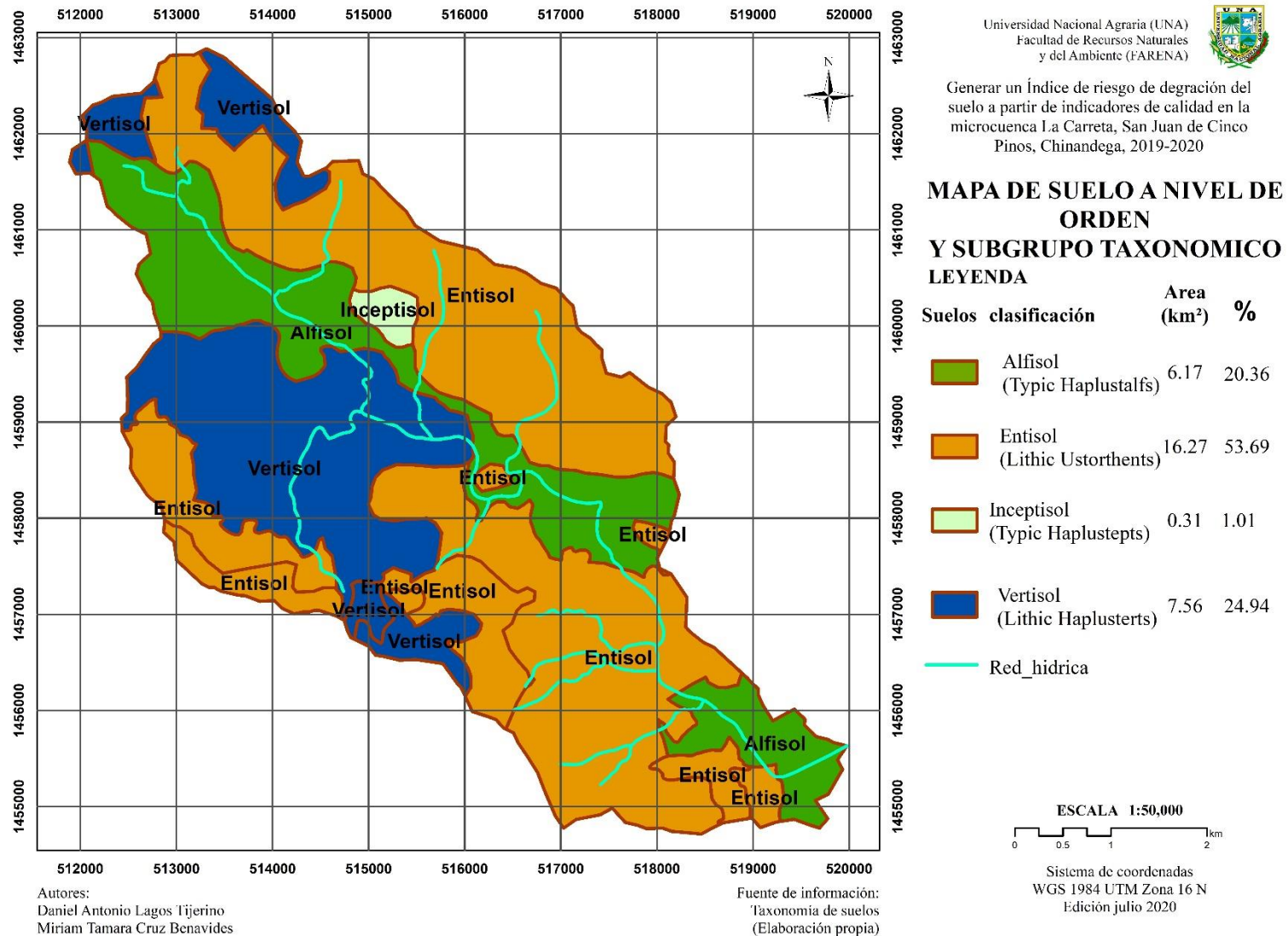


Figura 8. Mapa de suelo a nivel de orden y subgrupo taxonómico de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020

Según el mapa de cobertura y uso, las áreas con mayor extensión de uso dentro de la microcuenca es el agropecuario con un área de 10.43km^2 , áreas de bosque latifoliado abierto 9.13km^2 y el área de pasto con árboles dispersos con un área de 5.01km^2 .

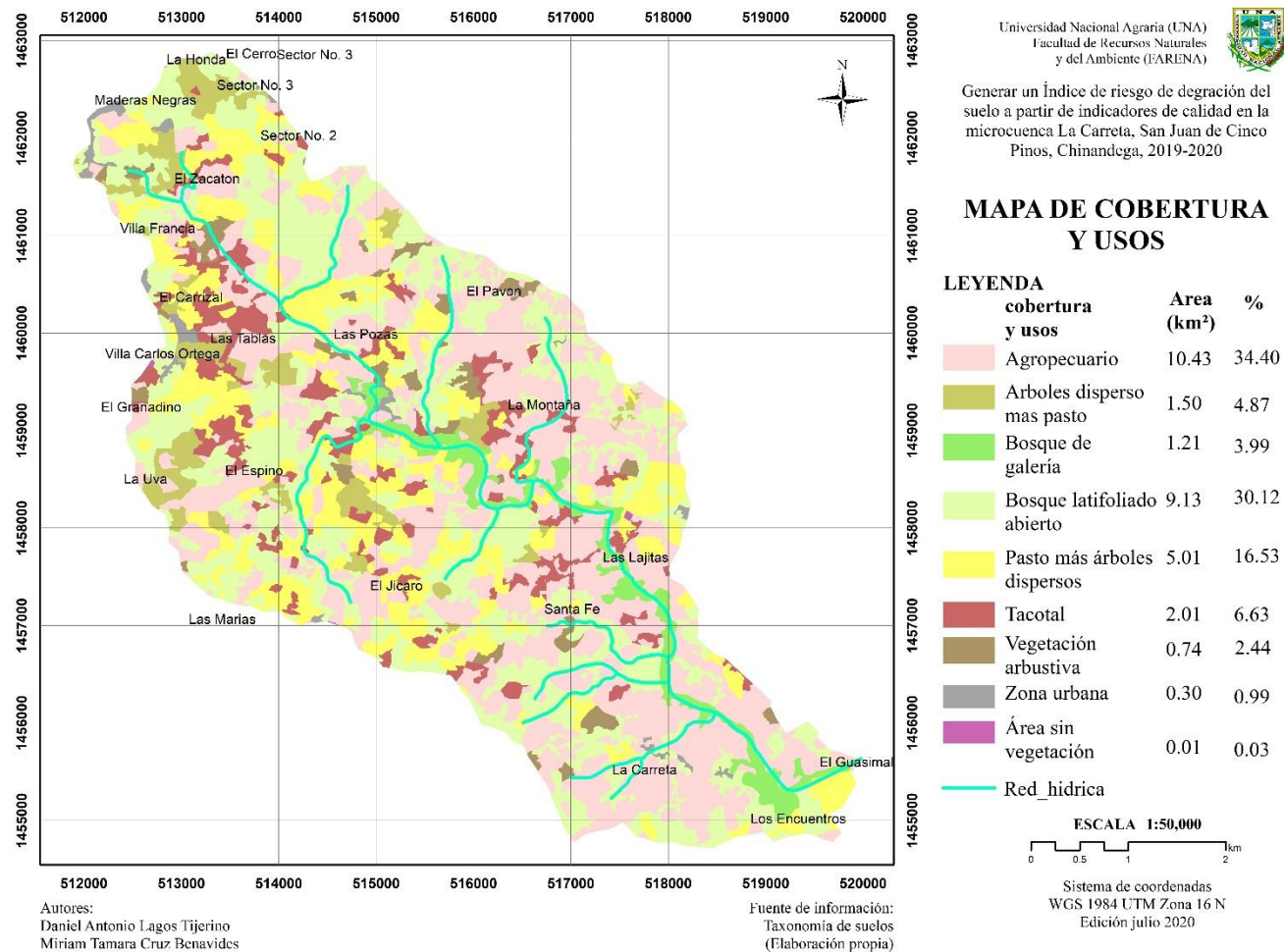


Figura 9. Mapa de cobertura y usos de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020.

4.2 Almacenamiento de Carbono Orgánico del Suelo (COS)

El COS es el componente principal de la Materia Orgánica del Suelo (MOS). Como indicador de la salud del suelo es importante por sus contribuciones a la producción de alimentos, la mitigación y adaptación al cambio climático, y el logro de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). (FAO,2017).

Los suelos representan el mayor reservorio de Carbono Orgánico terrestre. Dependiendo de la geología local, las condiciones climáticas el uso y gestión del territorio (entre otros factores ambientales) los suelos tienen diferentes cantidades de COS. (FAO, 2015)

Según el estudio realizado en la microcuenca, La Carreta los suelos con mayor porcentaje de almacenamiento de Carbono Orgánico son los Alfisol con un total de 39,24 CO ton ha⁻¹ para los suelos Inceptisol con 30,81CO ton ha⁻¹ los suelos Vertisol tienen un 22, 8 ton ha⁻¹ y los que tienen el menor porcentaje de retención son los Entisoles con 12,74 CO ton ha⁻¹

Esto se debe a que los suelos Alfisol e Inceptisol tienen características considerables como el tipo de suelo, profundidad, pendiente (plana a inclinada), textura (arcillosa) a (franco arcilloso) presencia de raíces finas en abundancia y un drenaje interno moderado. También se debe al uso y manejo de los suelos.

Estas características le proporcionan al suelo una mejor retención COS lo que permitirá a los productores y dueños de tierras en el sector productivo un mayor rendimiento de sus cultivos, mayor CRAD y reducción de PS que le proporcionarán a los suelos muchos beneficios en cuanto a sus propiedades físicas y en la calidad de vida (económicas, ambientales).

Los suelos Vertisol según los resultados del estudio sus características presentan un pH ligeramente ácido, de consistencia dura en seco y plástico en húmedo, son pobres en MO, y presentan un alto porcentaje de saturación de base. que no favorecen al suelo para retener mayor COS así mismo su uso y manejo que se le da al suelo influyen en el resultado del estudio.

Los suelos Entisol tienen características como: pendientes pronunciadas, textura franca arenoso y un pH ligeramente ácido, con porosidad que varía entre grandes y medianos, presencia de MO media. Dichas características inciden en que estos suelos retengan menor porcentaje de COS debido a las condiciones que presentan. También se debe al uso y manejo de dichos suelos ya

que estos suelos son utilizados para uso agropecuario y pastos en áreas con pendientes muy escarpadas. Pero se podría incrementar el porcentaje de COS al realizar prácticas de conservación y manejo que mejoren las propiedades del suelo y sus condiciones de vida para los productores y habitantes del sector en la microcuenca.

El COS es importante por sus contribuciones a la producción de alimentos, la mitigación y adaptación al cambio climático, mejora la disponibilidad de agua, la fertilidad del suelo y en definitiva mejora la productividad de los alimentos. Además, el COS mejora la estabilidad estructural del suelo promoviendo la formación de agregados que junto con la porosidad aseguran suficiente aireación e infiltración de agua para promover el crecimiento de la planta (Clara., Fatma., Viridiana., & Liesl., Roma, 2017).

Para que un suelo almacene más COS, que otro depende sobre todo de la temperatura y de la disponibilidad de oxígeno, el drenaje y uso de la tierra los sistemas de cultivos, el manejo del suelo. (Robert M. , Roma, 2002, pág. 2).

La implicancia de la presencia del COS para los sistemas productivos y la conservación del ambiente a corto, mediano y largo plazo de acuerdo al uso que se les da a los suelos. Para los suelos con menor porcentaje de COS incluirá el mejoramiento de las propiedades químicas, la biodisponibilidad de elementos, mayor fertilidad y resiliencia contra la degradación física especialmente de la erosión, productividad de la tierra para la producción de alimento y la seguridad alimentaria, Por lo tanto, el COS contribuirá a restaurar la calidad de los suelos degradados en la microcuenca y mejorará las condiciones de Vida de sus habitantes.

Los beneficios adicionales relacionados incluirán el mejoramiento de las propiedades químicas, la biodisponibilidad de elementos, mayor fertilidad y la resiliencia contra la degradación física, especialmente de la erosión. (Roma, 2002, pág. 6)

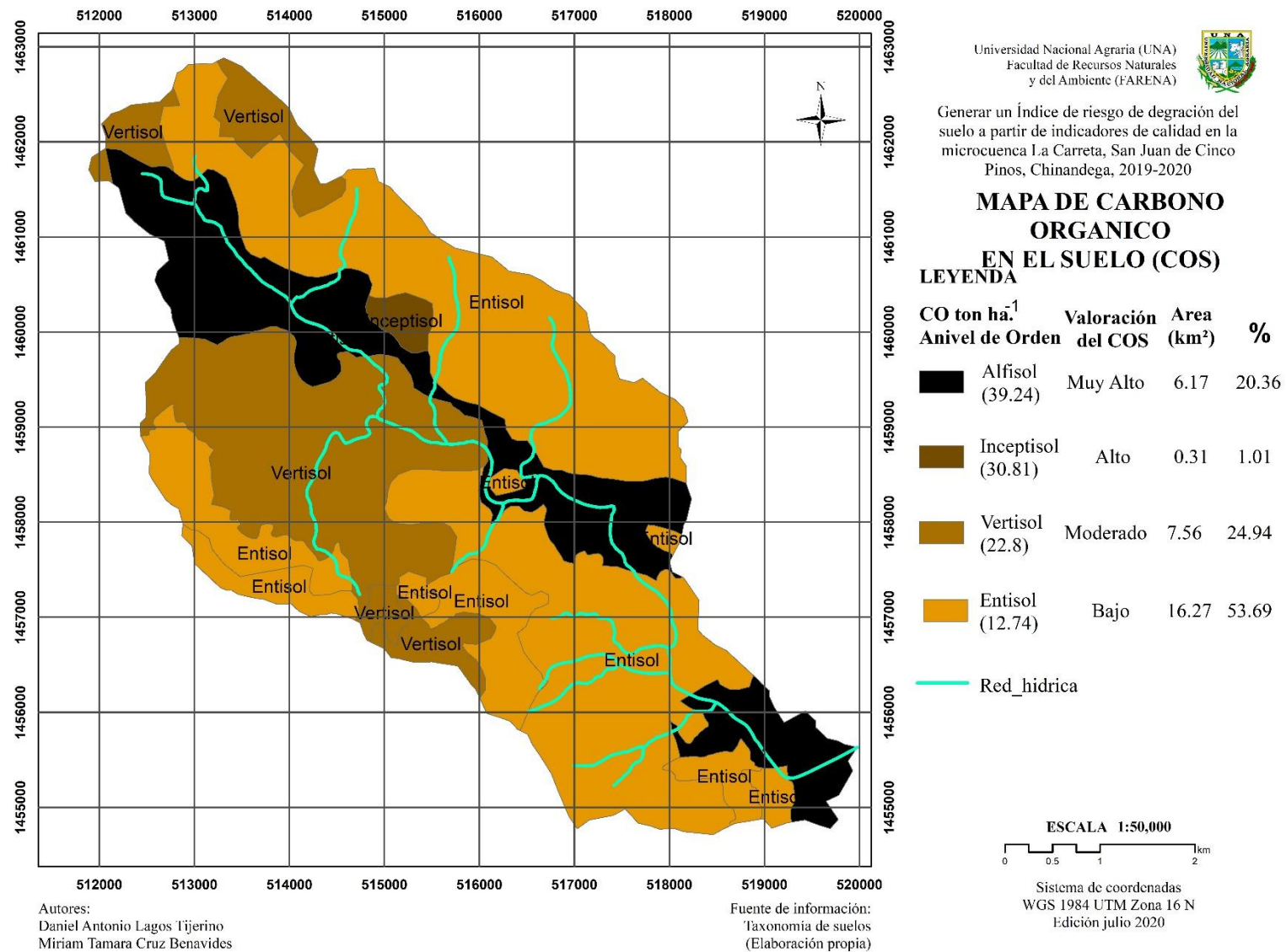


Figura 10. Mapa de Carbono Orgánico en el suelo de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020

4.3 Capacidad de Retención de Agua en el Suelo (CRAD)

Es la cantidad de agua en un perfil de suelo que puede extraerse teóricamente por la planta después que ha drenado libremente por gravedad durante un periodo de tiempo, y ha sido definida por la diferencia en el contenido de humedad entre la Capacidad de campo (CC) y el Punto de Marchitez o Porcentaje de Marchitez Permanente (PMP). (Valero, A., 1999, pág. 30)

Según (valero, A, 1999, pág. 47) Los factores que condicionan el CRAD Son:

- Textura,
- Estructura,
- Materia orgánica,
- Espesor del suelo explorado por las raíces
- La secuencia de capas en el perfil

Los suelos de textura fina retienen más agua, porque hay más poros y partículas pequeñas. La estructura rica en poros facilita la aireación y aumenta el contenido de agua disponible. Si un suelo arenoso se compacta, suelos de forma de textura más fina, mayor retención de agua, también la materia orgánica elevada en el suelo aumenta la porosidad, conservando cantidades considerables de agua. Los suelos profundos pueden retener más agua y suministrar lo que se necesita a los cultivos durante su ciclo. La secuencia de perfiles puede tener una diferencia notable en CRAD, ya que si hay una capa de arcilla debajo de una capa de arena retrasa la infiltración de agua. (Sancho A. L., 1999)

El conocimiento de la CRAD beneficia a los productores ya que donde existen las mayores láminas de agua disponibles permiten mayores áreas a cultivar y más diversidad de rubros

Los suelos **Vertisoles** tienen una profundidad de 65 cm, textura arcillosa, abundancia de raíces finas y presencia de poros de pequeños a medianos también se debe al uso y manejo de estos suelos porque según el mapa de uso actual se utilizan para uso agropecuario, pasto más árboles dispersos, tacotal, y cultivos lo que podría considerarse una estrategia para que el suelo pueda retener agua aprovechable. estos factores condicionan el CRAD estimado de **115.78 mm** y es de baja interpretación según el USDA, 1983. Esto corresponde a lo que Sancho mencionó, en 1999, a su vez estos resultados no difieren tanto de los valores indicativos mencionados en cada metro de espesor, lo que sugiere un CRAD de 120-180, para este tipo de textura.

El valor del CRAD, estimado en los suelos **Alfisol** es de **86.01mm** en capacidad de retención de agua disponible se debe a que los factores como la textura (arcilloso) a (arcilla limosa), la profundidad del suelo está ubicados en zonas con relieves planas a onduladas y la disponibilidad de materia orgánica. Son considerables para retener agua en el suelo.

Según el USDA, 1983. Esto corresponde a lo que Sancho mencionó, en 1999, a su vez estos resultados no difieren tanto de los valores indicativos mencionados en cada metro de espesor, lo que sugiere un CRAD de 105 - 125, para este tipo de textura.

El CRAD, menor se encuentra en el orden de suelo **Entisol**, siendo de **36.53mm**, es porque son suelos poco profundos (27 cm) y una textura Franca arenoso, la porosidad varía entre grande y mediano, presencia de materia orgánica media y pendientes muy pronunciadas.

Según el mapa de uso de suelo actual en sobre posición con el mapa del CRAD resulto que los suelos Entisoles (con menor CRAD) con un área de 9.56 km² tienen mayor diversidad de sus rubros; resaltando los granos básicos, ganadería mayor, hortalizas, arreglos de árboles dispersos más pastos y pastos más árboles dispersos. Es muy posible que las comunidades que se ubican sobre estos suelos hayan adoptado la diversificación como una medida de adaptación ante el cambio climático y sus resultados sean producto de la optimización del recurso agua.

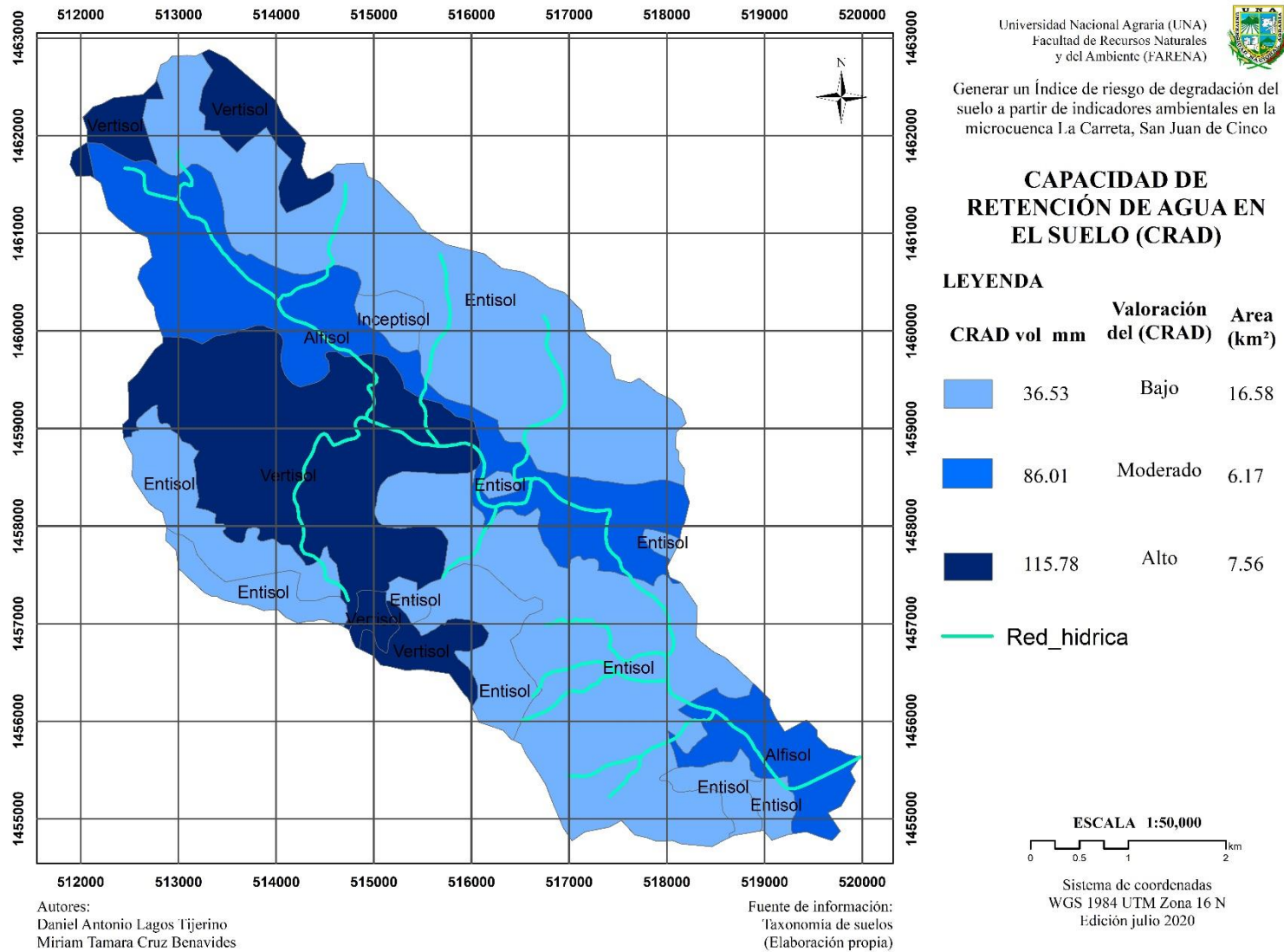


Figura 11. Mapa de Capacidad de Retención de Agua en el suelo de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020

4.4 Pérdida de suelo (PS)

Los procesos que provocan una disminución de la capacidad productiva del suelo se denominan procesos de degradación, entre los cuales uno de los más importantes es la erosión. (INTA 2017, pág. 1). La estimación de las pérdidas de suelo por este fenómeno es una información de suma importancia para la planificación y toma de decisiones a diferentes niveles.

El modelo USLE depende de seis factores:

- erosividad de la lluvia (R)
- erodabilidad del suelo (K),
- longitud y gradiente de la pendiente (LS),
- cubierta y manejo de cultivos y residuos (C),
- prácticas de conservación (P),
- la pérdida de suelos promedio (A) (Gaitán, y otros, 2017, pág. 5)

Los factores que afectan la erosión y la sedimentación se basan en el tipo de erosión en cuestión. Sin embargo, como regla general, se puede decir que la erosión que se producirá en un suelo específico dependerá directamente de ciertas variables, que se enumeran a continuación (Morgan, 2005): clima, vegetación, tipo de hoja, velocidad del flujo de topografía y uso del suelo. (Brea & Balocchi, 2010, pág. 9)

La PS por erosión hídrica mediante la EUPS, incide en las posibilidades de hacer predicciones que ayuden en la toma de decisiones sobre la protección o conservación del suelo frente a la erosión, y determinar acciones sobre factores muy específicos que están afectando localmente.

Las estimaciones de pérdidas de suelo aplicando la EUPS, indica que las áreas con mayor riesgo a la erosión hídrica, son los suelos clasificados como Entisoles por presentar pendientes muy pronunciadas mayores al 40%, y una cobertura vegetal baja. Esto debido al cambio de uso del suelo de bosques a agrícolas y ganaderas. Los resultados mostraron que un 16.12% del área de la microcuenca presenta una erosión clasificada de alta con valores oscilantes entre 25 y 50 ton ha⁻¹) a muy alto con valores mayores a 50 ton ha⁻¹.

En las áreas donde se presentó menor riesgo de erosión hídrica, es recomendable considerar la promoción de acciones de conservación de suelos en suelos bajo uso agropecuario, siempre y cuando se introduzca mayor cobertura vegetal en los sistemas productivos incluyendo pasturas.

Para los suelos Entisoles con mayor riesgo a la degradación por erosión hídrica, donde los factores pérdida de cobertura por cambios en uso del suelo, y las condiciones escarpadas de sus terrenos se vuelven muy susceptible a la degradación. El autor (Do Prado, Wildner., & da Veiga, sf). Expresa que los cambios en las propiedades del suelo, provocados por la erosión, producen alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva. Por lo que son suelos con tendencia a degradarse, se deben implementar estrategias y el cambio en cuanto al uso y manejo actual para recuperar sus propiedades y mejorar sus condiciones ambientales ya que estos suelos representan el mayor porcentaje de área dentro de la microcuenca. Al hacer cambios en sus actividades de uso y manejo e implementar estrategias de conservación los riesgos de degradación disminuyen y la capacidad de producción es más rentable y se mejoran las condiciones para el productor.

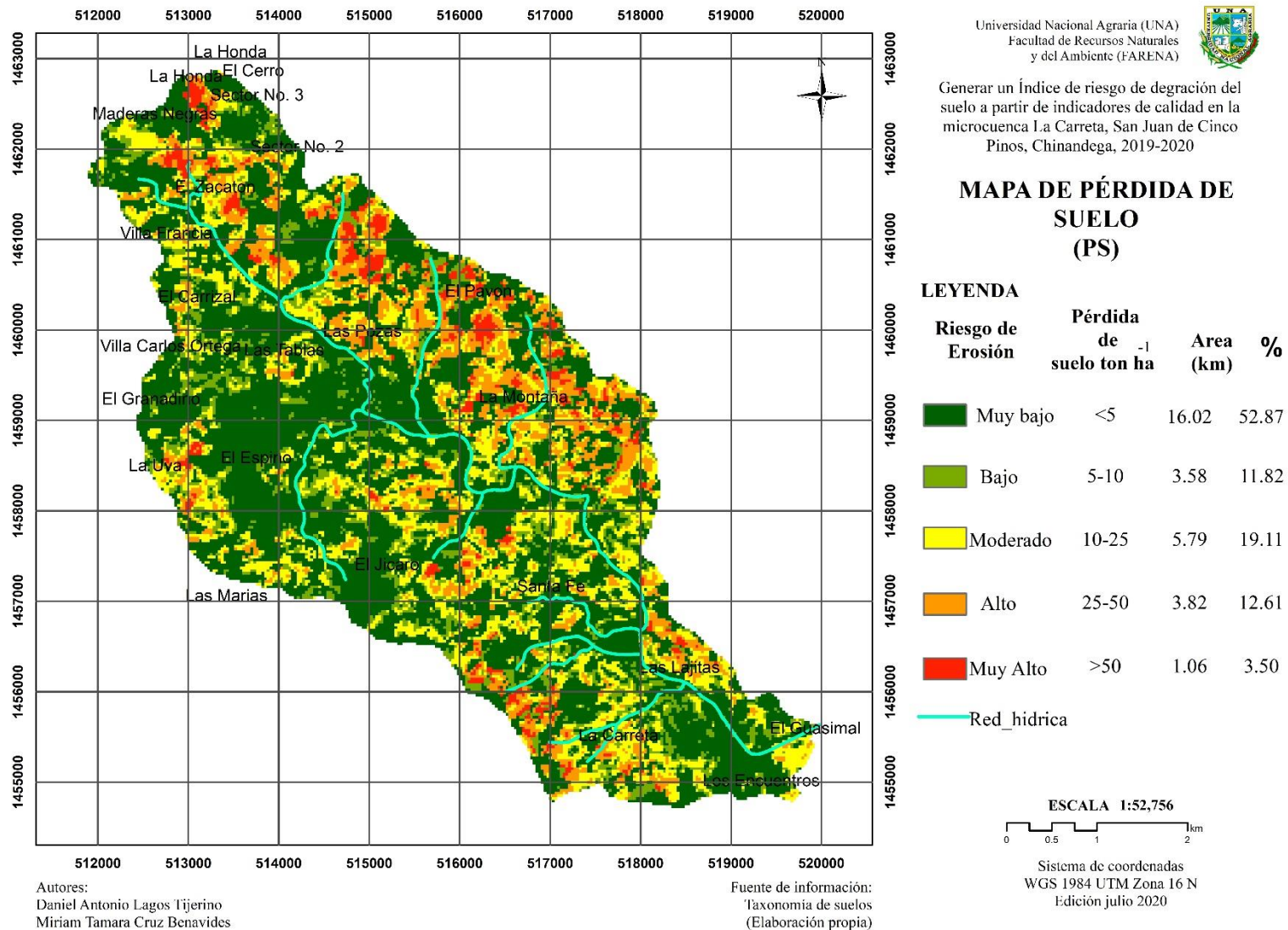


Figura 12 . Mapa de Pérdida de suelo de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos, Chinandega, 2020

4.5 Índice de Riesgo de Degradación del suelo (IRDS)

El índice de riesgo a la degradación de suelo (IRDS), es un indicador ambiental de suelo para determinar la situación actual o condición del recurso suelo, así como también para medir los cambios y predecir respuestas. El IRDS determina el estado de degradación, basado en la capacidad de almacenar Carbono en el suelo, la retención de agua para las plantas y la susceptibilidad del suelo a ser erosionado por el agua de lluvia en los suelos de la microcuenca.

Los factores más influyentes en el IRDS en los suelos de la microcuenca son:

- factor pendiente
- textura del suelo
- profundidad del suelo
- COS
- CRAD
- PS

La importancia de conocer las condiciones del suelo mediante el IRDS. Evita riesgos más cuantiosos para los productores y reduce los daños que se generan por PS que causan la degradación y cambios en las propiedades físicas y químicas de los suelos.

Según los resultados del índice de riesgo, indican que en el área de los suelos de orden Vertisoles y Alfisoles el riesgo de degradación es moderado, debido a que se encuentran en el rango de 60-70 y esta valoración ocupa el 78.34% del área total por presentar condiciones que favorecen al suelo de textura (arcilloso, arcillo limoso) mayor cobertura y porosidad. En estas áreas se pueden desarrollar actividades productivas de índole agropecuario, tomando en cuenta algunas restricciones de pendientes para áreas muy puntuales en las que se podría implementar Obras de Conservación de Suelo y Agua (OCSA).

Las áreas con moderado riesgo a degradación son consideradas así, ya que entre más se aproximan a 100 hay menor pérdida de suelo, mayor CRAD y mayor cantidad de Carbono almacenado, esto de alguna manera indica el cuidado y salud del recurso suelo.

Los suelos de orden Entisoles obtuvieron un IRDS con rango de 0-60, indicando que estas áreas son de alto riesgo a degradación (física, biológica y química). En este rango se ubica el 21.66 % del área total de la microcuenca. Por tanto, es en esta área donde hay mayor riesgo a la pérdida de suelo, menor CRAD y menor cantidad de Carbono almacenado en el suelo. De esto, se puede deducir que son suelos más empobrecidos y es a los que se les debe agregar más enmiendas e implementar más y diversas OCSA, si se desea desarrollar actividades agropecuarias. Los productores de esta zona podrían mejorar su producción, con acciones de restauración al daño de sus tierras. Los tomadores de decisión de esta microcuenca, deberían considerando el IRDS como información básica para realizar su planificación estratégica agraria y gestionar el manejo sostenible de sus recursos naturales.

Los resultados obtenidos pueden ser utilizados en diferentes proyectos que tengan el enfoque de agricultura sostenible para aportar a la seguridad alimentaria, con énfasis en la priorización de áreas con gran potencial de degradación de los suelos de la microcuenca de las Carreta.

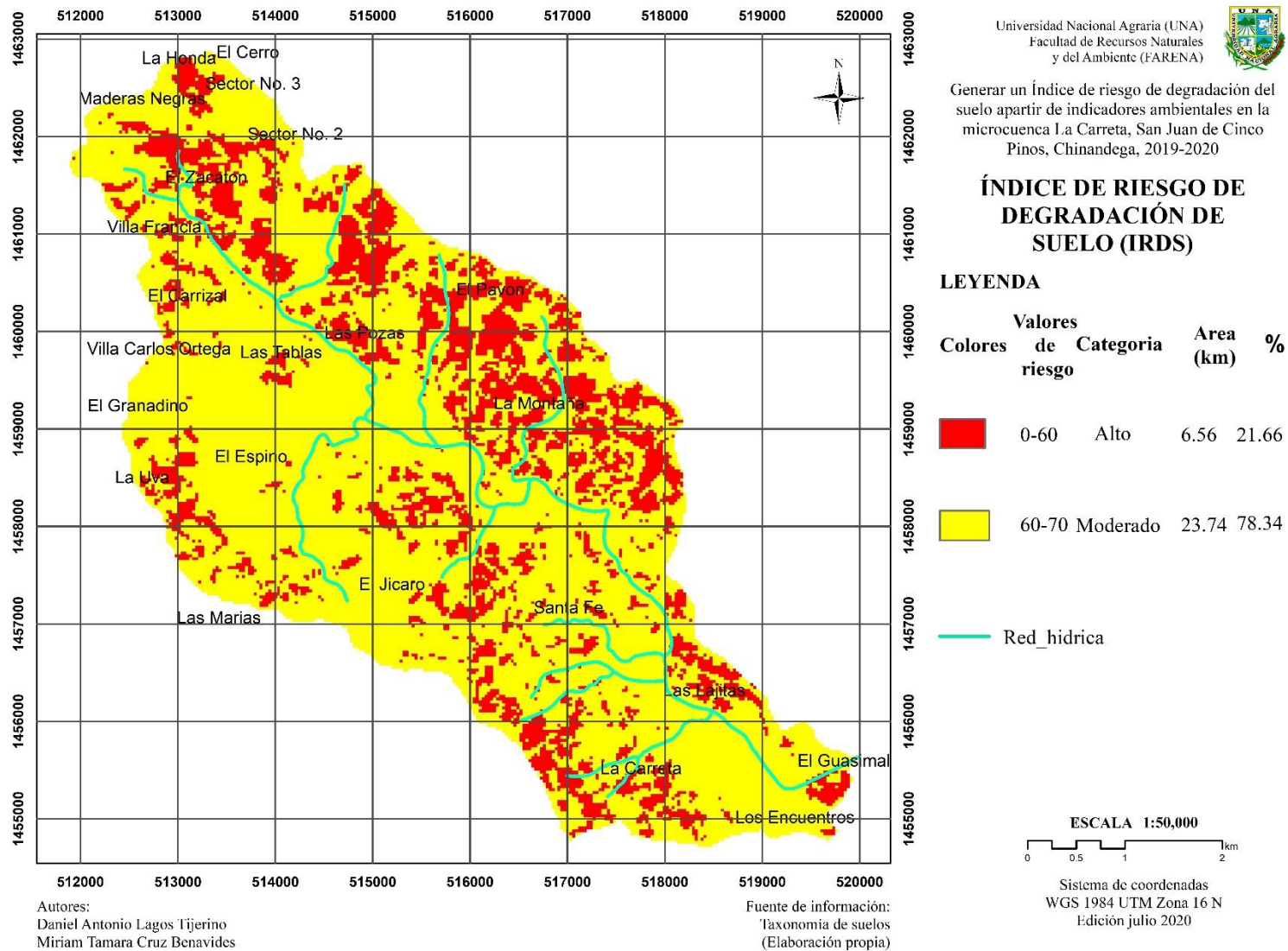


Figura 13.Mapade Índice de Riesgo de Degradación de suelo de la microcuenca La Carreta, San Juan Cinco Pinos Chinandega, 2020

V. CONCLUSIONES

EL almacenamiento de COS depende del desarrollo del perfil de suelo (Alfisol/Inceptisol). Sin embargo, estos suelos presentan alta presión por uso agropecuario localmente. Estos suelos son capaces de almacenar **39.24 ton ha⁻¹**, pero solamente representan un 20.36% del área en la microcuenca. Sin embargo, en suelos Entisol con mayor extensión territorial (53.69%), almacenan 12.74 ton ha⁻¹ de CO (12.06%), por su baja producción de biomasa generada por la cobertura de bosque y tacotales en descanso.

La mayor CRAD disponible (115.78 mm), se localiza en un 31,09% de la superficie de la microcuenca. Resultados que podrían estar asociados a el tipo de textura y tamaño de poros, profundidad, características que presentan los suelos Alfisoles y Vertisoles.

La erosión potencial estimada para la microcuenca es afectada por la conversión de uso de bosque a granos básicos y pasturas en las áreas de laderas con pendientes mayores 40%, donde predominan suelos superficiales del tipo Entisol. El área que presenta mayor erosión potencial, (25 y más de 50 ton ha⁻¹), representa un 16.12% del área total de la microcuenca, y es clasificada de alto a muy alto.

La microcuenca presenta un 21.66% de su área, con un índice de riesgo a la degradación de suelos alto en zonas escarpadas, de suelo superficiales donde predominan los suelos Entisoles. Lo cual constituye una fuerte amenaza y presión para los suelos con mayor desarrollo y para las áreas con cobertura arbórea permanente. El riesgo a degradación moderado lo encontramos en los suelos de orden Vertisol y Alfisol, que ocupan un 78.34% del área, con menor PS, mayor CRAD y más COS almacenado.

Lo cual implica desarrollar tanto estrategia ambiental y productiva que permitan conservar área de leve riesgo, como desarrollar estrategias de restauración para suelos con índices críticos de degradación en el territorio.

VI. RECOMENDACIONES

- Para evitar la pérdida de suelo y conservar la humedad del suelo se recomienda utilizar los suelos de acuerdo con el potencial de uso y aumentar su cobertura vegetal.
- Implementar prácticas de manejo para mejorar la estructura del suelo en pendientes muy pronunciadas.
- Es recomendable realizar un muestreo de suelo a mayor detalle para próximos estudios que traten de desarrollar un Índice de Riesgo a Degradación del Suelo (IRDS)
- En las zonas de alto índice de riesgo a la degradación de suelos es (IRDS) necesario recomendar acciones de restauración de suelos, tales como: Asociación de Cultivos, prácticas de manejo y conservación, concientizar a la población del uso adecuado del manejo de los suelos.

VII. Bibliografías

- Amdihun, A., Gebremariam, E., Rebelo and, L., & Zeleke, A. (2014). Modeling Soil Erosion Dynamics in the Blue Nile (Abbay) Basin: A Landscape Approach. *Researc Journal of Environmental Sciencies*.
- Andrés F. Carvajal^{1*}, A. F. (2009). *Carbono orgánico del suelo en diferentes usos del terreno de paisajes andinos colombianos* .
- Aviles, E., Mendoza, R., Hoek, R., & Tellez, O. (Nicaragua,2013). *Evaluación del efecto de los sistemas cultivo- arboles- ganado sobre el control de la erosión inducida por el agua de lluvia, en zonas de laderas de la microcuenca Tecomapa, Somotillo* .
- Aviles, S., Mendoza, R., Aguirre, C., Hoch, R., Mena, M., & Tellez, O. (Nov de 2018). *Evaluacion de la calidad de suelos en sistemas de cultivos -arboles- pastos, microcuenca Tecomapa, Somotillo-Nicaragua*. *La Calera*, 18(31), 98-103. Recuperado el 6 de May de 2020, de [http:// La Calera. una. edu. ni](http://LaCalera.una.edu.ni)
- Betancourt, F. B., & Vega, R. T. (Septiembre de 2019.). *Análisis de la estructura y funcionalidad de las especies arbóreas en sistemas de producción en ocho fincas del municipio de Cinco Pinos, Chinandega*. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/3895/1/tnk10b562.pdf>
- Betancourt, M. L., & Calderon, T. M. (Junio- Julio de 2012- 2013). *Evaluación del estado actual de los suelos en los municipios de Villanueva y Chinandega*,.
- Black, W. . (1946). *Carbono Organico del Suelo*. Recuperado de <http://www.inta.gob.ar>
- Brea, J. D., & Balocchi, F. (2010). *Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas*. (UNESCO, Editor) Recuperaado de UNESCO Documento PHI-VII/ Documento Tecnico N 22 : <file:///G:/DOC%20PARA%20Metodologia%20De%20Tesis/erosionysedimentacionvol1-151110211338-lva1-app6891.pdf>
- Brian, A. S. (Abril, 2002). *Métodos para la determinación de total orgánicocarbono (toc) en suelos y sedimentos*. Agencia de Proteccion Ambiental de los Estados Unidos División de Ciencias Ambientales Nacional Laboratorio de investigación de exposición. Recuperado de https://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=http://bcodata.who.edu/LaurentianGreatLakes_Chemistry/bs116.pdf&prev=search
- Caracterización Municipal de San Juan de Cinco Pinos*. (Abril a Octubre de 1989 y Abril de 1990).
- Castillo, E. J. (Junio de 1972). *Revista de Temas Nicaragüenses* . Recuperado de <http://www.temasnicas.net/>

- Chavarría S., M. A., Mercado M., G. A., & Serrano G., J. F. (2017). *Plan Estratégico de Desarrollo Turístico Sostenible para el Municipio de Santa Lucía, departamento de Boaco, en el período de agosto 2016-febrero 2007*. Título de Licenciatura, Managua.
- Clara., L., Fatma., R., Viridiana., A., & Liesl., W. (Roma, 2017). *Carbono organico del suelo el potencial oculto*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/I6937Es/i6937es.pdf>
- Cruz, G. (2015). *Estudio de impacto Ambiental*. Managua- Nicaragua.
- Dane, J., & Topp, G. (2002). *Methods of: soil. Analysis. part 4 physical- Methods soil. Sci, Soc,Am. Book. Series No: 5 soil Science. Society. of. America; Inc. Madison. wis.*
- Do Prado, L., Wildner., & da Veiga, M. (sf). *Erosión y perdida de fertilidad del suelo*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/T2351S06.htm>
- EcuRed. (s.f.). *San Juan De Cinco Pinos (Nicaragua)*.
- FAO. (Roma,1984). *Metodologia provisional para la Evaluacion y la Representacion Cartografica de la desertilizacion*.
- FAO. (2015). *Mapa de Carbono Organico del Suelo*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3794e.pdf>
- Gaitán, J.; Navarro, M.; Vuegen, L.; Pizarro, M.; Carfagno, P.; Rigo, S. (INTA 2017). *Estimacion de la pérdida de suelo por eroción hidrica en la Republica Argentina*. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro_erosion_hidrica_rep_argentina.pdf
- Herrera, C., E, M., Herrera, L., & D, G. (febrero de 2009). *Evaluación De Los Factores De La Ecuación Universal De Pérdida De Suelo*.
- Hidrología. (Martes de agosto de 2011). *Ecuación universal de perdida de suelo mediante la aplicacion del Arcgis*. Recuperado de <http://walterbardalesrecursoshidricos.blogspot.com/2009/12/ecuacion-universal-de-pérdida-de-suelo.html>
- [https://www.ecured.cu › San_Juan_de_Cinco_Pinos_\(Nicaragua_\(s.f.\)\)](https://www.ecured.cu › San_Juan_de_Cinco_Pinos_(Nicaragua_(s.f.)))
- Hurni. (Enero de 1985). *Sistemas de eroción - productividad - conservacion*. Recuperado de <http://www.reasearchgate.net>
- INETER. (Managua , Nicaragua 2015). *Mapa de suelos de la republica de Nicaragua*.
- INETER. (2004). *Mapa Geológico Minero de Nicaragua*. Recuperado de <http://www.igg.unan.edu.ni/geoportel/index.php/geological/>.
- J. M. Domingo Santos*, R. F. (2016). *Estimación de la capacidad de retención de agua en el suelo: revisión*.
- Juarez Rivera, N. Y., & Barrera , E. A. (2007). *Plan de desarrollo urbano para la ciudad de Santa Lucia, Departamento de Boaco, Para el periodo 2007-2022*. Managua.

- Lal. (Noviembre de 2004). *Secuestro del Carbono del Suelo para mitigar el cambio climatico*. Recuperado de <http://wwwresearchgate.net>
- Lefèvre Clara, R. F. (FAO,2017). *Carbono Organico del Suelo : Potencial oculto*. Organizacion de las Naciones Unidas, para la Alimentacion y Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/3/b-i6937s.pdf>
- Léster O., J. (2003). *Informacion estadistica del sector Agropecuario, Estructura agraria municipal, Uso potencial del suelo, Uso del agua en la Agricutura por Municipio*. INIDE-MAGFOR, Boaco. Nydia Icaza Espinoza.
- Lopes, R. (2002). *Degradacion del suelo Causas, procesos, Evaluaciones e Investigacion*. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigacion Ambiental y territorial Universidad de los Andes. Recuperado de <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>
- Maltez, A., & Cruz, S. (Marzo de 2019). *Inventario de Prácticas Agroecológicas en 16 Fincas en el Municipio de San Juan de Cinco Pinos, Chinandega*. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/3860/1/tne90m261.pdf>
- Naturales., S. S. (Martes 31 de Diciembre de 2002). Norma Oficial Mexicana NOM - 021-RECNAC, 2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificacion de suelos.Estudios, muestreos y analisis. *Diario oficial*.
- Nelson Ruiz, J. (Octubre de 2015). *Estimación de la erosión hídrica a través de modelación medianteun sig, en la zona cañera de la vertiente del pacífico de guatemala*.
- Nelson, D., & Sommers, L. (1982). *Total carbon, organic carbon, and orgnic matter*. In *Methods"of soil Analysis, part 2*, ed. A. L. Page.Agronomy No. 9, Monograph series, American Society of Agronomy, Madison, wis., pp. 539-79.
- Orellana, G; Sandoval, M; Linares, G; Garcia, N; Tamaris, J. ((Enero/Marzo) de 2012). *Descripción de la dinámica de carbono en suelos forestales mediante un modelo de reservorios*.
- Porta, J., & Lopez, M. (2005). *Agenda de Campo de Suelos . Informacion de suelos para la agricultura y el medio ambiente*. Universitat de Lleida (Cataluña, España): Ediciones Mundi-Prensa .
- Robert, M. (Roma, 2002). *Captura de Carbono en los Suelos para un mejor manejo*. Recuperado de <http://infobosques.com/portal/wp-content/uploads/2016/03/wsrr96s.pdf>
- Rosse. (1977). *Valores de Cobertura para diferentes formaciones vegetales y cultivos en Africa Occidental*.
- Rovira, P., Romanya, J., Rubio, A., Alloza, J., & Vallejo, V. (s.f.). *Capítulo 6 Estimación del carbono orgánico en los suelos peninsulares españoles*.

- S, C., M, M., & G., & S. (Agosto- febrero de 2016-2017). *Plan estrategicode desarrollo turistico sostenible para el municipio de Santa Lucia, departamento de Boaco en el periodo de agosto* .
- S, V., & A.L. (Septiembre de 1999). *Capacidad de Retencion de Agua Disponible(CRAD) para las plantas en suelos de altos y medios de Aragon.*
- Sancho, A. L. (Septiembre de 1999). *Capacidad de retención de agua (CRAD) para las plantas en los suelos alto y medio de Aragón.* Recuperado de <file:///C:/Users/Personal/Desktop/DOC%20PARA%20METODOLOGIA%20DE%20TESIS/CRAD%20VALERO.pdf>
- Santamaria, A. R. (2009). *Diagnóstico productivo y comercial de la cadena apícola de los programas para la sustitución de cultivos ilícitos y desarrollo alternativo de Accion social y UNODC.* Bogota DC.
- Vallejo, Q. V. (enero-junio de 2013). *Importancia Y Utilidad De La Evaluacion De La Calidad De Suelos: Experiencias en sistemas silvopastoriles.* Recuperado el Viernes de Marzo de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/4239/423939619006.pdf>
- Walkley - Black. (1946). *Carbono Organico del suelo.* Recuperado de <http://www.inta.gob.ar>
- Wischmier, W., & Smith, D. (1978). *Predieting rain/all erosión 10 JieJ. USDA Agre.Re. Servo Handbook, 537.* Recuperado de https://www.miteco.gob.es/es/parque-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_05_02_tcm30-100846.pdf
- Zelaya, E., Rodriguez, A., Ortega, M., & Saavedra, D. (2012). *Estado Actual del Desarrollo Socioeconómico y Productivo de los Cuatro Municipios del Norte de Chinandega.* Recuperado de (APRODESE)-FUNICA.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Valores de Carbono Orgánico del Suelo (COS)

Lugar	Código	lat	lon	Taxom	Uso	Textura	Prof	MO	CO	Da	CO ton ha-1
Santa Elisa	NI-504-18	13.2675	86.9	Alfisol	Pasto+Arb	Arcillosa	A/0-10	5.65	3.27	1.2	39.24
							A/10-20	5.65	3.27	1.2	39.24
							BT/20-30	3.33	1.93	1.2	23.16
							BT/30-40	3.33	1.93	1.2	23.16
							BT/40-50	3.33	1.93	1.2	23.16
							BC/50-60	0.75	0.43	1.2	5.16
El Potón	NI-505-18	13.26	86.85	inceptisol	Tacotal	Franco Arcillosa	A/0-10	4.10	2.37	1.3	30.81
							A/10-20	4.10	2.37	1.3	30.81
							A/20-30	4.10	2.37	1.3	30.81
						Arcillosa	BW/30-40	2.66	1.54	1.2	18.48
							BW/40-50	2.66	1.54	1.2	18.48
Cerro Colorado	NI-506-18	13.181	86.827	Vertisol	Tacotal	Arcillosa	A/0-10	3.28	1.90	1.2	22.8
							A/10-20	3.28	1.90	1.2	22.8
							A/20-30	3.28	1.90	1.2	22.8
							A/30-40	3.28	1.90	1.2	22.8
El Papalón	NI-507-18	13.181	86.859	Entisol	Pasto+Arbdisp	Franco Arcillosa	A/0-10	1.69	0.98	1.3	12.74
						Arcillosa	B/10-20	0.36	0.20	1.2	2.4

Anexo 2 . Valores estimados de CRAD para distintos Órdenes de suelo

Orden	Comunidad	Textura del suelo	Profundidad Efectiva Suelo(H)	Permeabilidad y/o Cap. Infiltración (cm/hora)	Capacidad de Campo (CC)	Punto de Marchitez Permanente (PMP)	Densidad Aparente (DA)	CRAD/mm	Orden CRAD/mm
Alfisol	El Cerro	Franco-Arcilloso	700	2.5	26	14	1.2	100.8	86.01
	El Guásimo	Franco-Arcilloso	400	0.8	27	15	1.3	62.4	
	Las Tablas	Arcillo-Arenoso	470	0.25	31	18	1.3	79.43	
	Las Lajitas	Arcillo-Arenoso	600	0.25	31	18	1.3	101.4	
Entisol	El Espino	Franco-Arenoso	270	2.5	14	6	1.4	30.24	36.53
	El Zapotal	Franco-Arcillo	180	0.8	27	15	1.3	28.08	
	El Pavón	Arcilloso	270	0.5	35	21	1.1	41.58	
	La Montaña	Arcilloso	300	0.5	35	21	1.1	46.2	
Vertisol	Los Zanjones	Arcilloso	900	0.8	29	15	1.1	138.6	115.78
	El Jicaral	Arcilloso	650	0.25	31	18	1.1	92.95	

Interpretación de los valores de la CRAD

Anexo 3. CRAD en suelos con régimen Xerico o aridico

Clase Textural	Intervalos CRAD (mm, m-1)
Arenosa Gruesa	50-70
Arenosa	75-95
Arenosa Franca	90-110
Franco arenosa	105-125
Franco arenosa fina	120-140
Franco arenosa muy fina	130-150
Franco arcillosa y arcillosa	120-180
Franco arcillo limosa	140-180
Arcillo limosa	140-180
Franco limosa	160-210
Turbas y estiércoles	160-250

Anexo 4. Valores estimados de Densidad Aparente, Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente según textura de suelo (Martin et al.,1990)

Textura	Densidad aparente (kg m-3)	Porcentaje de agua	
		-33kPa	-1.500kPa
Alfani (1967)			
Arenosa	1.600-1.760	5-7	1-3
Franco arenosa	1.440-1.600	8-13	4-6
Franca	1.280-1.440	12-18	6-11
Franca arcillosa	1.200-1.230	18-23	9-10
Arcillosa	1.20-1.200	23-46	13-29
Millar y turk (1951)			
Arenosa		2,6	1,8
Franco arenosa		6,9	4,2

Anexo 5. Relación entre CRAD y humedad del suelo

CRAD en 150 cm Mm	Criterios de interpretación (USDA, 1983)
<64	Muy baja
65-127	Baja
128-190	Moderado
191-250	Alta
>250	Muy alta

Anexo 6. Estimación de la Perdida de Suelo por USLE (1978)

suelos	Uso	Lluvia (R)	Erodabilidad (k)	Factor de longitud de Pendiente (LS)	Cobertura (C)	Practicas de cultivo (P)	Ecuacion universal de perdida de suelo(PS)
Entisol	Agropecuario	134.45	0.30	23.76	0.08	0.8	61.34
	Bosq Galeria	134.45	0.30	23.76	0.01	0.6	5.75
	Pasto+arb disp	134.45	0.30	23.76	0.1	0.6	57.50
	Tacotal	134.45	0.30	23.76	0.001	0.5	0.48
	Bosque lat abiart	134.45	0.30	23.76	0.01	0.6	5.75
	Zona hurb	134.45	0.30	23.76	0.1	1	95.84
	Vegetacion arb	134.45	0.30	23.76	0.006	0.6	3.45
	Arb disp. + pasto	134.45	0.30	23.76	0.2	0.7	134.17
	Uso						
Vertisol	Agropecuario	134.45	0.15	23.76	0.08	0.8	30.67
	Pasto+arb disp	134.45	0.15	23.76	0.1	0.6	28.75
	Tacotal	134.45	0.15	23.76	0.001	0.5	0.24
	Bosque lat abiart	134.45	0.15	23.76	0.01	0.6	2.88
	Zona hurb	134.45	0.15	23.76	0.1	1	47.92
	Vegetacion arb	134.45	0.15	23.76	0.006	0.6	1.73
	Area sin veget	134.45	0.15	23.76	0.35	1	167.71
	Arb disp. + pasto	134.45	0.15	23.76	0.2	0.7	67.09
	Uso						
Inceptisol	Agropecuario	134.45	0.20	23.76	0.08	0.8	40.89
	Pasto+arb disp	134.45	0.20	23.76	0.1	0.6	38.33
	Tacotal	134.45	0.20	23.76	0.001	0.5	0.32
	Bosque lat abiart	134.45	0.20	23.76	0.01	0.6	3.83
	Uso						
Alfisol	Agropecuario	134.45	0.25	23.76	0.08	0.8	51.11
	Bosq Galeria	134.45	0.25	23.76	0.01	0.6	4.79
	Pasto+arb disp	134.45	0.25	23.76	0.1	0.6	47.92
	Tacotal	134.45	0.25	23.76	0.001	0.5	0.40
	Bosque lat abiart	134.45	0.25	23.76	0.01	0.6	4.79
	Zona hurb	134.45	0.25	23.76	0.1	1	79.86
	Vegetacion arb	134.45	0.25	23.76	0.006	0.6	2.88
	Area sin veget	134.45	0.25	23.76	0.35	1	279.52
	Arb disp. + pasto	134.45	0.25	23.76	0.2	0.7	111.81

Anexo 7. Relación entre factores C y P según cobertura del Suelo (Jung et al., año):

Tipo de cobertura	Factor C	Factor P
Área urbana	0.1	1
Suelo desnudo	0.35	1
Bosque denso	0.001	1
Bosque ralo	0.01	1
Bosque mezclado con cultivos (Agroforestería)	0.1	0.8
Cultivos	0.5	0.5
Cultivos de inundación	0.1	0.5
Pastura densa	0.08	1
Pastura rala	0.2	1
Pasturas con cultivos	0.25	0.8
Humedales	0.05	1
Cuerpos de agua	0.01	1

Anexo 8. Valores de Cobertura ©, para diferentes formaciones vegetales y cultivos en África Occidental (Roose, 1977)

Cultivo y práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1,0
Bosque o matorral denso, cultivos con alto porcentaje de <i>mulch</i>	0,001
Sabana o pradera herbácea en buenas condiciones	0,01
Sabana o pradera herbácea sobrepastada	0,1
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento con laboreo convencional	0,20 – 0,55
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento sin laboreo convencional	0,50 – 0,90
Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento con laboreo mínimo o no laboreo	0,02 – 0,10
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento, laboreo con chisel entre residuos	0,12 – 0,20
Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento, laboreo con chisel entre residuos	0,30 – 0,45
Algodón	0,40 – 0,70
Pradera herbácea	0,01 – 0,025
Soja	0,20 – 0,50
Trigo	0,10 – 0,40
Arroz	0,10 – 0,20
Cacahuete	0,30 – 0,80
Palmera, cafeto, cocotero, con cobertura vegetal	0,10 – 0,30
Piña cultivada a nivel, con retirada de residuos	0,10 – 0,40
Piña cultivada a nivel, con residuos en superficie	0,01
Patata, surcos según la pendiente	0,20 – 0,50
Patata, surcos transversales a la pendiente	0,10 – 0,40
Caupí (judía de vaca)	0,30 – 0,40
Fresa con cobertura de malas hierbas	0,27
Granado con cobertura de malas hierbas	0,08
Granado limpio de malas hierbas	0,56
Tef (<i>Eragrostis tef</i>)	0,25
Caña de azúcar	0,13 – 0,40
Ñame	0,40 – 0,50
Guisante de Angola	0,60 – 0,70
Judía mungo	0,04
Pimiento	0,33
Cafeto: después de la primera recolección	0,05
Plátano: después de su establecimiento	0,05 – 0,10
Papaya	0,21

Wischmeier y Smith (1978); Roose (1977); Singh, Babu y Chandra (1981); El-Swaify, Dangler y Armstrong (1982); Hurni (1987); Hashim y Wong (1988).