



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible"

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

Trabajo de Graduación

**Caracterización de zonas potenciales de recarga hídrica en la
microcuenca del río La Carreta, municipio de Cinco Pinos, Chinandega,
2018**

Autores:

Br. Bayardo Alberto González Ñamendy

Br. Sleydi Carolina López Moncada

Asesores:

Dra. Martha Orozco Izaguirre

Dr. Carlos Ramón Zelaya Martínez

Febrero, 2020

Managua, Nicaragua

HOJA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal examinador designado por la decanatura de la facultad de recursos naturales y el ambiente como requisito parcial para optar al título profesional de:

INGENIERO FORESTAL

Miembros del tribunal examinador:

Dr. Guillermo Castro
Presidente

Ing. MSc. Edmundo Umaña
Secretario

Ing. Álvaro Martínez
Vocal

Managua, Nicaragua
Febrero, 2020

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
ÍNDICE DE ANEXOS	iii
DEDICATORIA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRAC	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1 OBJETIVO GENERAL	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
III. MATERIALES Y MÉTODOS	3
3.1 Descripción del área de estudio	3
3.1.1 Ubicación del área de estudio.....	3
3.1.2 Clima.....	3
3.1.3 Recursos hídricos	3
3.2 Diseño metodológico	5
3.3 Etapas metodológicas.....	7
3.3.1 Etapa de Pre-Campo.....	7
3.3.2 Etapa de Campo	7
3.3.3 Etapa de Post-Campo.....	14
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1 Componentes para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica.....	17
4.1.1 Pendiente y microrelieve	17
4.1.2 Tipo de suelo	20
4.1.3 Tipo de roca.....	28
4.1.4 Cobertura vegetal permanente.....	30

4.1.5	Uso del suelo	33
4.2	Caracterización de las zonas potenciales de recarga hídrica.....	37
4.3	Propuesta de acciones para incrementar las posibilidades de recarga.....	40
V.	CONCLUSIONES	43
VI.	RECOMENDACIONES.....	44
VII.	LITERATURA CITADA	45
VIII.	ANEXOS	48

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según tipo de pendiente y micro relieve.....	8
Cuadro 2. Ponderación de la capacidad de recarga hídrica según su textura.....	12
Cuadro 3. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de roca	13
Cuadro 4. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura	13
Cuadro 5. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el uso del suelo	14
Cuadro 6. Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto	15
Cuadro 7. Posibilidad de recarga hídrica según rango de pendiente en la microcuenca del río La Carreta	17
Cuadro 8. Características del perfil representativo del suelo Entisol, subgrupo <i>Lithic Ustorthents</i>	21
Cuadro 9. Características del perfil representativo del suelo Inceptisol, subgrupo <i>Typic Haplustepts</i>	22
Cuadro 10. Características de perfil representativo de suelo Alfisol, subgrupo <i>Typic Haplustalfs</i>	23
Cuadro 11. Características del perfil representativo del suelo Vertisol, subgrupo <i>Typic Haplusterts</i>	25
Cuadro 12. Posibilidad de recarga hídrica por tipo de suelo, microcuenca del río La Carreta	26
Cuadro 13. Posibilidad de recarga según el tipo de roca, microcuenca del río La Carreta	28
Cuadro 14. Posibilidad de recarga según el porcentaje de cobertura vegetal permanente, microcuenca del río La Carreta	31
Cuadro 15. Posibilidad de recarga según uso del suelo, microcuenca del río La Carreta...	35
Cuadro 16. Posibilidad de recarga en la microcuenca del río La Carreta	38

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca La Carreta	4
Figura 2. Metodología para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica, Matus 2007, adaptación propia.....	5
Figura 3. Metodología para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica, Matus 2007.....	6
Figura 4. Mapa de pendientes, microcuenca del río La Carreta.....	19
Figura 5. Ordenes de suelo de la microcuenca del río La Carreta, Cinco Pinos, Chinandega	20
Figura 6. Perfil representativo de suelo Entisol, subgrupo <i>Lithic Ustorthents</i> , Cinco Pinos, Chinandega	21
Figura 7. Paisaje representativo del suelo Entisol, Cinco Pinos, Chinandega	21
Figura 8. Paisaje representativo del suelo Inceptisol, Cinco Pinos, Chinandega.....	22
Figura 9. Perfil representativo del suelo Inceptisol, subgrupo <i>Typic Haplustepts</i> , Cinco Pinos, Chinandega.....	23
Figura 10. Perfil representativo del suelo Alfisol, subgrupo <i>Typic Haplustalfs</i> Cinco Pinos, Chinandega	24
Figura 11. Paisaje representativo del suelo Alfisol, Cinco Pinos, Chinandega	24
Figura 12. Perfil representativo de suelo Vertisol, subgrupo <i>Typic Haplusterts</i> Cinco Pinos, Chinandega.....	25
Figura 13. Paisaje representativo del suelo Vertisol, Cinco Pinos, Chinandega.....	25
Figura 14. Mapa de subgrupos taxonómicos de la microcuenca del río La Carreta	27
Figura 15. Mapa de formaciones geológicas, microcuenca del río La Carreta.....	29
Figura 16. Usos del suelo con muy poca cobertura vegetal y evidencia de erosión.....	30
Figura 17. Mapa de cobertura vegetal permanente de la microcuenca del río La Carreta ..	32
Figura 18. Áreas con usos agropecuarios con muy baja posibilidad de recarga hídrica en la microcuenca del río La Carreta	33
Figura 19. Mapa de uso del suelo de la microcuenca del río La Carreta.....	36
Figura 20. Mapa de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica, microcuenca del río La Carreta	39

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
Anexo 1. Glosario	48
Anexo 2. Formato para la descripción de perfiles de suelos	49
Anexo 3. Formato con la descripción del perfil representativo del orden Alfisol	50
Anexo 4. Formato con la descripción del perfil representativo del orden Inceptisol	51
Anexo 5. Formato con la descripción del perfil representativo del orden Entisol.....	52
Anexo 6. Formato con la descripción del perfil representativo del orden Vertisol	53
Anexo 7. Análisis químico de las muestras de suelos de los perfiles representativos.....	54
Anexo 8. Sistema de riego por goteo solar.....	55
Anexo 9. Limpieza con palín de una sección de corte de camino para la descripción del perfil de suelo.....	56
Anexo 10. Utilización de la herramienta Kobo Collect para la recolección de información de suelos.....	56
Anexo 11. Presencia de rocas basálticas en la microcuenca del río La Carreta, Cinco Pinos, Chinandega	57
Anexo 12. Procesamiento de los mapas en fase de post – campo	57

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especialmente:

A Dios, el creador de todo.

A mis padres: María del Carmen Ñamendy Miranda, mujer admirable y luchadora, por ser mi guía en este complejo camino de la vida y educarme con buenos valores los cuales manifestaré hasta mis últimos días, a mi papá, Carlos Alberto González Cárdenas, por su valioso apoyo en mi formación profesional y como persona.

A mis abuelos, Bayardo Enrique Ñamendy Caldera, por ser mi ejemplo, mi apoyo moral y estar siempre pendiente de mis estudios, un gran maestro que influenció mi pasión por la docencia y Nela Illy Miranda González, por su apoyo moral e influencia en mis gustos hacia las ciencias agrarias y ambientales, mujer valiente y admirable.

A mis hermanos, quienes fueron mis primeros amigos y forman parte indispensable de mi vida. Así como al resto de mi familia a quienes estimo y aprecio en gran manera.

A mi novia, Jenniffer Alejandra Vásquez Rodríguez, quien aún en la distancia, ha estado en mis momentos alegres y tristes, motivándome a ser mejor cada día.

Al Ing. Claudio Arsenio Calero González por ser guía esencial en mi carrera, más que un gran maestro, un amigo. Su legado vivirá por siempre. Paz a sus restos.

Al pueblo de Nicaragua, valiente y luchador, pueblo que no se deja doblegar ante nada ni ante nadie, a quienes sueñan y trabajan por una mejor patria.

A los estudiantes que lucharon y dieron su vida por ver un cambio en nuestro país y por los que hoy queremos ese cambio para bien, independientemente del credo político.

Bayardo Alberto González Ñamendy

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

A mi madre, excepcional mujer, quien ha sido mi soporte, quien me ha enseñado los valores de la vida, y quien ha hecho este sueño posible, y más que para mí, esto es por ella y para ella.

A mi abuela, que, aunque ya no me acompaña físicamente, su amor y sus enseñanzas, aún permanecen en mí.

A mis hermanas, Jackeline y Ana, por su apoyo incondicional, por ser de las personas que más admiro.

Al resto de mi familia y a mis amigos, que de una u otra forma, me han apoyado en este proceso, y a quienes ya no están, pero su legado queda.

Sleydi López Moncada

AGRADECIMIENTOS

A la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) por el financiamiento de este proyecto que beneficiará a los ciudadanos del municipio de Cinco Pinos.

A nuestros asesores, Dra. Martha Orozco Izaguirre y Dr. Carlos Ramón Zelaya Martínez, por su paciencia y su invaluable apoyo en la etapa de planificación, de campo y análisis de los resultados gracias a su experiencia en esta temática que hicieron posible concluir este tema de investigación. A la Ing. Mariann José Espinoza Acuña, por su valioso apoyo en la revisión y disposición a atendernos en las dudas que surgieron durante el análisis de los resultados.

A los profesores que nos formaron durante la carrera y nos motivaron a superarnos.

Al Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO) de la UNAN, Managua, por atendernos y aclararnos en algunas dudas relacionadas a la parte de geología dentro del trabajo de investigación.

A la alcaldía de Cinco Pinos por su apoyo durante la etapa de campo.

A nuestros compañeros de trabajo durante la tesis cuyo apoyo fue esencial para recopilar los datos en campo.

**Bayardo Alberto González Ñamendy
Sleydi Carolina López Moncada**

RESUMEN

El estudio se realizó en la microcuenca del río La Carreta cuya extensión es de 31.33 Km², localizada en el municipio de Cinco Pinos, Chinandega. El trabajo tuvo como objetivo caracterizar las zonas potenciales de recarga hídrica con la finalidad de generar información que permita la priorización de acciones relacionadas con el manejo y conservación de los recursos naturales de la microcuenca. Se utilizó la metodología propuesta por Matus (2007), para delimitar las zonas potenciales de recarga hídrica, evaluando cinco elementos: pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal permanente y uso actual del suelo. La información cartográfica de suelo y uso actual fue actualizada con datos recolectados en campo. Los resultados indican que en la microcuenca el 55.53% del área tiene pendientes de 15 a 45%. Presentan 4 órdenes de suelos: Entisoles con el 53.66% del área total. Alfisoles (20.4%), Vertisoles (24.94%) e Inceptisoles (0.99%). Las formaciones geológicas que se encuentran en el área son: Formación Matagalpa y márgenes del batolito de Dipilto. El uso de suelo en su mayoría agropecuario con 10.79 km² de extensión que representan el 34.44% del área total seguido del bosque latifoliado abierto que ocupa un área de 9.43 km². El porcentaje de cobertura vegetal que predomina es menor del 30%. Se determinó que predominan las zonas con bajo potencial de recarga con un 37.93 % respecto al área total las que se caracterizan por tener usos agropecuarios y suelos con textura franco arcillosas a franco arenosas; luego, las áreas con potencial moderado (36.85%) y en menor porcentaje las zonas con potencial de recarga muy alto (1 %). Se concluye que, en la microcuenca, las zonas con posibilidad de recarga baja y moderada son las que ocupan mayor área, siendo estas las zonas a priorizar por lo que se propusieron como ejes principales para disminuir la escorrentía superficial e incrementar la infiltración: Obras de conservación de suelos y agua, buenas prácticas agropecuarias, reforestación y educación ambiental.

Palabras clave: Recarga del acuífero, recursos hídricos, manejo de cuencas, uso del suelo, cartografía de suelos, obras de conservación de suelos y agua

ABSTRAC

The study was carried out in the micro-watershed of the river La Carreta, whose extension is 31.33 km², located in the municipality of Cinco Pinos, Chinandega. The objective of the study was to characterize potential water recharge zones in order to generate information that would allow the prioritization of actions related to the management and conservation of the natural resources of the micro-watershed. The methodology proposed by Matus (2007) was used to delimit potential water recharge zones, evaluating five elements: slope, soil type, rock type, permanent plant cover and current land use. The current land use and cartographic information was updated with data collected in the field. The results indicate that in the micro-watershed 55.53% of the area has slopes of 15 to 45%. They have 4 soil orders: Entisoles with 53.66% of the total area. Alfisoles (20.4%), Vertisoles (24.94%) and Inceptisoles (0.99%). The geological formations found in the area: Matagalpa Formation and margins of the Dipilto batolito. Land use is mostly agricultural with 10.79 km², representing 34.44% of the total area followed by open broad-leaved forest covering an area of 9.43 km². The percentage of plant cover that predominates is less than 30%. It was determined that areas with low recharge potential predominate with 37.93 % of the total area, those characterized by agricultural uses and soils with loamy clay texture with sandy loam; areas with moderate potential (36.85%) and, to a lesser extent, areas with very high recharge potential (1%). It is concluded that, in the micro-watershed, areas with the possibility of low and moderate recharge are the ones that occupy the largest area, These are the areas to be prioritized, so they were proposed as main axes to reduce surface run-off and increase infiltration: soil and water conservation works, good agricultural practices, reforestation and environmental education.

Keywords: Aquifer recharge, water resources, watershed management, soil use, soil mapping, soil and water conservation works

I. INTRODUCCIÓN

Nicaragua es un país especialmente privilegiado en recursos hídricos. El recurso agua disponible es de 38,668 metros cúbicos per cápita por año (m³/per cápita/año), lo que posiciona al país por encima del promedio de Centroamérica (FCCyT, 2012).

La demanda que existe de recurso hídrico, en Nicaragua, podría cubrirse con la disponibilidad total de todas las cuencas, y aunque los datos de disponibilidad sobrepasan los de la demanda, la diferencia entre estas, es mínima, lo que se traduce a un problema de escasez del recurso a largo plazo (FCCyT, 2012). Esta disponibilidad se ve afectada por el mal uso de los recursos naturales que afectan la recarga de los acuíferos y que solo contribuyen a un deterioro de la calidad de vida de las comunidades.

En ese sentido, Donis (2015) señala que las zonas de recarga, a nivel mundial, son las fuentes principales para obtener agua dulce, además, juegan un papel importante dentro del ciclo del agua, es por eso que realizar su identificación, protección, y conservación, garantizará el bienestar de todo ser vivo y del desarrollo económico de cada nación. Estas áreas de recarga se ven afectadas por el mal uso que se le da al suelo o malas prácticas agrícolas que deterioran el medio.

Faustino (2006), citado por Matus (2007) expresa que, el deterioro de las zonas de recarga hídrica de las cuencas hidrográficas, así como la poca eficiencia del uso de los recursos, la contaminación de las fuentes de agua y de las zonas de recarga, están ocasionando que la disponibilidad de las fuentes de agua para diferentes usos se vea disminuida. El grado de deterioro en las zonas de recarga está determinado por el nivel de degradación de los suelos, compactación y deforestación, principalmente en zonas con pendientes inclinadas que favorecen la escorrentía.

El desconocimiento de los sitios con potencial para la recarga hídrica, es lo que provoca, en muchas ocasiones, que los actores locales o las mismas instituciones correspondientes, no tomen las medidas adecuadas para evitar que estas zonas se deterioren y disminuyan su capacidad de infiltración, además, el hecho de que no se tengan registros de documentación basada en este tema, causa vacíos a la hora de toma de decisiones.

El departamento de Chinandega, es una de las zonas en que el recurso suelo presenta excelentes aptitudes para las actividades agrícolas, pero también es una de las zonas que se ha visto más afectadas por los cambios de usos de suelos y contaminación, lo que ha generado que en las últimas décadas, más de 50 ríos se hayan secado (Martínez, 2010), asimismo, el municipio de Cinco Pinos, cuya actividad económica principal se basa en la agricultura (MARENA, 2000) y que problemas como la deforestación o sustitución de bosques por usos intensivos del suelo como ganadería intensiva y cultivos en zonas con pendiente muy escarpada, tendrán efectos negativos para las zonas de recarga a nivel de municipio y por ende, en las microcuencas que lo conforman.

Es por ello que el objetivo de este trabajo fue la caracterización de las zonas con potencial de recarga hídrica en la microcuenca del río La Carreta, municipio de Cinco Pinos, para generar información que permita diseñar planes de conservación y manejo de los recursos naturales de la zona.

II. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar las zonas potenciales de recarga hídrica con la finalidad de generar información que permita la priorización de acciones relacionadas con el manejo y conservación de los recursos naturales en la microcuenca del río La Carreta, municipio de Cinco Pinos, Chinandega.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar las zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca del río La Carreta que permita identificar áreas prioritarias para su conservación y manejo.
- Describir las principales características de las zonas potenciales de recarga hídrica, para priorizar acciones que incrementen la infiltración del agua en el suelo.
- Proponer acciones para incrementar las posibilidades de recarga hídrica del acuífero que permitan disminuir el escurrimiento superficial.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Ubicación del área de estudio

La microcuenca del río La Carreta se encuentra ubicada en el municipio de Cinco Pinos, departamento de Chinandega, posee una superficie de aproximadamente 31.33 km² y está localizada entre las coordenadas 13° 9' 11'' y 13° 13' 52'' de latitud norte, -86° 49' 34'' y -86° 52' 44'' de longitud oeste respectivamente. Dentro de la microcuenca se encuentran las comunidades de El Zacatón, Los Zanjones, Villa Camilo Ortega, El Carrizal, Las Tablas, La Montaña, El Espino, Las Pozas, Los Pavones, El Guácimo, El Júcaro, Las Lajitas, El Papalón, La Cabrera y La Carreta. La microcuenca posee un cauce principal que drena en el río El Gallo y una serie de quebradas que conforman su red hídrica (ver Figura 1).

Según Ulloa, Mendoza y Jirón (1997), el municipio de Cinco Pinos se localiza fisiográficamente en la provincia tierras altas del interior y sub-provincia pie de monte del Oeste. Presenta formaciones del período terciario con elevaciones entre 220 a 1230 msnm, con pendientes mayores del 30%, constituidas por cerros y cuevas, conformando un relieve fuertemente escarpado a precipicio.

Predominan en el municipio los suelos de vocación forestal muy pedregosos, de topografía accidentada, de alta fragilidad y baja capacidad productiva; intervenidos por una alta población rural que en forma atomizada desarrolla prácticas agrícolas y pecuarias como única alternativa de subsistencia, causando un deterioro acelerado del bosque y del suelo (ENACAL, 2007).

3.1.2 Clima

Según la clasificación de Köppen, el área en estudio pertenece al tipo de clima sub-húmedo bimodal. La estación lluviosa se presenta en el período entre los meses de mayo a octubre; esta etapa es afectada por un período seco llamado canícula, que se extiende del 15 de julio al 15 de agosto. (CIMADE, 1994) citado por Larios (1999). Tiene una temperatura promedio de 28 °C y precipitaciones anuales de 800 a 1000 mm.

3.1.3 Recursos hídricos

El territorio de Cinco Pinos es bañado por varios ríos que bajan de las estribaciones sureñas de la sierra de la Botija, fronteriza con Honduras, entre ellos El Gallo y El Torondano. Cuenta además con 68 ojos de agua diseminados por todo el territorio municipal (ENACAL, 2007).

3.2 Diseño metodológico

La metodología se fundamentó en la propuesta por Matus en su tesis de maestría del año 2007 (Figura 3). En dicha metodología, cada elemento posee características a las que se les puede asignar una ponderación que va de 1 a 5 según la situación que se presente, donde 1 corresponde a una posibilidad de recarga muy baja y 5 una posibilidad muy alta. En el presente estudio, esta metodología fue adaptada y solo se realizaron los pasos metodológicos según los objetivos planteados, realizándose en tres etapas: Pre-Campo, Campo y Post-Campo. Estos se presentan en el siguiente esquema, detallando cada paso en los siguientes acápite.

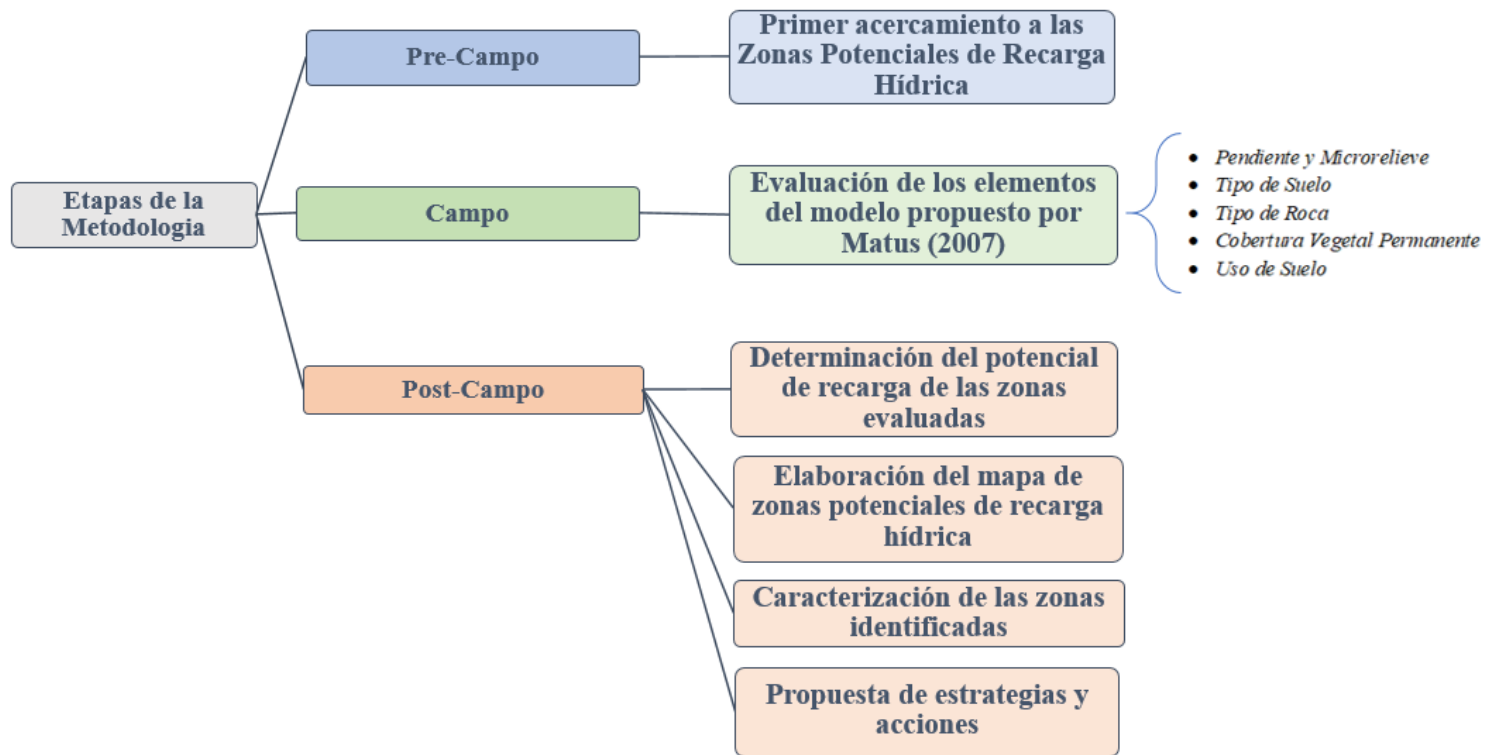


Figura 2. Metodología para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica, Matus 2007, adaptación propia

Metodología propuesta por Matus

En el siguiente flujograma, se presenta la metodología propuesta por Matus (2007) en la que se fundamentó este estudio.

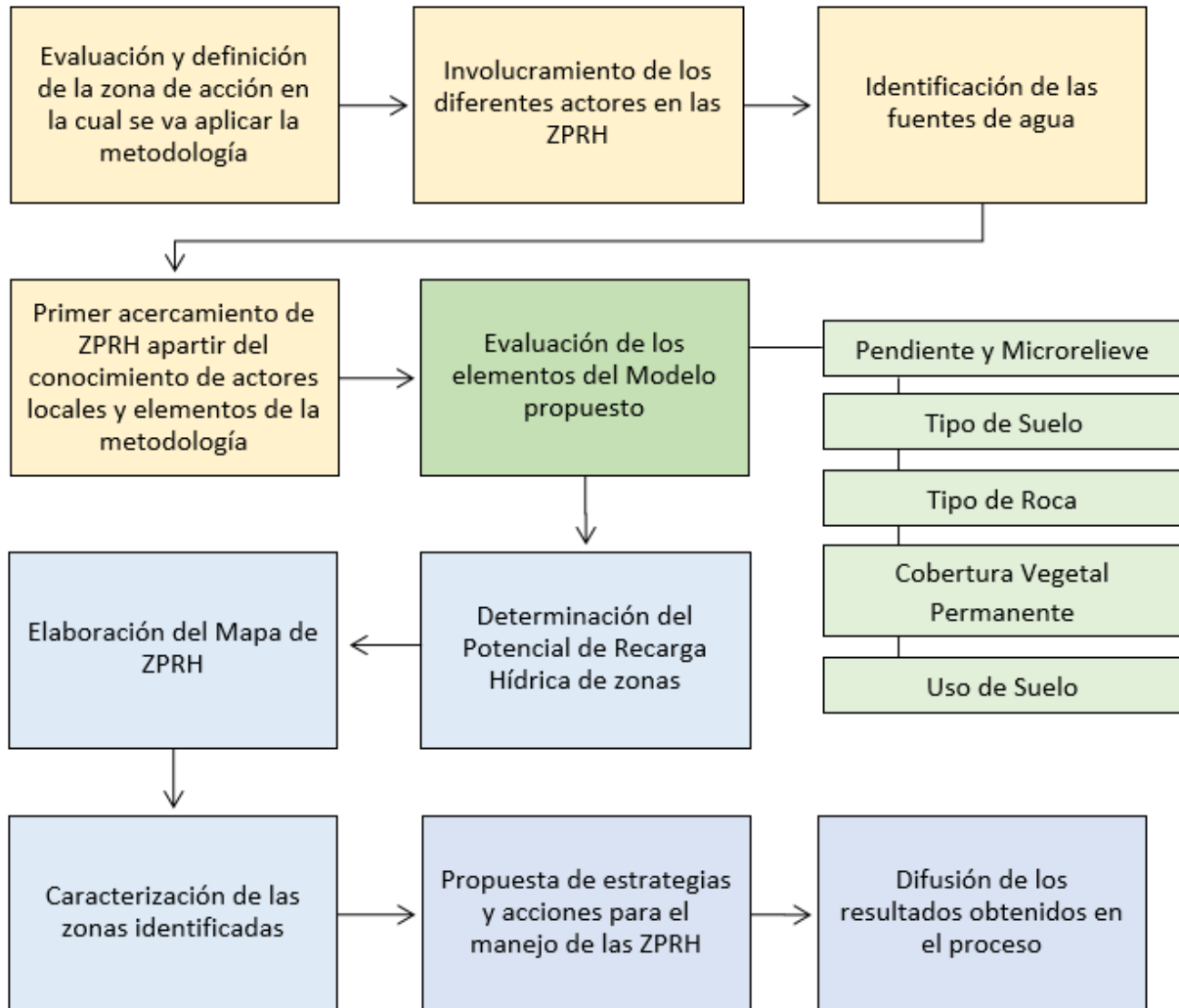


Figura 3. Metodología para identificar las zonas potenciales de recarga hídrica, Matus 2007

3.3 Etapas metodológicas

Se describe a continuación los pasos metodológicos utilizados para delimitar las zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca del río La Carreta:

3.3.1 Etapa de Pre-Campo

1. Primer acercamiento a las zonas potenciales de recarga hídrica

A través de los Sistemas de Información Geográfica, más la recopilación de información secundaria del municipio, se hizo el primer acercamiento de las zonas potenciales de recarga hídrica.

La información utilizada fue:

- a) Mapa Geológico de INETER año 2004.
- b) Mapa topográfico de INETER, año 1989.
- c) Mapa de zonificación agroecológica de Marín 1992
- d) Mapa nacional de suelos, INETER, 2015.
- e) Modelo de Elevación Digital (DEM) con resolución de 30 metros.
- f) Imágenes satelitales de Google Earth Pro para la clasificación de los usos actuales de suelo.

3.3.2 Etapa de Campo

2. Evaluación de los elementos del modelo propuesto

Los elementos del modelo a evaluar fueron:

- Pendiente y microrelieve
- Tipo de suelo
- Tipo de roca
- Cobertura vegetal permanente
- Uso del suelo

Para la evaluación de cada uno de los componentes de este modelo, se inició con el análisis de información base existente y luego, esta se actualizó con información de campo, donde se definieron transectos para obtener la información de cada componente, esto con la participación de dueños de finca y técnicos de la alcaldía de Cinco Pinos. Los datos recolectados fueron procesados en el software ArcGis 10.2 para la generación del mapa de zonas potenciales de recarga hídrica.

Para cada componente del modelo se elaboró un mapa que representa la posibilidad de recarga hídrica en función de las características particulares de cada uno que podrían incidir en que la posibilidad de recarga sea muy alta o muy baja. La ponderación que se utiliza en la evaluación de cada componente del modelo se encuentra entre valores de 1 a 5 según las diferentes situaciones que se pueden encontrar dentro de cada elemento evaluado, siendo 5 el valor máximo asignado a las zonas con mayor potencial de recarga y 1, el valor mínimo que se le asigna a las zonas con menor potencial de recarga hídrica.

Dicho esto, se describe a continuación la metodología empleada para la evaluación de cada uno de los elementos del modelo en la microcuenca del río La Carreta.

a) Pendiente y microrelieve

Matus, Faustino y Jiménez (2009) indican que la pendiente es un elemento de suma importancia en el análisis y la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica ya que está vinculada directamente con la escorrentía superficial. Así, en zonas con pendientes más pronunciadas se incrementa la escorrentía y los procesos erosivos, contrario a las áreas con pendientes más suaves que retienen por más tiempo el agua, lo que favorece la recarga hídrica.

El mapa de pendientes se generó en el software ArcGis 10.2 a partir del Modelo de Elevación Digital del terreno con resolución de 30 m x 30 m descargado de la página ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) de la NASA (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio por sus siglas en español) el cual contiene información básica para modelar la pendiente a partir de datos elevación del terreno y curvas de nivel con intervalos de 20 metros entre curvas. Las pendientes obtenidas del Modelo fueron reclasificadas según los rangos propuestos por Matus. En el cuadro 1 se presenta la ponderación y posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de pendiente.

Cuadro 1. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según tipo de pendiente y micro relieve

Micro relieve	Pendiente %	Posibilidad de recarga	Ponderación
Plano a casi plano, con o sin rugosidad	0 - 6	Muy alta	5
Moderadamente ondulado o cóncavo	6 - 15	Alta	4
Ondulado/cóncavo	15 - 45	Moderada	3
Escarpado	45 - 65	Baja	2
Fuertemente escarpado	>65	Muy baja	1

Fuente: Matus, 2007

b) Tipo de suelo

Según Matus (2007) en el estudio de la recarga e identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica, resulta de gran utilidad conocer y entender las características del suelo que favorezcan o no la recarga hídrica (conductividad, permeabilidad, erosión y compactación), así como los elementos que influyen en estas características como la textura del suelo, porosidad y la materia orgánica.

González (2011) expresa que: “La textura es una de las características básicas del suelo, que afecta otras propiedades como las relaciones hídricas, la fuerza o succión con que es retenida el agua y la disponibilidad de agua para las plantas”. En ese sentido, esta propiedad del suelo resulta importante ya que permite determinar la facilidad con la que el suelo puede retener el agua, así como la velocidad con que el agua infiltra en el mismo. Maderey (2005) sugiere que: “Entre mayor sea la porosidad, el tamaño de las partículas y el estado de fisuramiento

del suelo, mayor será la capacidad de infiltración”. La metodología empleada para su evaluación consistió en lo siguiente.

b1. Levantamiento y descripción de suelos

Para la evaluación del tipo de suelo, fue necesario analizar la información de suelos existente, esto con la finalidad de tener un conocimiento general sobre el área de estudio. Esta información consistió en: Mapa de zonificación agroecológica de Marín 1992.

El levantamiento de la información de suelo se realizó con ayuda de KoBoCollect (versión 1.4.8), una aplicación móvil en la cual se adjuntó el formulario de la guía RASTA (Rápida Evaluación del Suelo y del Terreno, 2010, versión 2) elaborada por el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), Corporación Biotec y La Universidad Nacional de Colombia. RASTA requiere de información sobre: pendiente, forma del terreno, horizontes del suelo, textura y estructura, pH, carbonatos, pedregosidad, capas endurecidas, presencia de moteados, resistencia al rompimiento, y propiedades inferidas como la presencia de materia orgánica, profundidad efectiva, drenaje, salinidad y sodicidad.

El levantamiento de suelos se realizó para todo el municipio de Cinco Pinos. Las observaciones en zanjas, calicatas de suelos, o cortes de caminos, se realizaron para identificar características morfológicas físicas y químicas de los mismos.

En cada punto de observación se hizo una descripción de las siguientes características:

- Externas: relieve, drenaje, pendiente, pedregosidad, erosión, riesgos de deslizamiento o inundaciones, cobertura, uso actual.
- Internas: subdivisión de horizontes, textura, estructura, color, consistencia, raíces y poros.

Se definieron 6 transectos en todo el municipio y estos fueron:

- Los Zanjones, - El Chilamatillo - Las Tablas.
- Cerro San Rafael - Las Marías - Los Araditos.
- Cinco Pinos - El Gallo.
- La Pita - Llano El Jicaral - El Papalón - La Cabrera.
- Guásimo - Las Lajitas.
- Las Pozas - La Montaña.

Se realizaron 22 observaciones en el municipio de Cinco Pinos para seleccionar los perfiles representativos. La descripción de los suelos de un territorio se hace con el propósito de conocer sus restricciones y potencialidades, para ello se requiere clasificarlos de acuerdo a algún sistema reconocido, lo que permite planificar su uso y manejo.

El perfil de suelo es una secuencia natural de capas u horizontes, que se extiende desde la superficie hasta la roca o material madre; la mayoría de los suelos tienen tres capas principales llamadas horizontes, los cuales se nombran mediante letras mayúsculas: A, B, C, R. (Lagos y Cáliz, 2013). En total se describieron 4 perfiles representativos utilizando el

formato descrito en Anexos 2. De estos 4 perfiles, se tomaron muestras de los horizontes de 2 de ellos para ser analizadas en laboratorio.

Una vez obtenido los resultados de campo y de laboratorio, se procedió a clasificar los suelos empleando la clasificación de suelo de Soil Taxonomy de la USDA, 2014 (United States Department of Agriculture o Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), en el cual se establecen niveles jerárquicos: Orden, Sub-orden, Gran grupo, Sub-grupo, Familia y Serie. De acuerdo al nivel del estudio realizado en la microcuenca, se clasificaron los suelos hasta el nivel de Sub-grupo taxonómico.

b2. Textura del suelo

La determinación de textura del suelo en campo se realizó siguiendo los pasos descritos por Porta, López y Roquero (2005) y que se describen a continuación:

1. Tomar una cantidad de muestra que pueda contener la palma de la mano y eliminarlos elementos gruesos (diámetro mayor de 2 mm).

2. Humedecer hasta el punto de adherencia (se puede amasar y no escurre agua), mezclando con ayuda de un cuchillo (evitar que se seque durante la manipulación, añadir agua si es necesario).

3. Intentar hacer un cilindro de 3 mm de diámetro y unos 10 cm de largo:

- No se puede: **la muestra contiene más de un 80% de arena**, da una sensación abrasiva, rechina al oído; cuando esta seca el material este suelto:

- Sin cohesión ni adherencia en húmedo, granos visibles: **arenosa**.
- Ligera cohesión en húmedo puede amasarse una bola cuando está suficientemente húmedo, no se adhiere a los dedos: **arenosa franca**.
- Se puede hacer el cilindro de 3 mm de diámetro: ir a 4.

4. Intentar hacer un cilindro de 1 mm de diámetro:

- No se puede: **la muestra contiene más de un 65 y un 80% de arena**:

- En húmedo es adherente, une los dedos, puede amasarse fácilmente una bola, resiste la deformación, superficie de aspecto brillante, si bien tacto áspero y abrasivo: **franco-arcillo-arenoso**.
- Tacto abrasivo, rechina al oído; en húmedo presenta un ligero grado de cohesión, fácil de deformar: **franco – arenosa**.
- Se puede hacer el cilindro de 1 mm de diámetro: ir a 5.

5. Intentar hacer un cilindro con el cilindro de 3 mm de diámetro:

El cilindro se agrieta: **la muestra contiene más de un 40 y un 65% de arena**:

- En húmedo: muy adherente, une los dedos muy fuertemente, se puede formar una bola que es difícil de deformar, superficie brillante, pero tacto abrasivo y áspero: **arcillo – arenosa**.

- En húmedo: fácil de moldear en una bola; aunque contiene arena no es abrasivo al tacto, insuficiente contenido de limo para ser sedoso al tacto; insuficiente arcilla para ser adherente o tener un aspecto brillante: **franca** (p.p.).
- Posible: **franco-arcillo-arenosa** (p.p.).
- Posible: **franco-arenosa** (p.p.).
- Se puede hacer el cilindro de 3 mm de diámetro: ir a 6.

6. Intentar hacer un cilindro con el cilindro de 1 mm de diámetro:

El cilindro se agrieta: **en la muestra predomina limo:**

- En húmedo: tacto muy suave, sedoso, untuoso, no plástico; al deslizar la muestra entre los dedos la superficie aparece débilmente brillante: **limosa**
- En húmedo: tacto suave, sedoso, fuertemente cohesivo: **franco-limosa**.
- En húmedo: adherente, muy suave, une los dedos, resiste la deformación, superficie brillante. En seco, tacto polvos de talco: **franco-arcillo-limosa**.

Se puede hacer el cilindro de 1 mm de diámetro, predomina la arcilla:

- En húmedo: es adherente, une fuertemente los dedos, resiste la deformación, superficie de aspecto brillante: **franco-arcillosa**.
- Muy adherente, une los dedos muy fuertemente, una bola es muy difícil de deformar, superficie de aspecto brillante: **arcillo-limosa**.
- En húmedo extremadamente adherente, une los dedos muy frecuentemente; muy plástico; una bola es muy difícil de deformar con la mano, adquiere una superficie brillante cuando se hace deslizar entre los dedos: **arcillosa**.

b3. Elaboración del mapa de suelos

Una vez realizada la clasificación taxonómica a nivel de sub-grupo, se utilizó el mapa de zonificación agroecológica de Marín del año 1992 para actualizar los suelos del municipio y por ende de la microcuenca. La delimitación de los límites de cada subgrupo taxonómico se hizo en el software ArcGis 10.2 trazando los polígonos de forma manual, para ello se tomó en cuenta la topografía, la toponimia del área, información sobre las limitantes por pendiente o pedregosidad extraídas del mapa de Marín (1992) y las observaciones de suelo georreferenciadas en campo. El mapa se elaboró a escala semidetallada de 1:50,000.

b4. Ponderación de capacidad de recarga según el tipo de suelos

En la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica, el estudio del suelo es importante porque refleja su textura, porosidad, permeabilidad y compactación. Las zonas de recarga hídrica deben ser muy permeables para asegurar una alta capacidad de infiltración; es decir que en suelos con textura gruesa, porosos (permeables), se dan buenos niveles de recarga hídrica. A cada polígono de sub-grupo de suelo se le asignó un valor ponderado según la textura predominante de este, tomando en consideración las observaciones realizadas en campo. En el cuadro 2 se presenta la ponderación de la capacidad de recarga hídrica según la textura del suelo.

Cuadro 2. Ponderación de la capacidad de recarga hídrica según su textura

Textura	Posibilidad de recarga	Ponderación
Suelos franco arenoso a arenosos, con tamaño de agregados o partículas de gruesas a medias, con muy rápida capacidad de infiltración (más de 25 cm/hr)	Muy alta	5
Suelos francos con partes iguales de arena, limo y arcilla, con rápida capacidad de infiltración (12.7 – 25 cm/hr)	Alta	4
Suelos franco limoso, con partículas de tamaño medio a finas de moderada a moderadamente rápida capacidad de infiltración (2 a 12.7 cm/hr)	Moderada	3
Suelos franco arcilloso, combinación de limos y arcillas, con partículas finas, suelos pesados con muestras de compactación, con lenta o moderadamente lenta capacidad de infiltración (0.3 – 2 cm /hr)	Baja	2
Suelos arcillosos muy pesados, con partículas muy finas, compactados, con muy lenta capacidad de infiltración (menor de 0.3 cm/hr)	Muy baja	1

Fuente: Matus, 2007

c) Tipo de roca

El análisis y evaluación del tipo de roca permite determinar si la recarga es subsuperficial (recarga hídrica) o profunda de aguas subterráneas (acuífero). INAB (2003) expresa que una zona puede poseer buenas características climáticas, de pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal y adecuado uso del suelo que favorezcan la recarga del acuífero, pero si hay una capa de material rocoso o arcilla impermeable que no permite que el agua logre llegar al acuífero o a mayor profundidad, no habrá recarga de las aguas subterráneas, pero se formará un flujo de agua subsuperficial que saldrá a la superficie a través de un manantial o alimentará un río.

Según Matus et al. (2009): “Las rocas duras con poros finos no favorecen la recarga; por el contrario, las rocas suaves o permeables, con macroporos, fallas o fracturas sí favorecen la recarga de los acuíferos”.

Para obtener la información del tipo de roca, se utilizó el mapa de geología de INETER de 2004 el cual contiene información sobre litología, nomenclatura, serie, edad, formación y rocas. Posteriormente se hizo la ponderación según las características de las rocas y se elaboró el mapa de posibilidad de recarga. En el Cuadro 3 se presenta la ponderación de la posibilidad de recarga hídrica en función de la roca.

Cuadro 3. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de roca

Tipo de roca	Posibilidad de recarga	Ponderación
Rocas muy permeables, muy suaves, constituidas por cristales o agregados gruesos, con macroporos interconectados; por ejemplo, arena gruesa, piedra pómez, grava o cascajo	Muy alta	5
Rocas permeables, suaves, constituidas por cristales o agregados medianos, con poros interconectados; por ejemplo, arena fina o arenisca con poca cementación.	Alta	4
Rocas moderadamente permeables, semi-suaves, con regular conexión entre poros.	Moderada	3
Rocas permeables, un poco duras, moderadamente compactas, constituidas por partículas finas, con presencia de fracturas interconectadas; por ejemplo, la combinación de gravas con arcillas.	Baja	2
Rocas impermeables duras, cementadas, compactadas, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas.	Muy baja	1

Fuente: Matus, 2007

d) Cobertura vegetal permanente

Para el análisis de cobertura vegetal permanente se consideraron tres estratos los cuales son: árboles, arbustos y las hierbas. Entre todos ejercen una función importante en cuanto a la cubierta vegetal, pues, aseguran que las gotas de lluvia no impacten directamente sobre el suelo y lo erosione, permiten que el agua que precipita llegue con una menor velocidad al suelo garantizando una mayor retención e infiltración del agua y una mayor cantidad de materia orgánica.

El porcentaje de cobertura vegetal permanente se estimó haciendo una valoración según el uso actual del suelo, así como la visualización de la cobertura en las áreas donde se realizaron las observaciones de suelo, asignando un valor en porcentaje por cada uso, para ello se utilizó Canopy Cover Free (aplicación móvil), para estimar el porcentaje de cobertura vegetal en campo. En el cuadro 4 se presentan los valores ponderados para los diferentes porcentajes de cobertura vegetal permanente que posibilitan la recarga del acuífero.

Cuadro 4. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura

Cobertura vegetal permanente (porcentaje)	Posibilidad de recarga	Ponderación
>80	Muy alta	5
70 – 80	Alta	4
50 – 70	Moderada	3
30 – 50	Baja	2
<30	Muy baja	1

Fuente: Matus, 2007

e) *Uso del suelo*

Este componente es el más cambiante en función de las necesidades de las comunidades y en el que se puede hacer mayor énfasis al momento de establecer lineamientos para el manejo de la microcuenca. Los cambios de uso del territorio marcan un deterioro de los recursos naturales principalmente el suelo influyendo mucho en la escorrentía superficial, provocando una disminución en la recarga del acuífero, además que expone a los suelos a la erosión hídrica, así como la degradación física y biológica de los mismos.

Para la determinación del uso del suelo se empleó el software Google Earth Pro (versión 7.3.2.5491) y se realizó por medio de la delimitación de polígonos según los usos por un proceso de fotointerpretación visual. Esto permitió elaborar un mapa preliminar de usos de la tierra.

Se hizo comprobación en campo de las zonas donde fueron realizadas las observaciones de suelo en las cuales se tomaron las coordenadas y se indicó el tipo de uso de la tierra facilitando de tal manera la actualización del uso de la tierra del municipio, que permitió elaborar el mapa definitivo. En el cuadro 5 se presenta la clasificación del potencial de diferentes usos para la recarga hídrica.

Cuadro 5. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el uso del suelo

Uso del suelo	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosque donde se dan los tres estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Terrenos cultivados y con obras de conservación de suelos y agua	Moderada	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelos y agua	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo	Muy baja	1

Fuente: Matus, 2007

3.3.3 Etapa de Post-Campo

3. Determinación del potencial de recarga de las zonas evaluadas

Una vez evaluados cada uno de los elementos del modelo y aplicada la ponderación correspondiente, se empleó la ecuación propuesta por Matus (2007), la cual se detalla a continuación.

$$ZPRH = 0.27 (Pend) + 0.23 (Ts) + 0.12 (Tr) + 0.25 (Cve) + 0.13 (Us)$$

Donde:

Pend: Pendiente y micro-relieve

Ts: Tipo de suelo

Tr: Tipo de roca

Cve: Cobertura vegetal permanente

Us: Usos del suelo

0.27, 0.23, 0.12, 0.25 y 0.13 son los pesos relativos que se multiplican con los valores ponderados del elemento del modelo correspondiente.

Una vez aplicado este modelo, el algoritmo permitió determinar el potencial de recarga hídrica en el cual se utilizó el Cuadro 6 para clasificar dicho potencial.

Cuadro 6. Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto

Posibilidad de recarga	Rango
Muy alta	4.1 – 5
Alta	3.5 – 4.09
Moderada	2.6 – 3.49
Baja	2 – 2.59
Muy baja	1 – 1.99

Fuente: Matus, 2007

4. Elaboración del mapa de zonas potenciales de recarga hídrica

Con los mapas de cada uno de los elementos del modelo, se empleó la herramienta Weighted Sum de la opción Overlay de Spatial Analyst Tools en el software ArcGis 10.2 para aplicar la ecuación de Matus y generar el mapa de zonas potenciales de recarga hídrica considerando los rangos presentados en el cuadro 6.

Este mapa se hizo con la finalidad de facilitar a los actores del municipio la localización de las zonas potenciales de recarga hídrica que sirva como base para la toma de decisiones y la gestión adecuada de los recursos naturales, así como la implementación de alternativas de manejo de la microcuenca.

5. Caracterización de las zonas identificadas

Una vez evaluado cada elemento del modelo y generado el mapa de zonas potenciales de recarga hídrica, se procede a caracterizarlas en función de los 5 elementos evaluados. Esta caracterización se hizo en el software ArcGis 10.2, haciendo para ello una intersección de los mapas de pendiente, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal permanente, uso del suelo y el mapa de zonas potenciales de recarga hídrica.

Posteriormente se ordenó por posibilidad de recarga en la tabla de atributos, desde las zonas con potencial de recarga muy bajo a las zonas con potencial muy alto (en orden ascendente) y se ubicaron las características de cada elemento que estaban comprendidas en cada posibilidad de recarga. Luego se hizo una descripción de las características de cada zona potencial con el fin de tener una mejor noción de estas y poder proponer acciones que permita mejorar la recarga del acuífero en función de mantener los niveles de agua en la red hídrica del río La Carreta.

6. Propuesta de estrategias y acciones

Las estrategias y acciones van encaminadas a lograr que se mejoren las condiciones que no favorecen a la recarga hídrica, así como a incentivar la conservación de las áreas con mayor

potencial de recarga y servir de base para la elaboración de planes para la gestión sostenible de los recursos naturales, que aseguren la calidad de vida de los habitantes.

Según Matus (2007) previo a la planificación e implementación de estrategias para el manejo de dichas zonas se deben considerar ciertos aspectos básicos como los siguientes:

- a) El contexto físico, el cual se refiere a las características físicas de la zona.
- b) El contexto del manejo, actividades de manejo que se han dado o se están dando en las zonas de recarga.
- c) El contexto legal, referente a la tenencia de la tierra y el marco jurídico nacional relacionado con los recursos naturales.

Para la propuesta de estrategias y acciones es importante contar con la participación de los actores locales quienes son los que conocen mejor las acciones que influyen de forma negativa el estado de la microcuenca y que pueden estar afectando la recarga hídrica, asimismo, son quienes llevarán a cabo las propuestas que surjan y les darán seguimiento. Para ello se siguieron los siguientes pasos:

1. Identificación de las principales problemáticas dentro de la microcuenca según la caracterización de las ZPRH en conjunto con dueños de las fincas en las que se realizaron pruebas de campo, así como con técnicos de la alcaldía.
2. Elaboración de propuesta por parte de dueños o encargados de finca y técnicos.
3. Discusión de las propuestas.
4. Consenso de las propuestas, atendiendo las problemáticas principales que afectan la recarga hídrica.
5. Organización de las propuestas por temáticas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Componentes para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica

4.1.1 Pendiente y microrelieve

Las áreas de pendiente del terreno que tienen posibilidades de recarga para el acuífero se presentan en el Cuadro 7. Se puede observar que hay importantes áreas (30.44 km²), lo que representan el 97% del área total de la microcuenca, que permiten desde una moderada a muy alta posibilidad de recarga del acuífero. Sin embargo 0.89 km² tienen de baja a muy baja la posibilidad de infiltrar agua de lluvia en el suelo debido a que las pendientes son mayores a 45% de inclinación, lo que favorece el escurrimiento superficial y con ello acelerar los procesos erosivos en los suelos de la microcuenca.

Cuadro 7. Posibilidad de recarga hídrica según rango de pendiente en la microcuenca del río La Carreta

Pendiente %	Microrelieve	Posibilidad de recarga	Ponderación	Área (km ²)	%
>65	Fuertemente escarpado	Muy Baja	1	0.05	0.17
45 - 65	Escarpado	Baja	2	0.84	2.67
15 - 45	Ondulado/cóncavo	Moderada	3	17.40	55.53
6 - 15	Moderadamente ondulado o cóncavo	Alta	4	9.48	30.25
0 - 6	Plano a casi plano, con o sin rugosidad	Muy Alta	5	3.56	11.37
Total				31.33	100

Las áreas con pendientes planas a casi planas que ocupan aproximadamente 3.56 km² representando el 11.37% del área total de la microcuenca, son las que más favorecen a la recarga hídrica ya que, como sugieren Matus et al. (2009): “En pendientes suaves, el agua se mueve lentamente y permanece por más tiempo en contacto con el suelo lo que favorece el proceso de infiltración”. Teniendo, además, un bajo escurrimiento superficial, por lo que estas áreas se clasifican con una posibilidad de recarga hídrica muy alta.

Las áreas con pendientes moderadamente onduladas ocupan una superficie de aproximadamente 9.48 km² (30.25% respecto al área total), tienen una posibilidad de recarga alta dado que, aunque hay escurrimiento superficial, el agua se mueve con menor velocidad hacia las zonas más planas, permitiendo que buena parte de esta se logre infiltrar y recargar los acuíferos.

Las pendientes que se encuentran en el rango del 15 al 45 % son las que ocupan el mayor porcentaje de área de la microcuenca con 55.53% (17.40 km² del área total de la microcuenca), estas son áreas que tienen potencial de recarga moderada, debido a que hay una mayor limitación para que el agua logre infiltrar, resultando que se incremente la escorrentía en volumen y velocidad.

Las áreas con pendientes mayores del 45% de inclinación representan el 2.67% de la superficie. Estas son áreas con una posibilidad de recarga baja y muy baja respectivamente, por la condición de tener mayores inclinaciones que hacen que el agua que precipita se escurra superficialmente con mucha más facilidad gracias a la energía cinética que según la UNESCO (1986) “esta es debida a la velocidad que ella toma en su recorrido”, por tanto, la infiltración será mucho más baja, incrementándose además los procesos erosivos en el suelo.

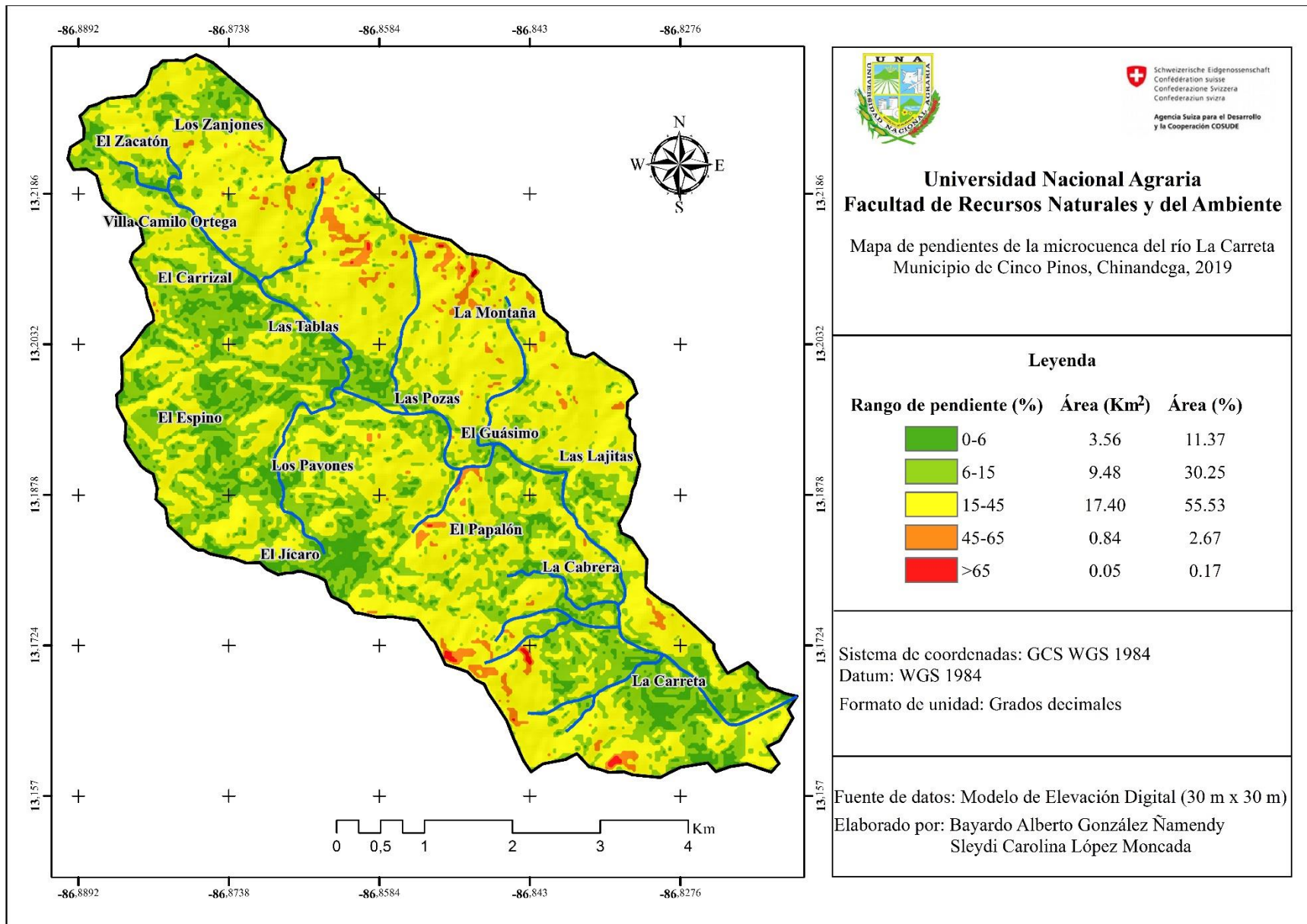


Figura 4. Mapa de pendientes, microcuenca del río La Carreta, municipio de Cinco Pinos

4.1.2 Tipo de suelo

Descripción de los suelos de la microcuenca

En la microcuenca del río La Carreta existen 4 órdenes de suelo (Figura 5) y estos a su vez se clasifican en 6 subgrupos taxonómicos (Cuadro 12).

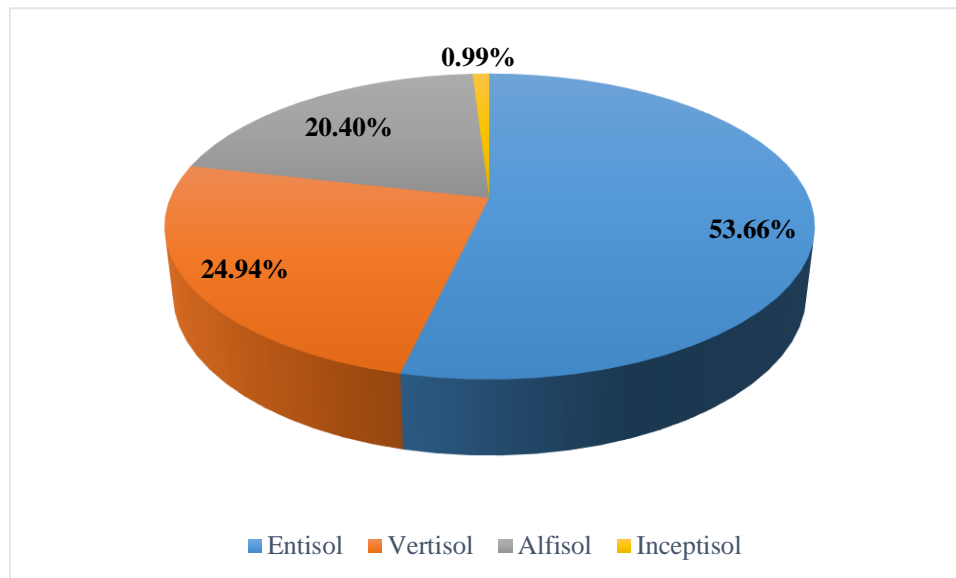


Figura 5. Ordenes de suelo de la microcuenca del río La Carreta, Cinco Pinos, Chinandega

Según la figura 5, puede apreciarse que en mayor proporción se encuentran los suelos Entisoles (con dos subgrupos descritos), distribuidos en la microcuenca de forma predominante, ocupando 16.81 km² de la superficie de la microcuenca (53.66 % del área total), luego los suelos Vertisoles (representado por 2 subgrupos) que se encuentran en las zonas con pendientes más suave y ocupan 7.81 km² de la superficie de la microcuenca (24.94 % del total), en tercer lugar los suelos Alfisoles (representado por 1 subgrupo) que son suelos con desarrollo más notable y ocupan 6.39 km² de la microcuenca. Los suelos Inceptisoles (representado por 1 subgrupo) ocupan 0.31 km² del área de la microcuenca, siendo los que se encuentran en menor proporción (0.99 % respecto al área total).

A continuación, se describen las características de cada uno de los subgrupos taxonómicos descritos para cada orden de suelo.

Suelos Entisoles

Subgrupo: *Lithic Ustorthents*

Este subgrupo del suelo ocupa el mayor porcentaje del área de la microcuenca (29.25 %). El perfil descrito se encuentra ubicado en las coordenadas 13° 10' 54.9" de latitud norte y -86° 49' 39.8" de longitud oeste, entre las comunidades de Las Lajitas y Cerro Colorado. Se encuentra en un área con pendiente ondulada (31%), con presencia de erosión moderada, escurrimiento superficial moderado y con un drenaje interno bueno.

Son suelos poco desarrollados (ver Figura 6), es decir, con muy poca evidencia de horizontes, poseen un contacto lítico dentro de los 50 cm de la superficie del suelo mineral y con restricciones de manejo debido a la pendiente y a su poca profundidad, por lo que su uso se limita a sistemas agroforestales o silvopastoriles, así como para usos forestales y la protección de la flora y fauna. En el cuadro 8, se describen las características del perfil representativo.

Cuadro 8. Características del perfil representativo del suelo Entisol, subgrupo *Lithic Ustorthents*

Horizonte	Características
A 0 a 34 cm	Color marrón rojizo en seco (5 YR 4/4) y marrón rojizo oscuro en húmedo (5 YR 3/4); textura franco arenoso; estructura granular; consistencia friable en seco, plástico en húmedo y adhesivo en mojado; límite plano claro; poros grandes y medianos; poca presencia de raíces finas y medianas; pH ligeramente ácido (6.43), presencia de materia orgánica (3.28 %), capacidad de intercambio catiónico (23.09 meq/ 100 gr), porcentaje de saturación de bases (84.03 %).
R + 34	Material parental

Subgrupo: *Typic Ustorthents*

Este subgrupo del suelo ocupa el 24.41% del área, siendo el segundo subgrupo con mayor extensión en la microcuenca. Según el mapa de Marín (1992), estas áreas no poseen limitaciones por pedregosidad en la superficie. Cabe destacar que, dada las características similares al subgrupo *Lithic Ustorthents*, a excepción del contacto lítico, se les clasifica como *Typic*, comprobándose esto con las observaciones que se realizaron durante el muestreo de suelos y que generalmente, estos se ubican en zonas con pendientes onduladas a fuertemente escarpadas.



Figura 7. Paisaje representativo del suelo Entisol, Cinco Pinos, Chinandega



Figura 6. Perfil representativo de suelo Entisol, subgrupo *Lithic Ustorthents*, Cinco Pinos, Chinandega

Suelos Inceptisoles

Subgrupo: *Typic Haplustepts*

Ocupan el 0.99 % del área total de la microcuenca. Posee un perfil con desarrollo poco notable (suelos incipientes), con la particularidad de presentar un horizonte B que muestra cierto grado de alteración en su color y textura respecto a los demás horizontes denominado horizonte cámbico o Bw (Figura 9).

Localizado al este de la comunidad de Las Tablas, con coordenadas 13° 12' 56" de latitud norte y -86° 52' 28" de longitud oeste. El perfil se encuentra en un área con pendiente moderadamente ondulada (8.5 %), con presencia de erosión severa, uso actual tacotal, escurrimiento superficial y drenaje interno moderado. Estos suelos son aptos para usos forestales, agroforestal, silvopastoril y agropecuarios acompañados con obras de conservación de suelos y agua para evitar que se erosionen. En el cuadro 9 se muestran las características del perfil representativo para este tipo suelo.

Cuadro 9. Características del perfil representativo del suelo Inceptisol, subgrupo *Typic Haplustepts*

Horizonte	Características
A 0 a 19 cm	Color marrón rojizo oscuro (2.5YR 2.5/4) en húmedo; textura arcillosa; estructura en bloque subangular, consistencia adhesiva en mojado; limite abrupto; tiene poros pocos y tubulares, raíces muy pocas y finas.
Bw 19 a 24 cm	Color rojo oscuro (2.5YR 3/2) en húmedo; textura franco-arcillosa; estructura en bloque subangular; consistencia adhesiva en mojado; limite abrupto; tiene poros pocos y finos; raíces muy pocas finas y gruesas.
BC 24 a 60 cm	Color marrón rojizo oscuro (2.5YR 3/4) en húmedo; textura franco arcilloso; estructura en bloque subangular; consistencia plástica en húmedo y adhesiva en mojado; límite abrupto; pocos poros; raíces pocas finas y gruesas.
C > 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.



Figura 8. Paisaje representativo del suelo Inceptisol, Cinco Pinos, Chinandega



Figura 9. Perfil representativo del suelo Inceptisol, subgrupo *Typic Haplustepts*, Cinco Pinos, Chinandega

Suelos Alfisoles

Subgrupo: *Typic Haplustalfs*

Ocupa un área de 6.39 km² que representa el 20.4 % del área total de la microcuenca, posee un horizonte argílico (Bt) o iluvial en el que por un proceso de translocación, las partículas más finas (arcillas) se han movido por acción del agua, de los horizontes superficiales hacia el horizonte B (Figura 10). El perfil descrito se localiza en la comunidad Las Pozas, coordenadas 13° 11' 41" de latitud norte y -86° 51' 50" de longitud oeste, en un área con pendiente fuertemente escarpada (60.4 %), presencia de erosión de leve a moderada, uso actual pasto con árboles dispersos, excesivo escurrimiento superficial y un drenaje interno bueno. Estos suelos son aptos para uso forestal o sistemas agroforestales. En el Cuadro 10 se pueden apreciar las características del perfil representativo de este suelo.

Cuadro 10. Características de perfil representativo de suelo Alfisol, subgrupo *Typic Haplustalfs*

Horizonte	Características
A 0 a 28 cm	Color marrón oscuro en mojado (7.5 YR 3/3), marrón rojizo oscuro en húmedo (5 YR 3/3); textura arcillo limoso; estructura en bloques angulares; consistencia friable en húmedo, plástico en mojado; límite ondulado; muchos poros de medianos a finos; abundantes raíces finas y pocas gruesas.
Bt 28 a 54 cm	Color rojo oscuro en mojado (2.5 YR 3/6); textura arcillosa; estructura en bloques angulares; consistencia friable en húmedo, adhesivo y plástico en mojado; límite ondulado; poros muy pocos y tubulares; raíces muy pocas finas.
C > 64 cm	Color rojo húmedo (2.5 YR 4/8).



Figura 10. Perfil representativo del suelo Alfisol, subgrupo *Typic Haplustalfs* Cinco Pinos, Chinandega



Figura 11. Paisaje representativo del suelo Alfisol, Cinco Pinos, Chinandega

Suelos Vertisoles

Subgrupo: *Typic Haplusterts*

Ocupa el 24.30 % del área total de la microcuenca. El perfil descrito se localiza en la comunidad El Jícaro, coordenadas 13° 10' 54.1" de latitud norte y -86° 51' 33.0" de longitud oeste, en un área con pendiente plana (3%), presencia de erosión moderada, uso actual pasto con árboles dispersos, drenaje interno malo y escurrimiento superficial bajo. Posee la característica de poseer arcillas expandibles que hace que en la época seca se evidencien agrietamientos y en la época lluviosa, sean áreas inundables por su muy baja permeabilidad (Figura 12). En el cuadro 11 se presentan las características del perfil representativo de este suelo.

Subgrupo: *Lithic Haplusterts*

Este subgrupo ocupa un 0.64% del área de la microcuenca siendo el de menos extensión. Posee características similares al descrito anteriormente a diferencia que, estos suelos poseen piedras en la superficie lo cual hace que pase a ser de un *Typic* a un *Lithic Haplusterts*. Esto se corroboró con lo encontrado por Marín (1992) en el mapa que realizó de zonificación agroecológica en el cual determinó que estas áreas poseen como limitante, la presencia de piedras en la superficie.

Según la FAO (2008): "Las propiedades físicas y el régimen de humedad del suelo de los Vertisoles representan serias restricciones de manejo". Dicho esto, su uso está limitado a cultivos que puedan adaptarse a condiciones de estrés hídrico y a la fuerza a la que se someten las raíces durante el agrietamiento en la época seca, siendo evidente el problema que tienen estos suelos respecto a su capacidad para infiltrar el agua.

Cuadro 11. Características del perfil representativo del suelo Vertisol, subgrupo *Typic Haplusterts*

Horizonte	Características
A 0 a 16 cm	Color gris en seco (7.5 YR 6/1) y gris muy oscuro en húmedo (7.5 YR 3/1); textura arcillosa; estructura en bloque subangular; consistencia duro en seco, plástico en húmedo y adhesivo en mojado; límite plano y claro; muchos poros medianos y finos; poca presencia de raíces finas; pH medianamente ácido (5.85), materia orgánica (1.69 %), capacidad de intercambio catiónico (14.43 meq/ 100 gr), porcentaje de saturación de bases (80.63 %).
A2 >16 cm	Color gris en seco (10 YR 5/1) y gris oscuro en húmedo (5 YR 4/1); textura arcillosa; estructura en bloque subangular; consistencia duro en seco, plástico en húmedo y adhesivo en mojado; límite plano y claro; poros medianos y finos; ausencia de raíces; pH muy ligeramente ácido (6.73), materia orgánica (0.36 %), capacidad de intercambio catiónico (21.13 meq/ 100 gr), porcentaje de saturación de bases (96.29 %).



Figura 12. Perfil representativo de suelo Vertisol, subgrupo *Typic Haplusterts* Cinco Pinos, Chinandega



Figura 13. Paisaje representativo del suelo Vertisol, Cinco Pinos, Chinandega

Posibilidad de recarga por tipo de suelo

En el orden de suelo entisol predomina la textura franco arenosa, por lo que se le asignó una ponderación muy alta de recarga (ver Cuadro 12). Esto implica mayor cantidad de macroporos y esta condición física facilita la infiltración del agua, contribuyendo de manera significativa a la recarga del acuífero.

Los suelos con texturas franco arcilloso y arcillo limoso, poseen una capacidad de infiltración baja por ende, la posibilidad de recarga es baja, ya que, a pesar de que hay presencia de partículas de arena y limo, predominan las arcillas lo cual dificulta la infiltración del agua en el suelo. Según las observaciones, estas texturas se encontraron de forma predominante en suelos inceptisoles y alfisoles por lo que a estos suelos se les asignó ponderación 2.

Los suelos con texturas arcillosas tienen muy baja posibilidad de recarga por la predominancia de partículas coloidales (arcilla) que dificultan la infiltración del agua por tener microporos y estar estos suelos sometidos a usos intensivos (pasto para la ganadería) lo cual trae como consecuencia la compactación y degradación de los mismos. En ese sentido, Matus (2007) expresa que: “Suelos de textura fina, arcillosos, pesados y compactados, impiden la recarga hídrica “. Estas texturas se encontraron en suelos vertisoles por lo que a estos se les asignó ponderación 1 (muy baja posibilidad de recarga hídrica).

Las arcillas de estos suelos son expandibles lo que hace que durante la época de sequía se formen agrietamientos en la superficie y durante la época lluviosa, estos suelos se saturan rápidamente.

Cuadro 12. Posibilidad de recarga hídrica por tipo de suelo, microcuenca del río La Carreta

SUBGRUPO	Textura predominante	Ponderación	Posibilidad de recarga	Área (Km²)	%
<i>Lithic Haplusterts</i>	Arcilloso	1	Muy baja	0.20	0.64
<i>Lithic Ustorthents</i>	Franco Arenoso	5	Muy alta	9.16	29.25
<i>Typic Ustorthents</i>	Franco Arenoso	5	Muy alta	7.65	24.41
<i>Typic Haplusterts</i>	Arcilloso	1	Muy baja	7.61	24.30
<i>Typic Haplustepts</i>	Arcillo-Limoso	2	Baja	0.31	0.99
<i>Typic Haplustalfs</i>	Franco Arcilloso	2	Baja	6.39	20.40
Total				31.33	100

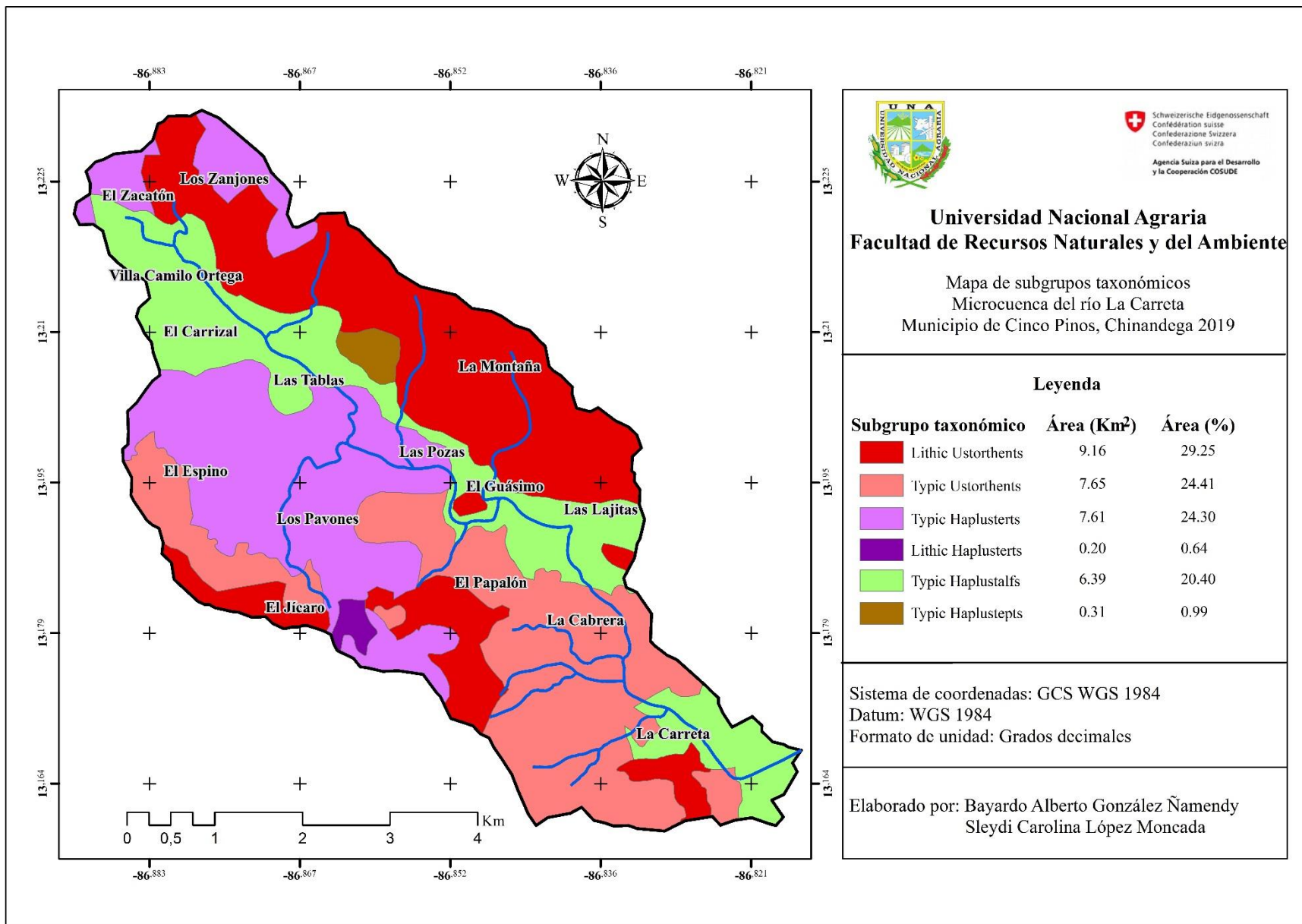


Figura 14. Mapa de subgrupos taxonómicos de la microcuenca del río La Carreta, municipio de Cinco Pinos

4.1.3 Tipo de roca

En la microcuenca existen dos formaciones geológicas según el mapa de INETER (2004) (Figura 15): La formación Matagalpa que predomina y ocupa un área de 29.9 km² en la microcuenca, lo cual representa el 95.44 % de la superficie total y la formación Márgenes del Batolito de Dipilto, la cual cubre una superficie de 1.43 km² y representa 4.56 % del área total (ver Cuadro 13).

La formación Matagalpa está formada litológicamente por rocas piroclásticas, lavas y areniscas, con una edad aproximada de unos 25 millones de años. Esta formación presenta una posibilidad de recarga muy baja puesto que, están impermeabilizadas con cenizas volcánicas que actuaron como agente cementante sobre las rocas, y por ello el agua que logra infiltrarse se mueve por escurrimiento subsuperficial hasta encontrar su salida.

Krasny y Günter (1998) expresan que desde el punto de vista hidrogeológico, en la formación Matagalpa, el flujo de agua subterránea relativamente más intenso se da en las zonas subsuperficiales donde existe meteorización y fisuramiento de rocas en sus afloramientos, de alcance de probablemente de unas decenas de metros, teniendo una muy baja permeabilidad en las zonas más profundas y con una mayor heterogeneidad en comparación con la permeabilidad de los Grupo de Acuíferos Principales de Nicaragua.

La formación Márgenes del Batolito de Dipilto, corresponde a una formación intrusiva ácida (Tia) en la que es común encontrar rocas del tipo Granodiorita que por sus características, tienen una baja permeabilidad, tiene una estructura que va de grano medio a grueso, en comparación con la formación Matagalpa, los intrusivos en esta zona poseen cierta capacidad para almacenar agua la cual está condicionada además por las fallas o diaclasas presentes en el área que han hecho que la roca presente fracturas, siendo este el medio por el que el agua que percola, pueda moverse por medio de la roca.

Hodgson (1971) expresa que estas rocas intrusivas generalmente se encuentran meteorizadas, principalmente con forman extensas zonas (Cinco Pinos, Suroeste de Achuapa y Noreste de Somotillo). Predomina un tipo de meteorización donde los feldespatos están alterados a Caolín o arcilla y la biotita a clorita y por lo general, la roca conserva su estructura granítica, pero es friable. En ese sentido, aunque este tipo de roca no posee buenas características de porosidad para almacenar grandes volúmenes de agua, si permite por medio de sus fracturas transportar el agua que logra llegar hasta el acuífero.

Cuadro 13. Posibilidad de recarga según el tipo de roca, microcuenca del río La Carreta

Formación	Ponderación	Posibilidad de recarga	Área (Km ²)	%
Matagalpa	1	Muy baja	29.9	95.44
Márgenes del Batolito de Dipilto	2	Baja	1.43	4.56
Total			31.33	100

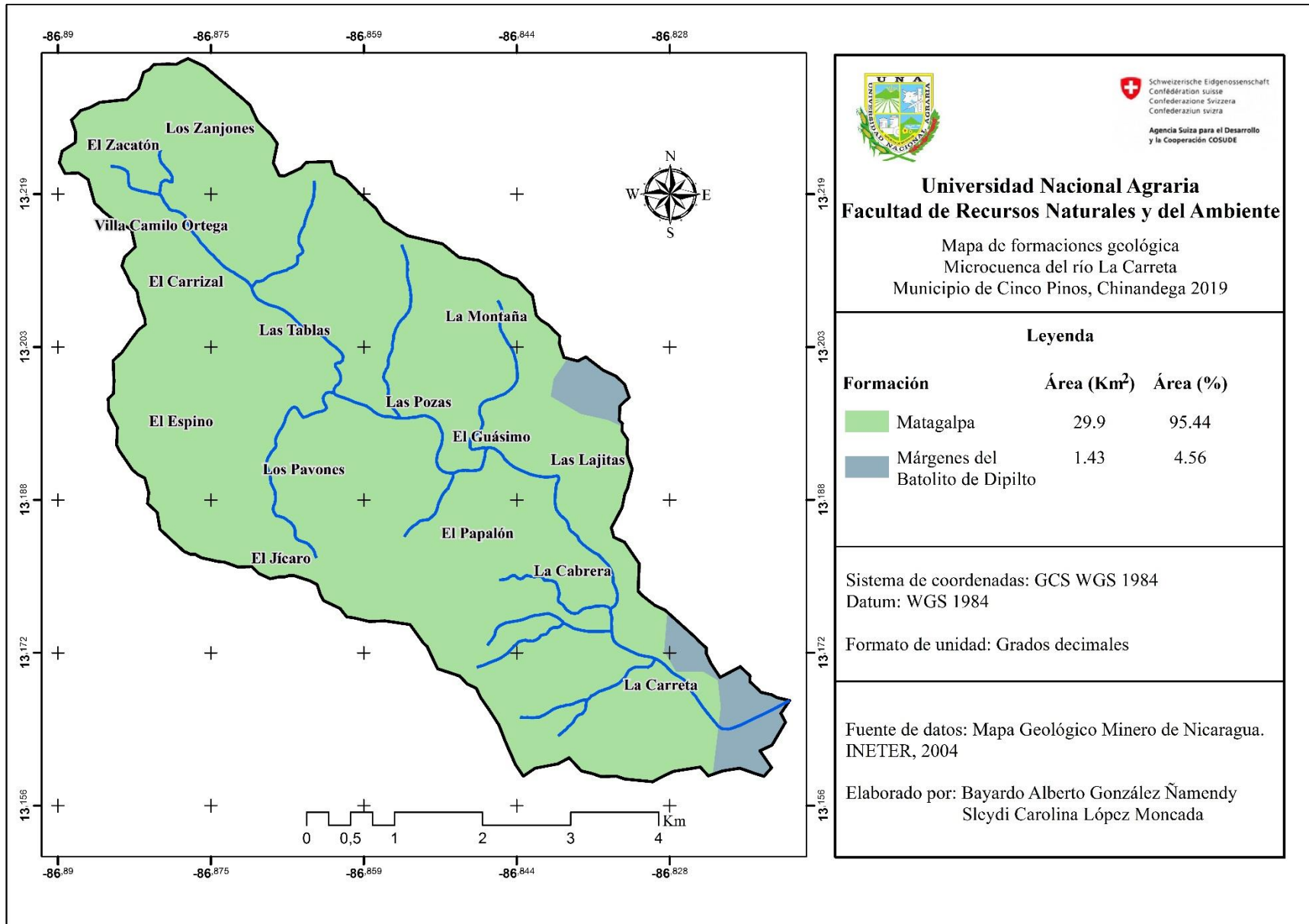


Figura 15. Mapa de formaciones geológicas, microcuenca del río La Carreta, municipio Cinco Pinos

4.1.4 Cobertura vegetal permanente

Según Matus (2007), la cobertura vegetal permanente, es importante ya que influye directamente en la infiltración del agua, al permitir mayor contacto con el suelo, debido a que disminuye la velocidad de la escorrentía, la erosión, el impacto de la gota de lluvia y la resequeidad producto de los rayos del sol, favoreciendo, a conservar las características del suelo que contribuyen a la recarga hídrica.

En el Cuadro 14, se muestra que el porcentaje de cobertura que predomina es la que se encuentra en un rango menor al 30%, en esta categoría se encuentran usos del suelo como lo son agropecuario, árboles dispersos, árboles más pasto, infraestructuras y áreas sin vegetación.

Las áreas agropecuarias y áreas de pasto con árboles dispersos se encuentran muy degradadas, así como las áreas de árboles con pasto (ver Figura 16). Esta situación es negativa para la recarga hídrica, puesto que el agua que precipita tiene menos posibilidad de ser interceptada por la vegetación por el bajo porcentaje de cobertura que posee, y tiene mayor consecuencia cuando estas áreas con poca cobertura se encuentran en zonas con pendientes más inclinadas.



Figura 16. Usos del suelo con muy poca cobertura vegetal y evidencia de erosión

En segundo lugar, la posibilidad de recarga baja corresponde a áreas con porcentaje entre 30-50% de cobertura vegetal permanente, siendo estas los suelos utilizados con vegetación arbustiva y tacotales. En estas áreas, el suelo no está completamente desnudo, sin embargo, la cobertura que presenta es relativamente baja, y con ello también la infiltración. El sistema radicular ocupado por el tipo de vegetación que se está desarrollando en estas áreas es menos profundo en comparación al de las áreas boscosas que generalmente es más profundo.

El tercer rango de cobertura corresponde a las áreas entre 50 a 70 % (9.43 km² que representan el 30.10 % del total), con una posibilidad de recarga moderada. En ese sentido, las áreas forestales dentro de la microcuenca, aunque se encuentren en fragmentos y con porcentajes de cobertura moderado, brindan un gran servicio para la recarga hídrica. Maderey (2005) indica que: “Con una cubierta vegetal natural aumenta la capacidad de infiltración”.

La categoría con la más alta posibilidad de recarga es la que presenta más de un 80% de cobertura vegetal, debido a la alta capacidad que tienen estas áreas para interceptar el agua que precipita en el follaje de las plantas y que es transportada por flujo cortical y trascolación del agua en la bóveda forestal hasta llegar al suelo con una menor velocidad, logrando infiltrarse. Matus (2007) sugiere que: “Entre mayor sea la cobertura vegetal y cuando se presenta con más estratos en una zona, mayor será la recarga hídrica y mejor se conservan las características del suelo que también favorecen la recarga”.

En la microcuenca son muy pocas las áreas con 80% porcentaje de cobertura, y corresponden al bosque de galería donde por su cercanía a la fuente de agua, logra mantener su follaje casi todo el tiempo.

Cuadro 14. Posibilidad de recarga según el porcentaje de cobertura vegetal permanente, microcuenca La Carreta

Cobertura vegetal	Posibilidad de recarga	Ponderación	Área (Km²)	%
<30%	Muy baja	1	17.79	56.78
30-50%	Baja	2	2.85	9.09
50-70%	Moderada	3	9.43	30.10
>80%	Muy alta	5	1.26	4.03
Total			31.33	100

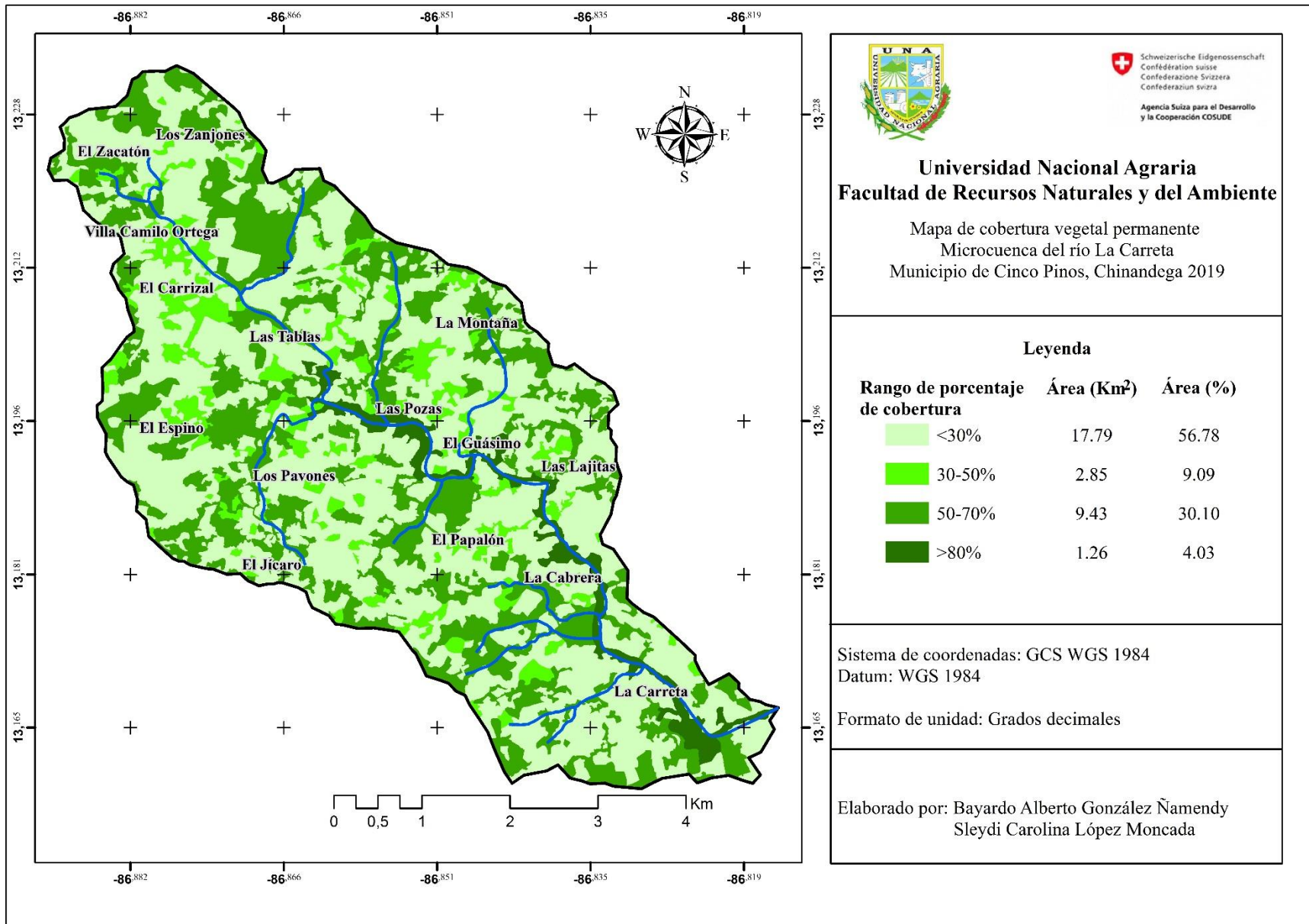


Figura 17. Mapa de cobertura vegetal permanente de la microcuenca del río La Carreta, municipio Cinco Pinos

4.1.5 Uso del suelo

Según la FAO (2002) las prácticas de uso de la tierra tienen importantes impactos tanto en la disponibilidad como en la calidad del agua; estos impactos pueden ser positivos o negativos.

Según los resultados presentados en el Cuadro 15, el uso de suelo predominante es el agropecuario, que junto al uso de pastos más árboles dispersos, forman los usos con mayor área (15.93 km² entre ambos), pero que presentan una posibilidad de recarga muy baja, esto debido a que, en las áreas con usos agropecuarios, el ganado compacta el suelo, haciendo que se cree una capa impermeable alterando su estructura, lo que impide que el agua infiltre fácilmente, asimismo, son áreas destinadas también a la producción agrícola, donde después de cultivar se introduce el ganado. En el caso de las áreas con pasto más árboles dispersos, el componente leñoso se encuentra muy disperso.

A estas categorías se les considera como uso intensivo del suelo donde hay serios problemas de erosión (ver Figura 18), provocando que, al momento de las lluvias, se dé el arrastre de suelo hacia las partes más bajas que inducen en el aumento de la velocidad de la escorrentía que contaminan los cuerpos de agua, reduciendo significativamente la infiltración del agua en el suelo.



Figura 18. Áreas con usos agropecuarios con muy baja posibilidad de recarga hídrica en la microcuenca del río La Carreta, municipio de Cinco Pinos

El segundo uso que mayor área ocupa en la microcuenca, es el de bosque latifoliado abierto, con una alta posibilidad de recarga, sin embargo, estas corresponden en su mayoría a fragmentos que han quedado dispersos.

En estas áreas boscosas se observó la presencia de hojarascas que son fuente de alimento para los microorganismos que la descomponen y la reintegran nuevamente al suelo en forma de nutrientes y minerales. En ese sentido Stadtmüller (1994) indica que: “La capa de humus condicionada por las características microclimáticas del bosque y la ausencia de un uso intensivo facilitan el proceso de infiltración e inhiben la destrucción de los agregados y el desecamiento del suelo”.

El bosque de galería, a pesar de ocupar sólo una pequeña parte del área en estudio (1.26 km²), es el uso con posibilidad de recarga muy alta, dada la presencia de los tres estratos (árboles, arbustos y vegetación herbácea), su alto porcentaje de cobertura y estar en zonas con pendientes más planas.

En ese sentido, la FAO (2009) indica que, las áreas boscosas ejercen influencia en la cantidad de agua disponible de las aguas subterráneas, así como las corrientes y las masas de agua superficiales al interceptar la lluvia por medio la evaporación de la humedad superficial de la vegetación, la transpiración de la humedad del suelo, la captación del agua de la bruma y el mantenimiento de la infiltración del suelo.

Stadtmüller (1994) asegura además que: “Las raíces de los árboles forman una serie de canales que ayudan a la infiltración y percolación del agua”. Este proceso que se da en los bosques y áreas con vegetación permanente, no sólo permite mejorar la capacidad de infiltración del agua por los canales que se crean, sino que ayuda a mantener los agregados del suelo estables.

Whalley et al. (2005) citado por Torres-Guerrero, Etchevers, Fuentes-Ponce, Govaerts, León-González y Herrera, (2013) indican que, “la arquitectura de las raíces favorece cambios en la estructura del suelo, principalmente en la conectividad de los poros, los cuales se reordenan mejorando el drenaje”. Este hecho permite que, al mejorarse la estructura de los suelos y la conectividad de los poros, se facilite la infiltración del agua.

En cuanto a la posibilidad de recarga moderada, se encuentran tres usos los cuales son: Tacotales, Vegetación arbustiva y los árboles dispersos con pasto. Esta vegetación presenta un potencial de recarga moderado dado que, hay presencia de vegetación combinada (árboles dispersos con pasto) o vegetación permanente como lo son arbustos y áreas en estado sucesional como es el caso de los tacotales, en las cuales el agua que precipita, logra infiltrar al ser interceptada por esta vegetación.

En el caso de las áreas ocupadas por infraestructuras, la posibilidad de recarga es muy baja ya que el suelo es impermeabilizado para construir casas, calles y caminos, lo que disminuye significativamente la infiltración del agua en el suelo.

Por otro lado, en las áreas sin vegetación se da una infiltración muy baja, debido a que el agua se pierde con facilidad por escurrimiento superficial o evaporación, al no existir vegetación que logre interceptar las lluvias y retenga la humedad en el suelo. Úbeda (2016) señala que: “Cuando el suelo no cuenta con ninguna cobertura, la acción erosiva de la lluvia y el viento afectan de manera más directa al suelo, deteriorándolo con más facilidad, sumado a las presiones ejercidas por la actividad antrópica”.

Cuadro 15. Posibilidad de recarga según uso del suelo, microcuenca del río La Carreta

Categoría de Uso	Posibilidad de recarga	Ponderación	Área (Km²)	%
Vegetación boscosa				
Bosque Latifoliado Abierto	Alta	4	9.43	30.10
Bosque de Galería	Muy alta	5	1.26	4.03
Sub-total			10.69	34.13
Vegetación arbustiva, matorrales, malezas y Tacotales				
Tacotales	Moderada	3	2.08	6.64
Vegetación arbustiva	Moderada	3	0.77	2.45
Sub-total			2.85	9.09
Vegetación de ciclo corto				
Agropecuario	Muy baja	1	10.79	34.44
Sub-total			10.79	34.44
Vegetación de ciclo largo				
Pasto con árboles dispersos	Muy baja	1	5.14	16.39
Árboles dispersos con pastos	Moderada	3	1.56	4.98
Sub-total			6.7	21.37
Otros usos				
Área sin vegetación	Muy baja	1	0.01	0.03
Sub-total			0.01	0.03
Áreas humanizadas				
Zona urbana	Muy baja	1	0.29	0.94
Sub total			0.29	0.94
Total			31.33	100

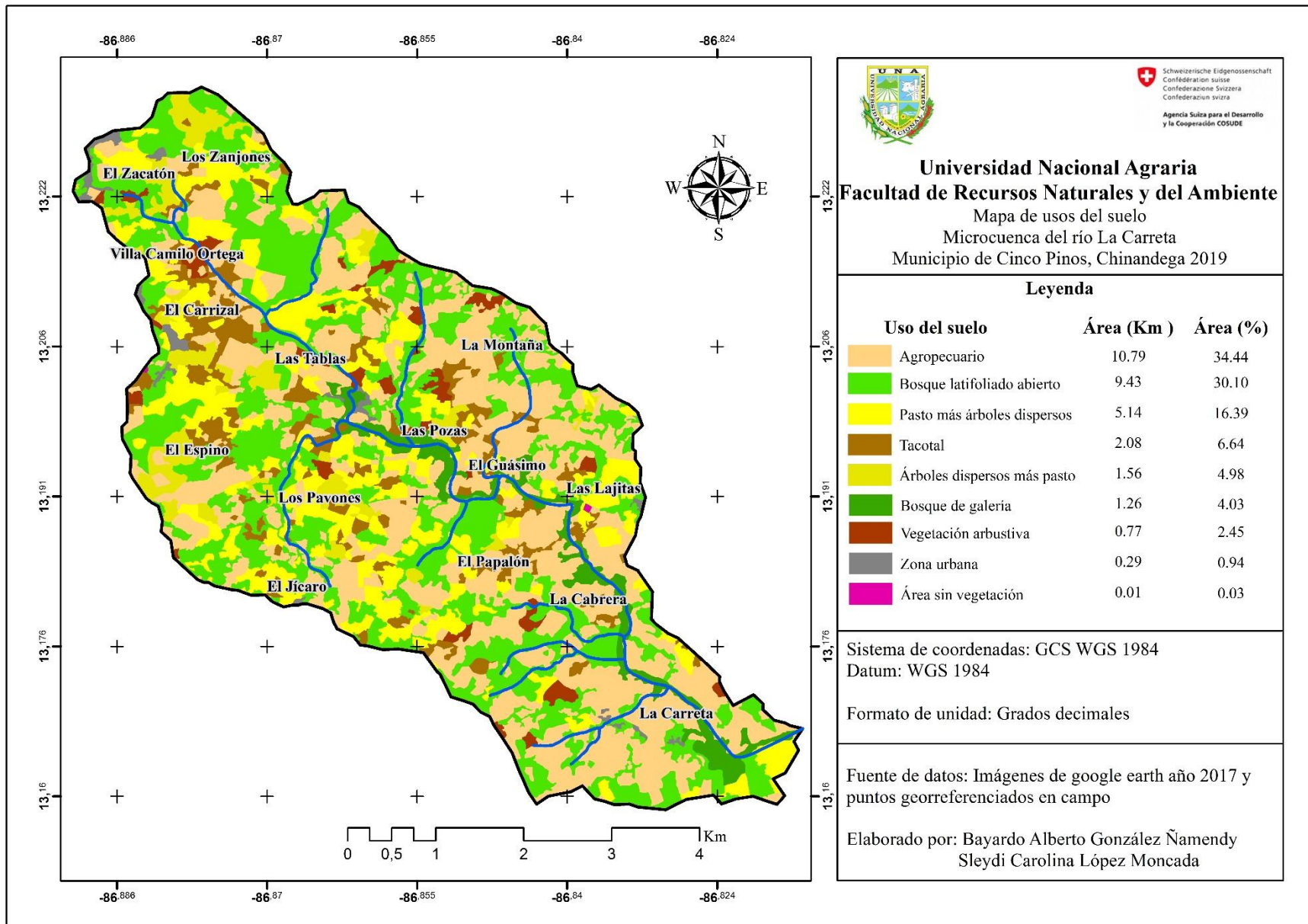


Figura 19. Mapa de uso del suelo de la microcuenca del río La Carreta, municipio de Cinco Pinos

4.2 Caracterización de las zonas potenciales de recarga hídrica

La microcuenca del río La Carreta posee cinco posibilidades para la recarga hídrica (Cuadro 16), estos van desde posibilidad de recarga muy baja hasta posibilidad de recarga muy alta. Las posibilidades de recarga que predominan son la baja y moderada, estas con el 37.93% y 36.85 % respectivamente, siendo la posibilidad de recarga muy alta la que menor superficie ocupa (1 %).

4.2.1 Zonas con potencial de recarga muy bajo

Ocupa una extensión de 5.214 km² lo que corresponde al 16.64 % respecto a la superficie total. Representan las áreas más vulnerables y con posibilidad de recarga muy baja. En estas se encuentran usos de la tierra como: infraestructuras, áreas sin vegetación, agropecuario con manejo intensivo, así como áreas de pasto con árboles muy dispersos.

Estas presentan porcentaje de cobertura menor al 30% puesto que hay poca vegetación permanente o está fragmentada. Poseen suelos con texturas arcillosas, franco-arcillosas a arcillo limosas y pendientes de onduladas a fuertemente escarpadas, debiendo restringir las actividades agropecuarias en las áreas con pendiente fuertemente escarpadas para evitar que se continúe deteriorando el suelo e implementando obras de conservación de suelos y agua en aquellas áreas donde se cultive en pendientes onduladas.

En estas áreas, el escurrimiento superficial es alto por las características del relieve y el tipo de suelo, además, las características de geología no favorecen la recarga del acuífero.

4.2.2 Zonas con potencial de recarga bajo

Ocupan 2.374 km² (7.58 % del área). Esta zona presenta características similares a las zonas anteriormente descritas, donde el factor pendiente es clave puesto que más del 50 % de la microcuenca es ondulada (15-45% de pendiente), con predominio del uso agropecuario y algunos fragmentos de bosque latifoliado abierto, así como condiciones de geología que no favorecen la recarga. El ligero incremento de la posibilidad de recarga se debe al tipo de suelo que va desde texturas franco-arcillosas a franco-arenosas pero con rangos de cobertura vegetal permanente menores al 30% por el tipo de uso y algunas zonas con cobertura entre 50 al 70% donde hay bosques.

4.2.3 Zonas con potencial de recarga moderado

La posibilidad de recarga moderada se extiende por 11.544 km² (36.85 % del área total). En estas áreas se encontraron superficies con usos agropecuarios y pastos con árboles dispersos con porcentaje de cobertura menor a 30%; áreas con tacotales y vegetación arbustiva, entre 30 a 50%; y bosque latifoliado abierto, entre 50 y 70%. Presentan condiciones geológicas desfavorables y el tipo de suelo va desde texturas franco arcillosa a franco arenosa, estando en áreas con pendientes moderadamente onduladas a onduladas.

En este rango de posibilidad de recarga se pueden tomar más acciones para incrementar la posibilidad de recarga, puesto que las condiciones del área son más favorables, a diferencia de las áreas con potencial muy bajo donde hay suelos muy arcillosos o se encuentran en terrenos con pendientes fuertemente escarpadas.

4.2.4 Zonas con potencial de recarga entre alta y muy alta

Ocupan porcentajes muy bajos respecto al área total, la zona con potencial alto con 2.374 km² y la muy alta con 0.314 km² (7.58 % y 1 % respectivamente). Son áreas que se encuentran en terrenos planos a moderadamente ondulados, con texturas franco arcillosa a franco arenosas, uso del suelo agropecuario, predominando el bosque latifoliado abierto y bosque de galería, así como cobertura vegetal permanente que van desde 50 a más de 80%. Estas áreas deben ser manejadas con fines de conservación, especialmente el bosque de galería por el alto potencial de recarga hídrica que presenta por su cobertura y las características del relieve en el que se encuentra. Asimismo, las áreas de bosque deben ser aprovechadas de forma racional por las comunidades.

Cuadro 16. Posibilidad de recarga en la microcuenca del río La Carreta

Rango de posibilidad	Posibilidad de Recarga	Área (Km ²)	%
1 - 1.99	Muy baja	5.214	16.64
2 - 2.59	Baja	11.884	37.93
2.6 - 3.49	Moderada	11.544	36.85
3.5 - 4.09	Alta	2.374	7.58
4.1 - 5	Muy alta	0.314	1
Total		31.33	100

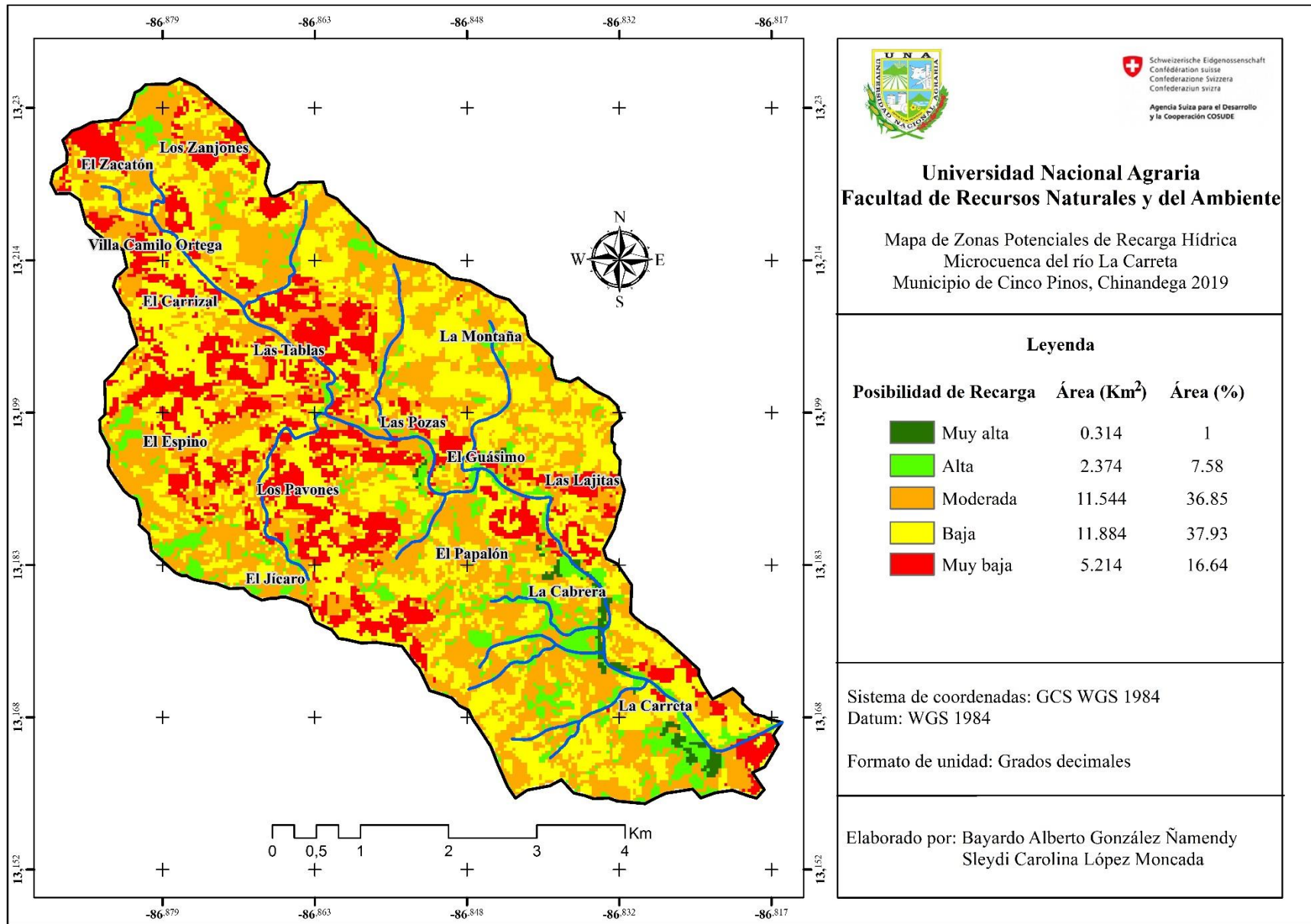


Figura 20. Mapa de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica, microcuenca del río La Carreta, municipio de Cinco Pinos

4.3 Propuesta de acciones para incrementar las posibilidades de recarga

Una vez realizada la caracterización de las zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca del río La Carreta, se procedió a proponer alternativas y sugerencias que propicien el aumento de las posibilidades de recarga, esto en conjunto con actores locales, luego se hizo una selección de las que más se adecuaban a las condiciones del área, las cuales fueron clasificadas en 4 ejes principales y se describen a continuación.

4.3.1 Obras de conservación de suelos y agua

Entre los principales objetivos de las OCSA, están:

- Controlar la erosión
- Aumentar la infiltración de agua en el suelo
- Disminuir la escorrentía y pérdida de suelo
- Mantener la humedad del suelo
- Proteger el suelo y cultivos del viento

En las zonas con pendiente onduladas, se sugiere implementar la siembra de cultivos siguiendo las curvas de nivel, implementar barreras vivas con madero negro (*Gliricidia sepium*, Jacq), zacate de limón (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf), piña de cerco (*Bromelia karatas* L), gandul (*Cajanus cajan*, L) y valeriana (*Chrysopogon zizanioides*, L). Estas especies se adaptan a las condiciones climáticas que se presentan en Cinco Pinos y esta práctica se recomienda asociar con barreras muertas como tronco de árboles, ramas y/o piedras.

Se debe de utilizar las piedras que están sueltas en el terreno o parcela, ya que las piedras que están enterradas en el suelo contribuyen a disminuir las pérdidas de suelos por erosión hídrica. Se debe evitar el pastoreo en las áreas donde se construyen estas barreras puesto que pueden destruirlas.

Se sugiere construir diques de contención en las áreas con mayor pendiente, para estabilizar las cárcavas, estos son muros de piedras que se hacen siguiendo las curvas de nivel y tiene como finalidad reducir la velocidad de la escorrentía y retener los sedimentos arrastrados por la lluvia. Con el tiempo, el suelo acumulado en estos diques servirá para establecer barreras vivas.

Si se van a construir zanjas de infiltración, es recomendable hacerlas en conjunto con las barreras vivas.

De acuerdo a MARENA (2016), es importante incorporar todas las prácticas apropiadas a las condiciones biofísicas y ambientales dentro del sistema de producción.

4.3.2 Buenas prácticas agropecuarias

Estas acciones están encaminadas a:

- Conservar el potencial productivo del suelo
- Control erosivo
- Incrementar la infiltración del agua en el suelo

- Diversificar usos de suelo para disminuir daños

Dejar los residuos de la cosecha de los cultivos sobre los suelos en la parcela, no quemarlos para que puedan ser incorporados al suelo y se incremente la actividad de los microorganismos promoviendo con esto el ciclado natural de los nutrientes del suelo, logrando que se retenga la humedad, disminuir las plantas no deseadas y con ellos el uso de herbicidas, mejoramiento de la estructura de los suelos, incrementando la capacidad de infiltración.

Controlar la intensidad del pastoreo para reducir la compactación producto de esta. Esto se puede lograr dividiendo las áreas destinadas a pastoreo a fin de hacer una rotación de potreros, y empleando un sistema de semi-estabulación, donde el ganado pueda permanecer cierto tiempo en el potrero y cierto tiempo en el establo.

Incrementar los árboles en las áreas cuyo uso es árboles más pasto, diversificando con especies forrajeras y de sombra para el ganado, asimismo, en las áreas donde solo hay pasto, implementar sistema silvopastoril que permita seguir teniendo ganadería y a la vez, se mejoren las condiciones para que se infiltre el agua, manteniendo el sistema de semi-estabulación.

Implementar el asocio de cultivos para reducir el uso de agroquímicos que contaminen los suelos y las fuentes de agua.

Realizar rotación de cultivo para evitar que el suelo pierda sus propiedades, alternando cultivos que tengan diferentes necesidades nutricionales.

Se recomienda implementar un sistema silvopastoril con fines energéticos, forrajeras, maderables y frutales en las áreas destinadas a potreros.

4.3.3 Reforestación

La reforestación se debe implementar en la parte alta de la microcuenca y en la ribera del río principal (La Carreta) y sus quebradas. Esta debe ser monitoreada para asegurar su éxito.

Se propone hacer talleres con las personas de las comunidades que incluyan niños, jóvenes y personas adultas, así como los productores, en conjunto con técnicos de la municipalidad en este tema para asegurar una participación de todos los actores locales.

En áreas donde ya no se tiene planificado seguir cultivando y se desea rehabilitar el ecosistema, se puede implementar la reforestación por nucleación que no es más que la siembra de árboles en pequeñas islas o núcleos que con un buen cuidado y con el tiempo se crean las condiciones en el micrositio y se atraen agentes dispersores de semilla que permiten extender el núcleo a otros sitios del área a rehabilitar.

Se puede implementar el sistema de reforestación tradicional, en el caso de las áreas con pendiente inclinada, con un diseño de tres bolillos.

Se recomienda utilizar las siguientes especies nativas: acacia amarilla (*Senna siamea* Lam.), leucaena (*Leucaena leucosephala* Lam.), nacasclo (*Caesalpinia coriaria* Jacq.) y mandagual (*Caesalpinia velutina* Britton & Rose.) como especies para fines dendroenergéticos dado su rápido prendimiento. Árboles de limones (*Citrus limón* L.),

mango (*Mangifera indica* L.), jocote (*Spondias* spp), almendra (*Terminalia catappa* L.), aguacate (*Persea americana* Mill) y mamón (*Melicoccus bijugatus* Jacq) como especies frutales. Aromo (*Acacia farnesiana* L.), genízaro (*Samanea saman* Jacq.), ojoche (*Brosimum alicastrum* Sw.), tigüilote (*Cordia dentata* Jacq.), guanacaste negro (*Enterolobium cyclocarpum* Jacq.) cuyos sistemas radiculares son profundos y son especies que pueden usarse como alimento para el ganado.

Para evitar que los árboles que han sido reforestados perezcan por falta de agua, se puede utilizar un sistema de riego por goteo solar (ver Anexo 7) en combinación con mulch (una cubierta de hojarasca o residuos de cosechas) para que el árbol tenga disponible el agua necesaria aún en época de sequía. En este sistema se reutilizan botellas de plástico, por lo que se debe coordinar con la unidad de gestión ambiental del municipio para implementar un sistema de separado de residuos y de allí, se obtengan las botellas a utilizar.

Los diversos beneficios que traería consigo, son:

- A mayor cobertura boscosa, mayor capacidad de infiltración del agua
- Aumento de la biodiversidad
- Disminución de la escorrentía
- Control erosivo
- Mejora de las propiedades físicas y biológicas del suelo

4.3.4 Educación ambiental

Se realizarán con el fin de:

- Crear conciencia en la población sobre la problemática ambiental
- Mejorar la relación “medio ambiente-ser humano”
- Aumentar la resiliencia en las comunidades

Realización de talleres de educación ambiental en centros de enseñanza y en las comunidades. Los talleres deben ir enfocados en el correcto manejo de los recursos naturales, en la importancia de proteger los recursos hídricos, las consecuencias del mal manejo de los recursos naturales y cómo se puede producir la tierra generando el menor impacto posible.

Organizar reuniones en las comunidades que se encuentran dentro de la microcuenca en conjunto con los técnicos de la alcaldía y comité de agua potable para el manejo del recurso hídrico. Los actores claves deben ser los mismos comunitarios quienes a su vez puedan dar a conocer la problemática y hagan propuestas.

Realizar talleres de capacitación referente a las obras de conservación de suelos y agua, así como los temas de reforestación y sistemas agroforestales. Debe recalcarse la importancia que la población conozca la vulnerabilidad y las amenazas que presentan en sus comunidades.

V. CONCLUSIONES

Se delimitaron las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica en la microcuenca del río La Carreta, ocupando la mayor área las zonas con posibilidad de recarga baja y moderada, siendo estas las zonas a priorizar para la implementación de las acciones que permitan incrementar el potencial de recarga hídrica.

Se destaca el hecho de que el 95.44% del área se encuentra sobre una formación geológica impermeable (grupo Matagalpa) por lo que el flujo de agua principal en esta área se da de forma subsuperficial; uso actual en su mayoría agropecuario; un 56.78 % del área total se encuentra con cobertura vegetal menor al 30% y relieve con pendiente predominante ondulada (de 15 a 45% de inclinación), lo cual incrementa la velocidad de escorrentía, reduciendo la posibilidad de infiltración del agua.

Las propuestas de acciones están dirigidas principalmente a incrementar la cobertura vegetal y reducir el escurrimiento superficial y fueron clasificadas en 4 ejes principales: Obras de conservación de suelos y agua, buenas prácticas agropecuarias, reforestación y educación ambiental.

Estas acciones deben realizarse en conjunto para que, con el tiempo, se logre incrementar la cobertura vegetal y se realicen prácticas que generen mayor infiltración y menor escorrentía para favorecer la recarga hídrica dentro de la microcuenca, permitiendo mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

VI. RECOMENDACIONES

- Diseñar un sistema de monitoreo de las acciones que vayan a implementarse en la microcuenca, a través de la creación de comités locales que, con sus respectivos indicadores permitan darles seguimiento a estas actividades e ir haciendo ajustes en el tiempo.
- Involucrar a los actores locales de la microcuenca en las acciones que se vayan a implementar para incrementar la recarga hídrica.
- Hacer un estudio del estado de los fragmentos de bosques encontrados en la microcuenca para implementar medidas que incrementen la cobertura vegetal.
- Elaborar una propuesta de manejo tomando en cuenta los criterios y conclusiones de esta tesis para buscar los recursos y financiamiento necesarios para su implementación.

VII. LITERATURA CITADA

- Cáceres López, C.V., Hernández Vanegas, E. y López Berrios, F. S. (2009). *Establecimiento del bosque de galería del jardín botánico ambiental en la finca el Ojoche de la UNAN-León*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua – León, León Nicaragua. Recuperado de: <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/retrieve/4595>
- Donis Cáceres, L. (2015). *IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE RECARGA HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO NEGRO, CIUDAD DE GUATEMALA*. (Tesis de pregrado). Recuperado de: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/15/Donis-Luisa.pdf>
- ENACAL. (2007). *Caracterización municipal de San Juan de Cinco Pinos*. Recuperado el 4 de febrero de 2020 de BVSDE-Nicaragua Sitio web: <http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/enacal/Caracterizaciones/Chinandega/CincoPinos.html>
- FAO. (2002). *Relaciones tierra-agua en cuencas hidrográficas rurales*. Roma. Recuperado de http://www.fao.org/tempref/agl/AGLW/ESPIM/CD-ROM/documents/5F_s.pdf
- FAO. (2005). *EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS FORESTALES MUNDIALES, NICARAGUA*. Informe Nacional 195. Recuperado de: <http://www.fao.org/forestry/9107-0c6fe991aec5dbee690c7c9cd35eb9d81.pdf>
- FAO. (2008). *Base referencial mundial del recurso suelo: Un marco conceptual para clasificación, correlación y comunicación internacional*. Roma. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-a0510s.pdf>
- FAO. (2009). *LOS BOSQUES Y EL AGUA*. Roma. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i0410s/i0410s00.pdf>
- FCCyT. (2012). *DIAGNÓSTICO DEL AGUA EN LAS AMÉRICAS*. México D.F: IANAS Recuperado de: <https://www.ianas.org/water/book/nicaragua.pdf>
- González Carrasco, W. C. (2011). *Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la subcuenca del río Zaratí, Panamá*. (Tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. Recuperado de: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7318e/A7318e.pdf>
- Hodgson, G. (1971). *Geología y anotaciones mineralógicas de la planicie del Noroeste y de la Precordillera Occidental*. Catastro e Inventario de Recursos Naturales. Informe 13. Managua.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). 2003. Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural. Manual Técnico. Guatemala, GT.
- INETER. (2004). Mapa Geológico Minero de Nicaragua. Recuperado de: <http://www.igg.unan.edu.ni/geoportal/index.php/geologia/>

- Krasny, J. Y Günter, H. (1998). *Caracterización Hidrogeológica e Hidroquímica de la Región Pacífica de Nicaragua*. Managua, Nicaragua. Instituto Nacional de Estudios Territoriales.
- Lagos Peralta, F. A. y Cáliz Calderón, Y. D. (2015). *Evaluación de la producción de agua en los municipios de Murra y San Juan de Limay y la previsión de los efectos del cambio climático*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. Recuperado de: <http://repositorio.una.edu.ni/3284/1/tnp101177.pdf>
- Larios Borge, R. J. (1999). *MANEJO DE LA MILPA TRADICIONAL En el municipio de Cinco Pinos, Chinandega, Nicaragua*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. Recuperado de: <http://repositorio.una.edu.ni/1025/1/tnp351323.pdf>
- MARENA. (2000). *PLANES AMBIENTALES MUNICIPALES DEPARTAMENTO DE CHINANDEGA, Municipio de Cinco Pinos*. Managua, Nicaragua.
- MARENA. (2016). *MANUAL DEL PROTAGONISTA. PRÁCTICAS DE COSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA*. Recuperado de: [https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Manual de Conserbacion de Suelo y Agua.pdf](https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Manual%20de%20Conserbacion%20de%20Suelo%20y%20Agua.pdf)
- Maderey Rascón, L. E. (2005). *Principios de Hidrogeografía: Estudio del ciclo hidrológico*. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: [https://www.academia.edu/9554226/Principios de hidrogeograf%C3%ADa estudio del ciclo hidrol%C3%B3gico 2005 . Laura Elena Maderey Rasc%C3%B3n](https://www.academia.edu/9554226/Principios_de_hidrogeograf%C3%ADa_estudio_del_ciclo_hidrol%C3%B3gico_2005_.Laura_Elena_Maderey_Rasc%C3%B3n)
- Martínez, S. (20 de abril de 2010). Ríos se secan por tala de árboles. *La Prensa*. Recuperado de <https://www.laprensa.com.ni/2010/04/20/departamentales/22227-rios-se-secan-por-tala-de-arboles>
- Marín Castillo, E. (1992). Mapa de zonificación agroecológica. Managua, NI. 1:250,000.
- Matus Silva, O. D. (2007). *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua*. (Tesis de maestría). CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Matus, O., Faustino, J. y Jiménez, F. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica. Aplicación práctica en la subcuenca del río Jucuapa, Nicaragua*. CATIE. Recuperado de: <https://www.catie.ac.cr/attachments/article/542/Guia%20Identificacion%20ZRHidrica.pdf>
- NASA. (Sin fecha). Digital Elevation Model. Recuperado de: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>
- Porta, J., López, M., Roquero, C. (2005). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3 ed. Madrid, ES: Mundi-Prensa.
- Reglamento de la ley No. 462. La Gaceta, Diario Oficial N°. 208, Managua, Nicaragua, 3 de noviembre del 2003.

- Stadtmüller, T. (1994). *Impacto hidrológico del manejo forestal de bosques naturales tropicales: medidas para mitigarlo. Una revisión bibliográfica*. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Torres-Guerrero, C. A., Etchevers, J. D., Fuentes-Ponce, M. H., Govaerts, B., León-González, F. Y Herrera, J. M. (2013). INFLUENCIA DE LAS RAÍCES SOBRE LA AGREGACIÓN DEL SUELO. *Terra Latinoamericana*, 31(1), 71-84. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57327411007>
- Ulloa, S., Mendoza, R. B. y Jiron, N. (1997). Adopción de tecnologías de conservación de suelos y agua en Cinco Pinos y El Chaparral – Chinandega. Managua, Nicaragua: INLES.
- Úbeda, O. (2016). *Potencial a deslizamientos de tierra y zonas de recarga hídrica en la subcuenca del Rio Musunce, Madriz, Nicaragua*. (Tesis de pregrado). Recuperado de: <http://repositorio.una.edu.ni/3361/1/tnp36u13.pdf>
- UNESCO. 1986. *Manual de uso y conservación del agua en zonas rurales de América Latina y el Caribe: agua, vida y desarrollo, tomo 2*. Montevideo: INCA Editorial – Mendoza - Argentina
Recuperado de: https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef_0000217078&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_b25546b8-e6d4-4dd7-b64c-4ffaa237d927%3F%20%3D217078spa.pdf&updateUrl=updateUrl1838&ark=/ark:/48223/pf0000217078/PDF/217078spa.pdf.multi&fullScreen=true&locale=es#%5B%7B%22num%22%3A126%2C%22gen%22%3A0%7D%2C%7B%22name%22%3A%22XYZ%22%7D%2Cnull%2Cnull%2C0%5D

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Glosario

Bosque de Galería: Son aquellos que crecen en las orillas de los ríos siguiendo su curso y en el fondo húmedo de las cañadas, donde el cambio de las hojas es debido a la vejez, conservando así su verdor en contraste con la vegetación caducifolia que lo rodea (Cáceres, Hernández y López, 2009).

Bosque Latifoliado Abierto: Bosque de hoja ancha con cobertura de copa entre 30 – 70 % (FAO, 2005). En estos tipos de bosques suelen quedar espacios entre las copas de los árboles.

Vegetación arbustiva: Vegetación en donde los elementos leñosos predominantes son arbustos en donde las alturas pueden variar entre 5 a 7 metros (FAO, 2005).

Tacotal: Estado sucesional del bosque primario (natural) que se caracteriza por diferentes estados de intervención del hombre, por encontrarse en proceso de degradación (involución forestal) y por la poca presencia de especies maderables de interés económico (Reglamento de la ley No. 462, 2003).

Pasto con árboles dispersos: Áreas de pasto con ciertos árboles entre ellos.

Árboles dispersos con pasto: Áreas con mayor cantidad de árboles que pastos.

Agropecuario: Áreas en las que se incluyen cultivos anuales (granos básicos con predominio de maíz y frijol) y ganado simultáneamente.

Área sin vegetación: Zonas desprovistas de cualquier tipo de vegetación o cualquier uso.

Zona urbana: Se refiere a los asentamientos humanos, caminos, carreteras.

Anexo 2. Formato para la descripción de perfiles de suelos



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
DEPARTAMENTO DE GESTIÓN AMBIENTAL**

FORMATO PARA DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS

Fecha:	Perfil No.:	Localización:
Autor:	Humedad:	Coordenadas:
Uso Actual:	Zona de vida:	Elevación:
Material Parental:	Relieve:	Pendiente (%):
Erosión:	Alcalinidad:	Pedregosidad:
Drenaje superficial:	Escurrimiento superficial:	Permeabilidad:
Drenaje interno:	Posición en el relieve	Clasificación taxonómica de campo:
Observaciones:		

Hz	Prof. (cm)	Color		Textura	Estructura	Consistencia			pH	Limite	Poros	Raíces
		Seco	Hum.			Seco	Hum.	Mojado				

Observaciones

Anexo 3. Formato con la descripción del perfil representativo del orden Alfisol.

Fecha: 27/05/18	Perfil No.: 1	Localización: Las Pozas
Autor: -	Humedad: Ústico	Coordenadas: 13° 11' 41" N 86° 51' 50" O
Uso Actual: Pasto / árboles	Zona de Vida: Bosque seco tropical	Elevación: 267 msnm
Material Parental: Basalto	Relieve: Colinado	Pendiente: 60.4 %
Erosión: Leve / Moderada	Alcalinidad: Baja	Pedregosidad: Si
Drenaje Superficial: Excesivo	Escurrimiento Superficial: Excesivo	Permeabilidad: Moderada
Drenaje Interno: Bueno	Posición de Relieve: Ladera Convexa	Clasificación taxonómica de campo:
Observaciones:		

HZ	Prof. (cm)	Color		Textura	Estructura	Consistencia			pH	Límite	Poros	Raíces
		Mojado	Húmedo			Seco	Húmedo	Mojado				
A	0-28	7.5 YR 3/3	5 YR 3/3	Arcillo limoso	Bloque angular	-	Friable	Plástico	4	Ondulado	Muchos poros	Abundantes raíces finas y pocas gruesas
Bt	28-54	-	2.5 YR 3/6	Arcilloso	Bloque angular	-	Friable	Adhesivo y plástico	4	Ondulado	Muy pocos, tubulares	Raíces muy pocas finas.
C	+ 54		2.5 YR 4/8									
Observaciones:												

Anexo 4. Formato con la descripción del perfil representativo del orden Inceptisol.

Fecha: 27/05/18	Perfil No. 2	Localización: La Cuesta
Autor: -	Humedad: Ústico	Coordenadas: 13° 12' 56" N 86° 52' 28" O
Uso Actual: Tacotal	Zona de Vida: Bosque seco tropical	Elevación: 335 msnm
Material Parental: Basalto	Relieve: Colinado	Pendiente: 8.5 %
Erosión: Severa	Alcalinidad: No	Pedregosidad: Si
Drenaje Superficial: Moderado	Escorrimento Superficial: Moderada	Permeabilidad: Buena
Drenaje Interno: Bueno	Posición de Relieve: Ladera cóncava	Clasificación taxonómica de campo:
Observaciones:		

HZ	Prof. (cm)	Color		Textura	Estructura	Consistencia			pH	Límite	Poros	Raíces
		Seco	Húmedo			Seco	Húmedo	Mojado				
A	0-19	-	2.5 YR 2.5/4	Arcillosa	Subangular	-	-	Adhesivo	4	Abrupto	Pocos poros y tubulares	Muy pocas y finas
Bw	19-24	-	2.5 YR 3/2	Franco arcilloso	Subangular	-	-	Adhesivo	4	Abrupto	Pocos poros y finos	Muy pocas finas y gruesas
Bc	24-60	-	2.5 YR 3/4	Franco arcilloso	Subangular	-	-	Plástica y adhesiva	4	Abrupto	Pocos poros	Pocas finas y gruesas
C	+ 60		5 YR 5/8	Franco arcilloso	Subangular	-	-	Ligeramente plástico	4	Abrupto	Pocos poros	Pocas y finas
Observaciones:												

Anexo 5. Formato con la descripción del perfil representativo del orden Entisol.

Fecha: 14/04/18	Perfil No.: 3	Localización: Las Lajitas / Cerro Colorado
Autor: -	Humedad: Ústico	Coordenadas: 13° 10' 54.9" N 86° 49' 39.8" O
Uso Actual: Tacotal	Zona de Vida: Bosque seco tropical	Elevación: 170 msnm
Material Parental: Basalto	Relieve: Colinado	Pendiente: 31%
Erosión: Moderada	Alcalinidad: No hay	Pedregosidad: Si
Drenaje Superficial: Moderado	Escurrimiento Superficial: Moderado	Permeabilidad: Permeable
Drenaje Interno: Bueno	Posición de Relieve: Ladera convexa	Clasificación taxonómica de campo:
Observaciones:		

HZ	Prof. (cm)	Color		Textura	Estructura	Consistencia			pH	Límite	Poros	Raíces
		Seco	Húmedo			Seco	Húmedo	Mojado				
A	0-34	5 YR 4/4	5 YR 3/4	Franco arenoso	Granular	Friable	Plástico	Adhesivo	7	Plano claro	Muchos poros grandes y medianas	Pocas finas y medianas
R	+ 34											
Observaciones:												

Anexo 6. Formato con la descripción del perfil representativo del orden Vertisol.

Fecha: 14/04/18	Perfil No.: 4	Localización: El Jicaro
Autor: -	Humedad: Ústico	Coordenadas: 13° 10' 54.1" N 86° 51' 33.0" O
Uso Actual: Pasto árboles dispersos	Zona de Vida: Bosque tropical seco	Elevación: 310msnm
Material Parental: Basalto	Relieve: Montañoso	Pendiente: 3 %
Erosión: Moderada	Alcalinidad: No hay	Pedregosidad: Si (Poco)
Drenaje Superficial: Moderado	Escurrimiento Superficial: Bajo	Permeabilidad: Muy baja
Drenaje Interno: Malo	Posición de Relieve: Plano	Clasificación taxonómica de campo:
Observaciones:		

HZ	Prof. (cm)	Color		Textura	Estructura	Consistencia			pH	Límite	Poros	Raíces
		Seco	Húmedo			Seco	Húmedo	Mojado				
A	0-16	7.5 YR 6/1	7.5 YR 3/1	Arcilloso	Subangular	Duro	Plástico	Adhesivo	7	Plano y claro	Muchos poros medianos y finos	Pocas raíces finas
A2	+16	10 YR 5/1	5 YR 4/1	Arcilloso	Subangular	Duro	Plástico	Adhesivo	7	Plano Claro	Muchos medianos y finos	-
Observaciones:												

Anexo 7. Análisis químico de las muestras de suelos de los perfiles representativos.



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
AGRARIA**

Universidad Nacional Agraria
Laboratorio de suelos y Agua LABSA

Análisis Químico de suelos

Entidad: UNA – COSUDE

Contacto: Prof. Martha Orozco

Depto. Municipio: Chinandega, Cinco Pinos

No.	Cod LABSA	Descripción	Rutina				Bases					
			pH	MO	N	CE	K	Ca	Mg	Na	CIC	SB
			H ₂ O	%		μs/cm	meq/100 g suelo				%	
1	509	Cerro colorado 0-34 cm	6.43	3.28	0.2	76.1	0.52	14.89	4.03	ND	23.09	84.03
2	776	Finca: El Papalón, Florencio García R, M#4 0-10	5.85	1.69	0.08	-	0.20	8.66	2.47	0.3 1	14.43	80.63
3	777	Finca: El Papalón, Florencio García R, M#4 >10	6.73	0.36	0.02	-	0.10	15.11	4.87	0.2 6	21.13	96.29

Anexo 8. Sistema de riego por goteo solar



El sistema de riego por goteo solar, es una técnica de riego que permite lograr un aprovechamiento óptimo del agua empleando la energía del Sol. Este sistema consiste en simular el ciclo del agua a pequeña escala.

Este sistema emplea como energía principal la proveniente del sol para hacer evaporar el agua que está contenida en botellas de capacidad de 1 litro (puede variar) y cubiertas con botellas más grandes que hacen que el agua que se evapora, se deslice por las paredes de la botella grande y pueda llegar al suelo. Es un sistema que permite suministrar agua a las plantas por periodos prolongados y se acompaña esta práctica con residuos de cosecha u hojarasca para evitar el desarrollo de maleza que compita con la planta reforestada y se asegure que el suelo se mantenga con humedad.

Pasos para el diseño del sistema:

- 1) Recolección de botellas plásticas, se recomiendan 3 botellas de 3 litros y 3 de 1 litro para colocarlas alrededor de la planta reforestada.
- 2) Recortar las botellas de 3 litros por la base y las botellas de un litro por encima de la mitad.
- 3) Colocar las botellas de 1 litro alrededor de la planta y llenarlas con agua.
- 4) Cubrir las botellas llenadas con las botellas de 3 litros.
- 5) Cubrir con mulch, hojarasca o residuos de cultivo alrededor de las botellas y la planta, esto evitará que el agua que se suministre del sistema, se evapore con facilidad y se mantenga el suelo con humedad.

Anexo 9. Limpieza con palín de una sección de corte de camino para la descripción del perfil de suelo



Anexo 10. Utilización de la herramienta Kobo Collect para la recolección de información de suelos



Anexo 11. Presencia de rocas basálticas en la microcuenca del río La Carreta, Cinco Pinos, Chinandega



Anexo 12. Procesamiento de los mapas en fase de post – campo

