



Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

DIRECCIÓN ESPECÍFICA DE CIENCIAS AMBIENTALES Y
CAMBIO CLIMÁTICO

Trabajo de Tesis

Evaluación de alternativas de inversión para la
restauración de la microcuenca del río El
Carrizal, San Dionisio, Matagalpa, 2021.

Autora:

Br. Alisson Carolina Urbina Pineda

Asesora:

Ing. Mariann Jose Espinoza Acuña

Presentado a la consideración del honorable comité
evaluador como requisito final para optar al grado de
Ingeniería en Recursos Naturales

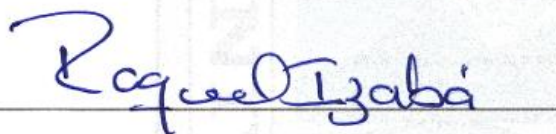
Managua, Nicaragua

Junio, 2024

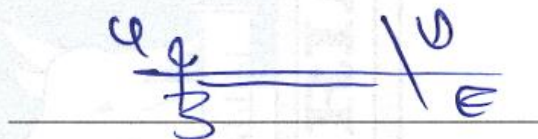
Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la decanatura de la Dirección Específica de Ciencias Ambientales y Cambio Climático como requisito final para optar al título profesional de:

Ingeniería en Recursos Naturales con Mención en Gestión Ambiental

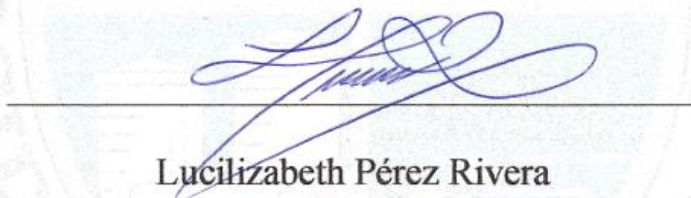
Miembros del Comité Evaluador



Raquel Dolores Izabá Ruiz
Presidente



Harvin Joel Bonilla Escoto
Secretario



Lucilizabeth Pérez Rivera
Vocal

Lugar y fecha: Managua, Nicaragua, 04 de octubre del 2024

DEDICATORIA

Dedico este trabajo especialmente:

A Dios, por brindarme la sabiduría y perseverancia para concluir mi formación profesional.

A mis abuelos, **Pío Pineda** y **Sagrario Zeledón**, por ser mi luz en el sendero de la vida e inculcarme el amor y respeto hacia la naturaleza, el pilar que me sostiene en pie con su infinito amor y el apoyo incondicional para alcanzar todos los logros que me he propuesto.

A mi madre, **Carolina Pineda**, por ser una mujer admirable que me ha motivado a ser mi mejor versión y me ha brindado todas las condiciones para concluir mi carrera profesional.

A un gran maestro y mentor, **MSc. Ing. Ernesto Tünnermann Gutiérrez (Q.E.P.D)**, por haber compartido sus conocimientos y su cariño, marcando en mi la resiliencia ante las adversidades de la vida. Un abrazo hasta el cielo.

AGRADECIMIENTO

Gracias a mi alma mater **Universidad Nacional Agraria**, que me brindó los medios y herramientas para mi formación profesional, a los maestros por su ardua labor educadora dirigida desde la pasión por la pedagogía inculcando el pensamiento autocrítico ante las situaciones de la vida.

A la **ONG Visión Mundial**, por haber financiado esta investigación.

A mi asesora **Ing. Mariann Espinoza**, por el tiempo y dedicación que ha brindado para concluir este estudio.

Gracias a **Dra. Martha Orozco** por los conocimientos brindados en los primeros momentos de redacción de este documento.

A los maestros **Ing. Claudio Gonzáles** e **Ing. Javier Silva** por brindar su ayuda en los momentos oportunos para enriquecer esta investigación.

A **Gabriel Rodríguez**, mi compañero y apoyo constante, por acompañarme durante este arduo camino, brindándome su apoyo incondicional y estando presente en cada uno de los procesos que hicieron posible este hallazgo

A mi gran amiga **Amy Derbyshire** por hacer que mis últimos años de universidad fuesen gratos llenos de aventuras, así como a mis amigas y compañeras de clases **Katerin Herrera**, **Dayana Moreno** y **Cledys Zelaya** que desde 2017 hemos compartido experiencias enriquecedoras hasta llegar a formar este vínculo de amistad.

A todas aquellas personas que no han sido mencionadas, que han brindado su ayuda para dar por concluida esta investigación.

Br. Alisson Carolina Urbina Pineda

ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
III. MARCO DE REFERENCIA	3
3.1. Sistema de Optimización de Inversiones en Recursos (RIOS)	3
3.2. Referencias de implementación del modelo RIOS	5
3.3. Condiciones biofísicas de la microcuenca El Carrizal	7
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	9
4.1. Descripción del área de estudio	9
4.2. Diseño metodológico	11
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5.1. Descripción de variables biofísicas	22
5.2. Descripción de Variables Climáticas	26
5.3. Alternativas de inversión	28
5.4. Áreas prioritarias de inversión	35
VI. CONCLUSIONES	38
VII. LITERATURA CITADA	39
VIII. ANEXOS	42

ÍNDICE DE CUADROS

<hr/>		<hr/>
CUADRO		PÁGINA
<hr/>		<hr/>
Cuadro 1.	Ubicación de calicatas en muestro de suelo	13
Cuadro 2.	Indicadores para selección de alternativas de inversión.	20

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Flujo de trabajo de RIOS	4
2. Ubicación geográfica de la microcuenca El Carrizal	9
3. Flujograma de trabajo metodológico	12
4. Materiales muestreo de suelo	14
5. Uso actual del suelo de la microcuenca El Carrizal	23
6. Órdenes de suelo de la microcuenca El Carrizal	24
7. Erodabilidad de los suelos de la microcuenca El Carrizal	25
8. Variables climáticas de la microcuenca El Carrizal	26
9. Ejemplo de sistema Quesungual	28
10. Ejemplo de parcela de cultivos de cobertura	30
11. Ejemplo de manejo de pasturas	32
12. Ejemplo de enriquecimiento forestal	33
13. Ejemplo de plantaciones forestales	34
14. Portafolio de actividades de la microcuenca El Carrizal	36

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1. Presupuesto detallado de insumos para el establecimiento de un sistema Quesungual en una hectárea	42
2. Presupuesto detallado en la preparación del suelo para el establecimiento de un sistema Quesungual en una hectárea	42
3. Presupuesto detallado de las labores de cultivo para el establecimiento del sistema Quesungual en una hectárea	42
4. Presupuesto detallado de actividades de cosecha en el establecimiento de sistema Quesungual en una hectárea	42
5. Presupuesto detallado de insumos para el establecimiento de cultivos de cobertura en una hectárea	43
6. Presupuesto detallado para la preparación del suelo en el establecimiento de cultivos de cobertura en una hectárea	43
7. Presupuesto detallado en labores de cultivo en el establecimiento de cultivos de cobertura en una hectárea	43
8. Presupuesto detallado en labores de cosecha en el establecimiento de cultivos de cobertura en una hectárea	43
9. Presupuesto detallado en preparación del terreno para el manejo de pasturas en una hectárea	43
10. Presupuesto detallado en la siembra para el manejo de pasturas en una hectárea	44
11. Presupuesto detallado en labores de cosecha para el manejo de pasturas en una hectárea	44
12. Presupuesto detallado de la preparación del terreno en el enriquecimiento forestal para una hectárea	44
13. Presupuesto detallado de la preparación de especies forestales en el enriquecimiento forestal para una hectárea	44
14. Presupuesto detallado de labores de siembra para el enriquecimiento forestal en una hectárea	44
15. Presupuesto detallado en mano de obra y materiales de recolección de semillas botánicas en plantaciones forestales para una hectárea	45

16. Presupuesto detallado de los insumos y materiales para producción de plantas en plantaciones forestales para una hectárea	45
17. Presupuesto detallado del costo de mano de obra para producción de plantaciones forestales en una hectárea	45
18. Presupuesto detallado del costo de siembra de especies forestales en una hectárea	45

RESUMEN

La microcuenca El Carrizal, ubicada en San Dionisio, Matagalpa, cuenta con una actividad económica principalmente agrícola, sin embargo, el manejo inadecuado del suelo y de los cultivos han derivado problemas ambientales que afectan de forma directa la productividad de los suelos, así como la calidad de vida de los habitantes. Mediante la colaboración de la Universidad Nacional Agraria y el financiamiento de Visión Mundial, se planteó la necesidad de evaluar alternativas de inversión para ser implementadas en el territorio, con el fin de promover la restauración y disminuir los riesgos ante inundaciones. Por lo cual, se utilizó el Sistema de Optimización de Inversiones en Recursos (RIOS), que es una herramienta que toma los elementos biofísicos del sitio tales como el uso de suelo, factores de erosión de suelo, variables climáticas y las condiciones de elevación del terreno en conjunto con los costos de las actividades de conservación y remediación, mediante la identificación de sitios potenciales que permitan el establecimiento de alternativas de conservación de suelo y agua dando paso a una producción con menor costo que potencie la productividad de los suelos. Por lo que, en enero del 2020 se coordinó una visita de campo con el acompañamiento de la Alcaldía Municipal, donde se realizó un levantamiento de datos de campo que sirvieron de insumo en la elaboración de mapas de suelo ya que RIOS requiere un procesamiento previo de datos en el software ArcGIS. De esta forma, se obtuvo un mapa de referencia de los sitios potenciales donde se reflejan las actividades propuestas que tendrán mejor eficiencia, siendo la optimización de los costos, el elemento crucial para su ejecución. Finalmente, con el portafolio de inversiones generado, se obtuvo escenarios que reflejan el estado futuro de la microcuenca para lograr el retorno ecológico y retribuir los efectos ante riesgos de erosión e inundaciones.

Palabras clave: suelo, recursos, riesgo, inundaciones, factores de erosión, variables climáticas, costos, productividad, sitios potenciales.

ABSTRACT

The El Carrizal microbasin, located in San Dionisio, Matagalpa, has mainly agricultural economic activity; however, inadequate management of the soil and crops has led to environmental problems that directly affect the productivity of the soil, as well as the quality of life of the inhabitants. Through the collaboration of the National Agrarian University and financing from World Vision, the need to evaluate investment alternatives to be implemented in the territory was raised, in order to promote restoration and reduce flood risks. Therefore, the Resource Investment Optimization System was used, which is a tool that takes the biophysical elements of the site such as current use, soil erosion factors, climatic variables and terrain elevation conditions in conjunction with the costs of conservation and remediation activities, through the identification of potential sites that allow the establishment of soil and water conservation alternatives, giving way to lower-cost production that enhances soil productivity. Therefore, in January 2020, a field visit was coordinated with the support of the Municipal Mayor's Office, where a survey of field data was conducted that served as input in the preparation of soil maps since RIOS requires prior processing of data in ArcGIS software. In this way, a reference map of potential sites was obtained that reflects the proposed activities that will have better efficiency, with cost optimization being the crucial element for their execution. Finally, with the investment portfolio generated, scenarios were obtained that reflect the future state of the micro-basin to achieve ecological return and compensate for the effects of erosion and flooding risks.

Key words: soil, resources, risk, floods, erosion factors, climatic variables, costs, productivity, potential sites.

I. INTRODUCCIÓN

Nicaragua es un país privilegiado por su posición geográfica, ya que dispone de una gran reserva de recursos hídricos. Sin embargo, las actividades antropogénicas han generado un impacto negativo considerable en la disponibilidad de agua, debido a la degradación creciente de las fuentes superficiales y subterráneas. Esta situación compromete el funcionamiento óptimo del sistema natural, conduciendo a la degradación progresiva de los recursos naturales, que trae consigo efectos negativos para el desarrollo socioeconómico de la población residente en las áreas afectadas, ya que la calidad y cantidad del agua disponible son fundamentales para la agricultura, la industria, y el bienestar general de la comunidad.

La principal actividad económica del territorio de influencia en la microcuenca “El Carrizal” es la agricultura, sin embargo, las prácticas agrícolas inadecuadas y el monocultivo ha traído consigo problemas ambientales que se resumen en problemas de erosión de suelo y riesgo ante inundaciones.

Para hacer frente a la situación actual en la microcuenca El Carrizal, se evaluarán las alternativas que minimicen los costos mediante el Sistema de Optimización de Inversiones en Recursos (RIOS, por sus siglas en inglés) que consiste en un modelo de software el cual responde a preguntas críticas para la priorización de los costos en los servicios ecosistémicos con recursos limitados.

RIOS puede facilitar el diseño de inversiones para una sola o varias metas de gestión a la vez, incluyendo el control de la erosión, la mejora de la calidad del agua (para nitrógeno y fósforo), la regulación de inundaciones, la recarga de acuíferos, el suministro de agua en temporada seca, y la biodiversidad terrestre y de agua dulce. (Vogl et al., 2016, p.1)

Por ello, se ha implementado este modelo tomando en cuenta las condiciones biofísicas específicas de la microcuenca en estudio. Su principal objetivo es evaluar las alternativas óptimas para la inversión en actividades de protección y restauración de los recursos naturales, maximizando el retorno ecológico. Como resultado, se identifican sitios potenciales donde se puede invertir y establecer actividades que promuevan el uso sostenible de los recursos naturales disponibles.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Proponer un portafolio de inversión de prácticas que contribuyan a la reducción de la degradación de los paisajes y el riesgo ante inundación considerando las condiciones biofísicas de la microcuenca de río El Carrizal, San Dionisio, Matagalpa, mediante el Sistema de Optimización de Inversiones en Recursos (RIOS).

2.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar las condiciones biofísicas de la microcuenca del río El Carrizal para conocer la potencialidades y limitantes presente en el área de estudio.
- ✓ Identificar prácticas de Agricultura Sostenible Adaptada al Clima (ASAC) que contribuyan a la reducción de la degradación de los paisajes y el riesgo ante inundación.
- ✓ Delimitar sitios potenciales para la implementación del portafolio de inversión de alternativas de conservación de suelo y agua que permita una producción de bajo costo con mayores beneficios.

III. MARCO DE REFERENCIA

Para facilitar la comprensión, esta sección se divide en tres aspectos relevantes. Primero, se abordan las generalidades del modelo RIOS, explicando sus utilidades y procesos en la priorización de alternativas de inversión. Luego, se detallan algunas experiencias en las que se ha implementado este modelo a nivel de microcuenca en otros países, mostrando cómo se ha utilizado para abordar las problemáticas ambientales emergentes en esos entornos.

Así como los factores que han conllevado a la microcuenca El Carrizal, a la fragmentación del paisaje y deterioro del medio natural, que han dado paso a problemas en la producción agrícola del sitio, siendo una situación que afecta de manera negativa el desarrollo económico de los comunitarios.

3.1. Sistema de Optimización de Inversiones en Recursos (RIOS)

El Sistema de Optimización de Inversiones en Recursos (RIOS) es una herramienta de software para la priorización de las inversiones en los servicios ecosistémicos que ayuda a responder varias preguntas críticas a las que se enfrentan quienes invierten en servicios ecosistémicos con recursos limitados. (Vogl et al., 2016, p.1)

Este modelo se basa en un enfoque científico para priorizar las inversiones en las cuencas hidrográficas, identificando los lugares donde las actividades de protección o restauración pueden generar los mayores beneficios para las personas que inciden en la zona de estudio y el medio biótico que lo rodea al menor costo posible.

RIOS es una herramienta versátil que puede operar sin importar la escala o ubicación, siempre que los datos disponibles lo permitan. Esto implica que puede ser empleada para abordar una amplia variedad de temas prioritarios a nivel continental, nacional o subnacional. Aprovechando los datos locales disponibles, RIOS también puede orientar las inversiones y estimar los beneficios en cualquier región a diferentes escalas, como lo es en el caso de esta investigación.

Se puede decir que el modelo de RIOS es una herramienta de software libre y a su vez, independiente que puede ser ejecutada en cualquier sistema operativo Windows. Esta herramienta integra diversos componentes fundamentales como se muestra en la figura 1, para crear portafolios de inversión que maximicen el retorno en servicios ecosistémicos.

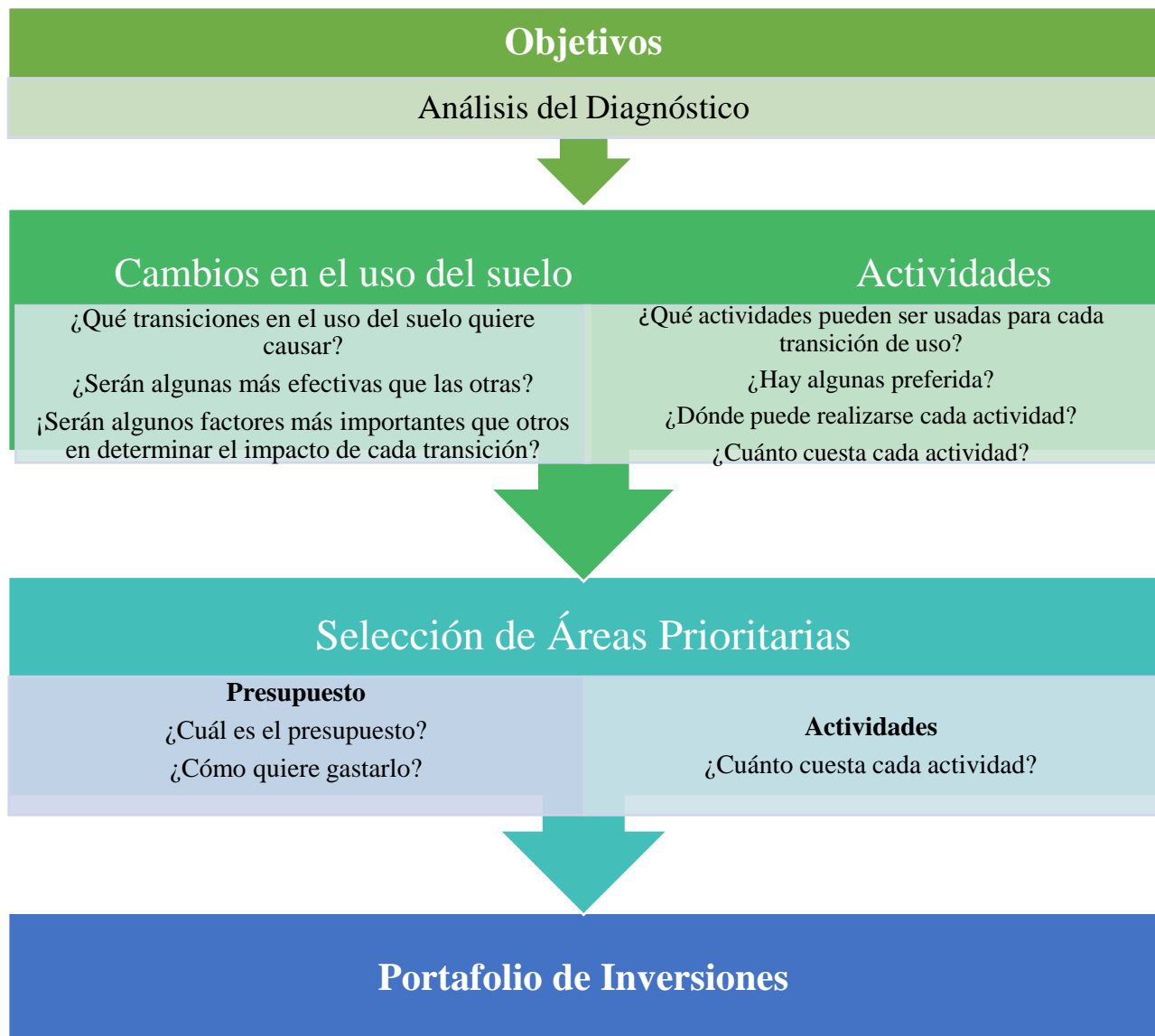


Figura 1. Flujo de trabajo de RIOS

Fuente: Vogl et al (2016)

Según Vogl et al (2016) RIOS se compone de dos módulos: el Asesor de Portafolios de Inversiones y el Traductor de Portafolios. Cada módulo genera una serie de resultados que pueden usarse para diseñar un esquema de inversión en servicios de cuencas. Los dos productos principales que RIOS genera son un portafolio de inversiones, que guía dónde y en qué actividades invertir, y un conjunto de escenarios de uso de la tierra, que representan el portafolio implementado en el paisaje actual y pueden utilizarse para modelar los cambios en los servicios resultantes del portafolio. Sin embargo, para esta investigación se ha utilizado únicamente el Asesor de Portafolios de Inversiones en donde se destacan las áreas priorizadas para inversiones.

El portafolio de inversión muestra el conjunto probablemente más eficiente y eficaz de inversiones que el fondo puede hacer, dado un presupuesto específico. El portafolio es un mapa de actividades que puede resumirse en protección, restauración, reforestación, prácticas agrícolas de conservación de suelo o agua que indica las inversiones en cada actividad que darán los mejores resultados en los objetivos seleccionados del fondo del agua.

3.2. Referencias de implementación del modelo RIOS

La metodología RIOS tuvo sus inicios en el 2011 en un taller de República Dominicana en el cual Natural Capital Project (NatCap) y la Alianza Latinoamérica de Fondos de Agua consolidaron siete componentes básicos para el diseño de inversiones de los fondos de agua, los cuales son: escoger objetivos, seleccionar áreas prioritarias, análisis diagnóstico, seleccionar actividades, asignación presupuestaria, diseñar el monitoreo y estimar rendimiento. Estos componentes integrados en la herramienta de RIOS, facilitan el análisis estandarizado y la comparación entre los fondos de agua.

Tras el taller en República Dominicana, RIOS se desarrolló en colaboración con un grupo de trabajo de representantes de varios programas de TNC en Latinoamérica (NASCA, MENCA, AFSCS) y personas expertas de NatCap en hidrología, ecología y modelamiento de servicios ecosistémicos. El taller del grupo de trabajo de RIOS fue apoyado por un grupo consultivo diverso formado por representantes de los sectores público y privado, y otras ONG conservacionistas e instituciones académicas (FEMSA, WWF, TNC, IADB, Universidad de Stanford y Universidad de Minnesota). (Vogl et al., 2016. p2)

Según Rodríguez (2020) en el Informe RIOS: Identificando sitios para implementar prácticas de agricultura sostenible adaptada al clima (ASAC), en donde se maximice el retorno ecológico en Cuenca "La Carreta" y "Santa Isabel, se aplicó el modelo de RIOS en donde se detallan los mecanismos y procesos que se llevaron a cabo en la priorización de inversiones en los territorios de Honduras y Nicaragua, en donde se detallan los siguientes aspectos:

En Namasigüe, Honduras, se encuentra la microcuenca "Santa Isabel" que ofrece a la población un diverso conjunto de bienes y servicios ambientales, siendo el más importante el abastecimiento del recurso hídrico, sin embargo, el manejo inadecuado de los recursos naturales del sitio ha traído como consecuencia la disminución de los beneficios ambientales de la microcuenca.

La problemática centralizada en el manejo inadecuado de los recursos naturales no solo afecta la disponibilidad del agua, ya que es un territorio susceptible a inundaciones y deslizamientos de tierra debido a los eventos extremos climáticos que año con año son más recurrentes, “han propiciado la fragmentación de los ecosistemas y pérdida de la capa arable” (Rodríguez, 2020).

En 2018, se realizó una convocatoria dirigida a técnicos, comunitarios, personal del SAG (secretaría de Agricultura y Ganadería) y miembros del proyecto FIDA “Un viaje en común”, en donde se dieron a conocer los resultados preliminares del modelo y aquellos aspectos de interés para aplicar la metodología RIOS en la microcuenca. Como resultado, se llegó al acuerdo de dirigir acciones que conlleven a la restauración del paisaje, tomando como punto de partida la necesidad de proteger los remantes de bosque de la microcuenca.

Tras la presentación de resultados finales de RIOS en la alcaldía de Namasigüe, se sugirió utilizar el plan de manejo municipal, para ser tomado como referencia al momento de determinar zonas y actividades a priorizar dentro la microcuenca de Santa Isabel. (Rodríguez, 2020)

Baja el marco del Informe RIOS realizado por Rodríguez (2020) se describe lo siguiente:

La microcuenca “La Carreta” está ubicada en el municipio de Cinco Pinos, Nicaragua que se caracteriza por sus suelos de vocación forestal, con una topografía accidentada, de alto riesgo y vulnerabilidad, por consiguiente, una baja capacidad productiva. Por lo que se vio la necesidad de implementar mecanismos que potencien el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, tomando como punto de partida la conservación y restauración paisajística.

En 2018, se presentaron resultados preliminares de RIOS en un espacio que fue otorgado en la Quinta mesa agroclimática que dio lugar en Somotillo, coordinada por el proyecto Sanesco II, de igual forma, fueron invitados actores claves del municipio de Cinco Pinos, con el fin de obtener cualquier tipo de información relevante sobre las prácticas de conservación de suelo y agua que se hayan implementado en la microcuenca.

De esta forma, los habitantes del municipio expresaron que, debido a la topografía muy escarpada del territorio, ha limitado la implementación de prácticas de conservación de suelo y agua, así como llevar a cabo la implementación de sistemas agroforestales y silvopastoriles,

huertos caseros, diversificación de cultivos y el fortalecimiento de las capacidades locales; por lo que, se disminuyen las posibilidades para lograr una transformación paisajística deseada.

En 2019, se presentaron los resultados finales bajo la misma dinámica, con el objetivo primordial de alcanzar las metas que encaminan hacia los objetivos establecidos y proporcionar una salida a los resultados generados por RIOS para la microcuenca en estudio. Los productos obtenidos fueron bien recibidos por los interesados, ya que previamente el trabajo de modelación se había entregado a la alcaldía municipal para su exposición ante la comunidad. Esto permitió la elaboración del portafolio de inversiones en la microcuenca La Carreta, logro que no habría sido posible sin la colaboración exhaustiva de instituciones nacionales y centros educativos.

3.3. Condiciones biofísicas de la microcuenca El Carrizal

La microcuenca El Carrizal se caracteriza por ser una zona predominantemente agrícola, donde prevalece la agricultura tradicional de cultivos básicos, como *Zea mays* (maíz) y *Phaseolus vulgaris* (frijol). No obstante, debido a prácticas agrícolas insostenibles, la capa arable del suelo ha tenido cambios en cuanto a sus estructura y fertilidad. Esta degradación ha reducido la capacidad de infiltración del suelo, favoreciendo procesos de erosión hídrica y aumentando la susceptibilidad a la erosión en áreas críticas del municipio.

Según Tünnermann et al (2020) en el informe final del Diagnóstico de recursos hídricos y su vulnerabilidad ante el cambio climático para la gestión de estrategias comunitarias de adaptación al cambio climático para la seguridad hídrica, menciona que el acuífero está experimentando una creciente amenaza de contaminación causada por la urbanización y las actividades agrícola que se llevan a cabo en el territorio.

La microcuenca El Carrizal aún conserva remanentes de áreas con bosque latifoliado, sin embargo, los cambios en el uso del suelo cada día son más evidentes, dando paso a los procesos erosivos que conlleven a las pérdidas de suelo por erosión hídrica.

Es importante señalar que las condiciones biofísicas del territorio son desfavorables para la recarga del acuífero, lo que implica que las actividades a implementar deben enfocarse en el incremento de la cobertura vegetal. Esto ayudará a reducir los riesgos asociados con la escorrentía superficial y a preservar la integridad de la estructura del suelo.

Tünnermann et al (2020) afirma que:

La cobertura vegetal permiten la protección del suelo, ya que reducen los procesos erosivos que se ven favorecidos por las irregularidades de pendiente y elevación que hay en el área de captación de éstas, así también las actividades antrópicas y más específicamente los cambios de usos del suelo, pasar de bosque, a cultivos anuales (frijol, maíz) y pastizales, han ocasionado un deterioro al suelo, favoreciendo el escurrimiento superficial y con ello potenciando procesos erosivos como los deslizamientos de tierras. (p41)

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en la microcuenca El Carrizal, en donde se describen las condiciones biofísicas, detallando datos específicos que caracterizan al territorio, así como las actividades económicas predominantes en la zona. Esto conduce al diseño metodológico, la parte más crucial de esta tesis, donde se detallan los elementos metodológicos recomendados para la implementación del modelo RIOS y el procesamiento de datos necesario para identificar las áreas prioritarias de inversión.

4.1.1. Ubicación del área de estudio

La microcuenca El Carrizal está ubicada entre los municipios de San Dionisio, Matagalpa y Terrabona, en el departamento de Matagalpa. La Microcuenca cuenta con una extensión de 10.8 km² y un perímetro de 14.22 km; que pertenece a la subcuenca del río Cállico en San Dionisio, Matagalpa.

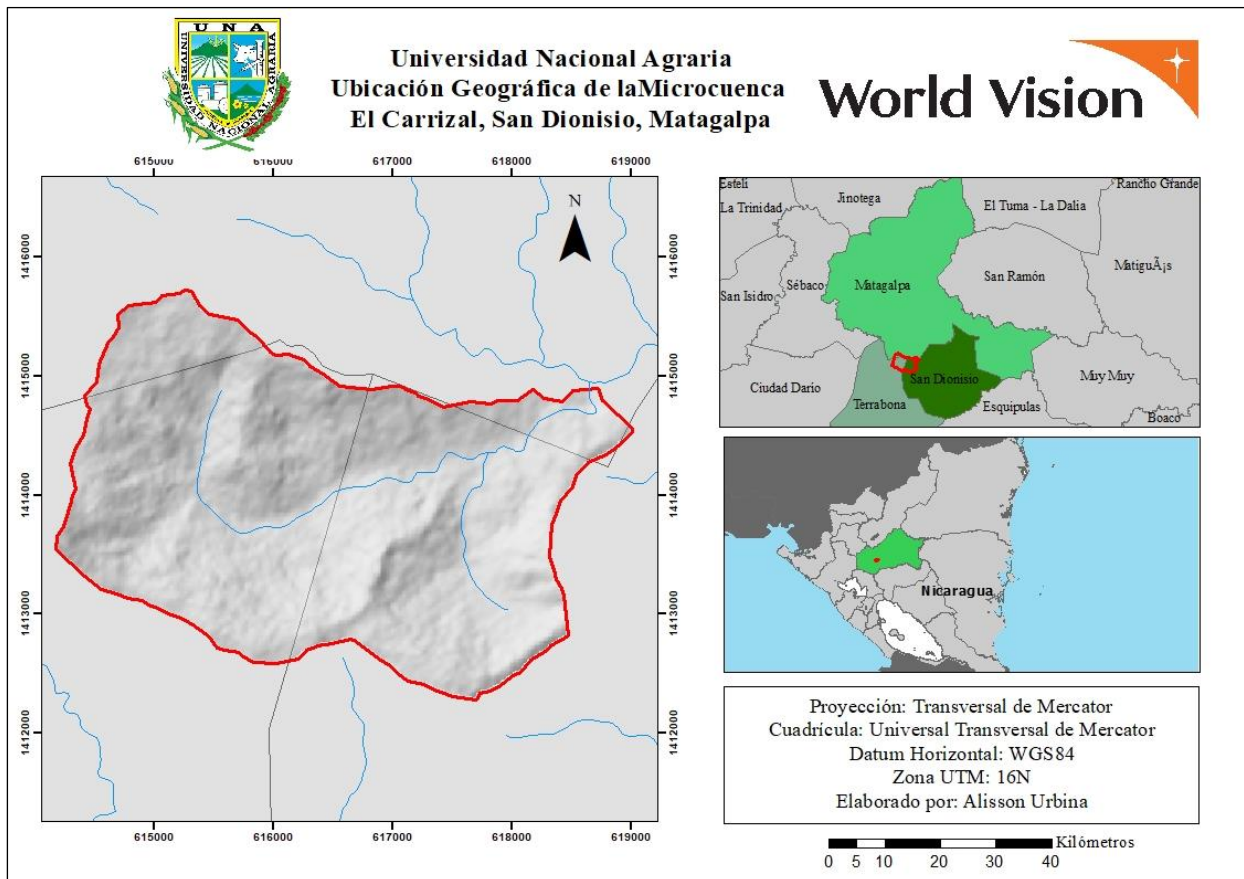


Figura 2. Ubicación geográfica de la microcuenca El Carrizal

4.1.2. Clima

AMUPNOR-INAFOR (2012) detalla que:

El territorio se caracteriza por tener un clima de sabana tropical, subhúmedo con una temperatura media anual de 23°C en la zona alta y 26°C en la zona baja. Las temperaturas más bajas se registran entre los meses de diciembre a enero, mientras en las temperaturas más altas se presentan entre los meses de abril a mayo. La precipitación media anual es de 1350 mm hasta 1850 mm, aumentando de oeste a este, distribuidos en dos épocas muy bien diferenciadas aproximadamente 6 meses de duración. (p21)

4.1.3. Litología

En la microcuenca El Carrizal, predominan dos formaciones geológicas importantes, que son del grupo Coyol Inferior y Superior.

Fenzl (1989) indica lo siguiente:

La formación del grupo Coyol posee una espesura de 200 metros hasta 2,300 metros en donde predominan las lavas basálticas, andesíticas y dacíticas, aglomerados, ignimbritas y tobas intermedias y ácidas. El grupo Coyol inferior predominan las rocas volcánicas piroplásticas y efusivas como: ignimbrita-dacíticas y toba andesita y aglomerado con una permeabilidad secundaria, la cual representa un 59.52% del área del territorio que equivale a 6 km². El grupo coyol superior predominan los aglomerados, basalto, andesita toba e ignimbrita con una permeabilidad secundaria son rocas un poco duras, por lo que la infiltración en este tipo de roca es más lenta. Este tipo de rocas representa el 40.48% del área del territorio que equivale a 4.08 km².

4.1.4. Recursos hídricos

Tünnermann et al, (2020) expresa lo siguiente:

La microcuenca El Carrizal posee un Coeficiente de Gravelius, o un índice de compacidad de 1.25 que lo cataloga como cuenca de forma redonda a oval redonda, siendo susceptible a avenidas rápidas e intensas del caudal de agua. La pendiente media de la cuenca tiene un valor de 43.7% y una elevación media de la cuenca de 830 msnm, características que se encuentran estrechamente relacionadas con los fenómenos erosivos en la capa arable del suelo.

La densidad de drenaje es de 3.45 km/km² considerándolo como una densidad muy alta que afecta el tipo de escorrentía superficial. La densidad de corrientes es de 15.97 número de corrientes/km² considerándolo como una alta eficiencia de drenaje, el cauce principal tiene una longitud de 4.01 km, posee 4 órdenes en la hídrica con una longitud de 34.8 km con un número de corrientes por orden del río de 161 y una pendiente media de 4.65%.

4.1.5. Actividades económicas

Según el Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal (n.d) La principal actividad económica de la localidad es la agricultura, se cultivan hortalizas como el repollo, tomate, papas, cebollas y chiltomas, en proporción de autoconsumo. El cultivo en su mayor parte es de forma tradicional, prevaleciendo la pequeña producción.

Respecto a la tenencia de la tierra, del total de productores un 60 % cuentan con título de propiedad, el 5 % sin título de propiedad, el 15 % de los productores trabajan alquilando o prestando y el 20 % son cooperados.

4.2. Diseño metodológico

El diseño metodológico se realizó bajo los lineamientos del programa Sistema de Optimización de Inversiones en recursos (RIOS), en donde se utilizan elementos biofísicos que describan el territorio de la microcuenca, así como sus zonas potenciales de inversión.

En el siguiente esquema, se plantean las fases que se llevaron a cabo en el proceso metodológico, en donde se detallan los lineamientos para obtener un portafolio de inversión aplicado para la microcuenca en estudio.

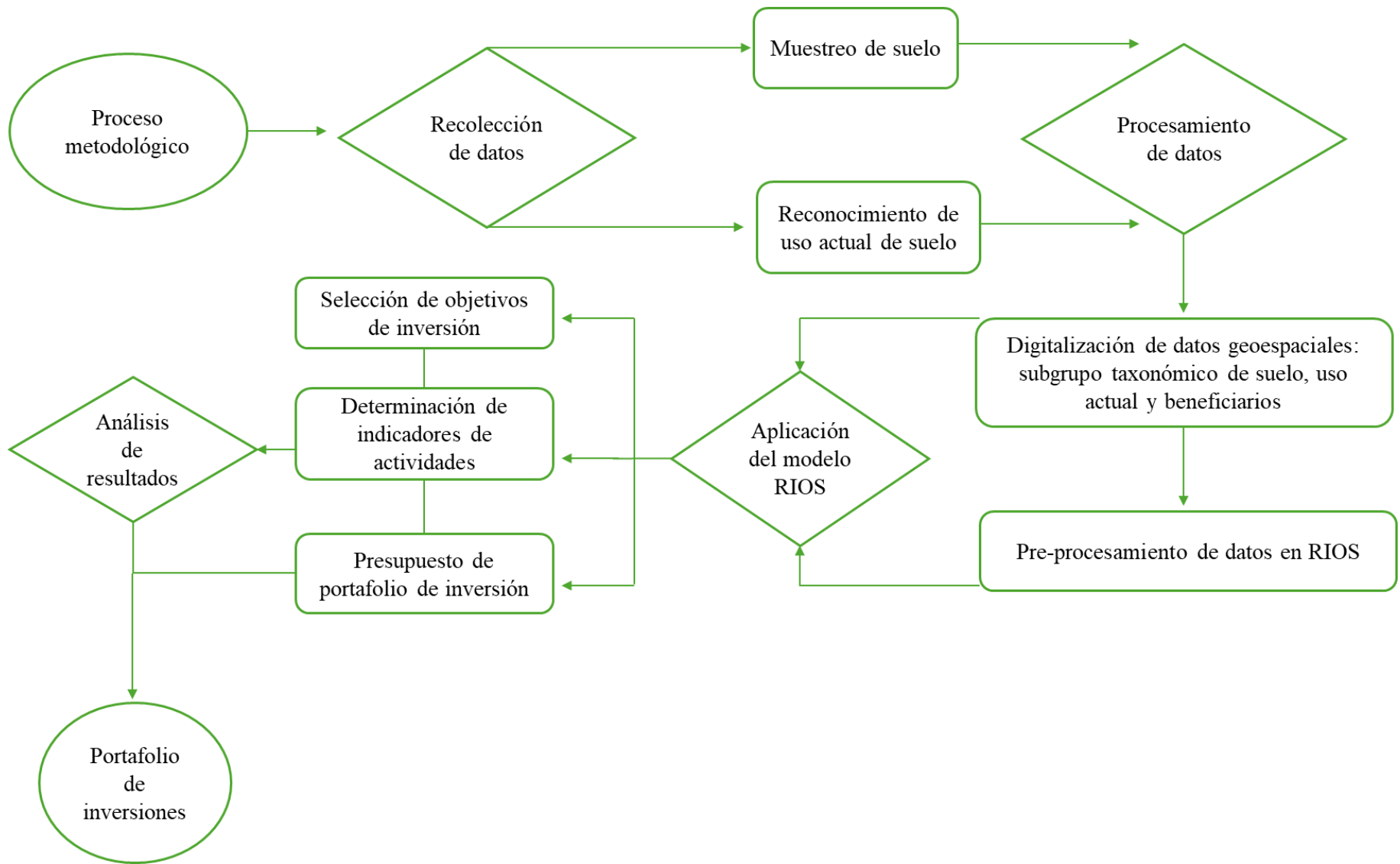


Figura 3. Flujograma de trabajo metodológico

4.2.1. Fase 1: Recolección de datos

En la primera fase de recolección de datos se detallan las fuentes, técnicas y procedimientos empleados para la obtención de insumos, con el objetivo de garantizar la integridad y representatividad de la información necesaria para el desarrollo de esta investigación.

Muestreo de suelo

El muestreo de suelo se llevó a cabo mediante la excavación de cinco calicatas distribuidas a nivel municipal. En cada sitio de muestreo, se realizó una descripción detallada de los perfiles del suelo, documentando sus características físicas, químicas y biológicas, así como el estado y el uso actual del terreno. A continuación, se presentan las localidades donde se realizaron las excavaciones, junto con las coordenadas geográficas precisas de cada punto, como se muestra el cuadro 1.

Cuadro 1. Ubicación de calicatas en muestro de suelo

Ubicación de calicata	Coordenadas
El Cobano	12.760270/ -85.876724
El Cobano	12.764250/ -85.891505
El Portillo	12.784635/ -85.903931
Los limones	12.752982/ -85.810051
El Carrizal	12.789459/ -85.848559

Fuente: elaboración propia

El análisis del suelo se realizó siguiendo los criterios establecidos por la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2014). Este enfoque permitió una evaluación exhaustiva del suelo, considerando una serie de parámetros clave, como el grado de erosión, las características del relieve, el uso actual del suelo y las condiciones climáticas predominantes en el área de estudio. Estos factores se analizaron para comprender mejor la capacidad productiva del suelo, su vulnerabilidad a los procesos erosivos y las estrategias más adecuadas para su manejo sostenible y conservación a largo plazo.

Los materiales que se utilizaron fueron los siguientes:



Figura 4. Materiales muestreo de suelo

Finalmente, las muestras de suelo recolectadas se trasladaron al laboratorio de análisis de suelos de la Universidad Nacional Agraria (UNA) para obtener datos más precisos sobre las características edáficas del área de estudio. Se analizaron diversos parámetros físicos y químicos, incluyendo el pH del suelo, el contenido de materia orgánica disponible, la concentración de minerales y la granulometría del suelo.

Reconocimiento del uso actual del suelo

La delimitación de los usos del suelo se realizó mediante un recorrido en campo, con la finalidad de corroborar los usos de suelo identificados mediante la digitalización de polígonos con imágenes satelitales descargadas del portal USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) por esto, se tomó coordenadas en distintos tipos de uso de suelo, con el acompañamiento de un técnico de la Alcaldía Municipal.

4.2.2. Fase 2: Procesamiento de datos

El procesamiento de datos incluye la organización, limpieza y análisis de los datos mediante técnicas estadísticas y herramientas de software ArcGIS versión 10.8 en donde se busca identificar patrones, tendencias y relaciones relevantes que permitan validar las hipótesis planteadas y aportar conclusiones fundamentadas.

Digitalización de datos geospaciales

- **Subgrupo taxonómico de suelo**

Con la información recolectada en campo, se realizó una base datos en Excel, luego se exportó los datos al software ArcGIS (versión 10.8), donde se utilizó el mapa de zonificación agroecológica de Marín del año 1992 para actualizar los suelos del municipio y por ende de la microcuenca.

- **Uso actual**

Para generar el mapa de uso actual, se utilizaron las imágenes descargadas del portal de Science for a changing world (USGS), luego se procedió a definir los diferentes usos de suelo a través de la generación de polígonos para luego ser validado por técnicos de la alcaldía Municipal.

Cuadro 2. Descripción de los usos de suelo según RIOS

Uso de suelo	Descripción	Código
Agricultura tropical mixta	Cultivos múltiples o sin especificar, en áreas tropicales.	41
Bosque tropical deciduo	Áreas tropicales dominadas por árboles generalmente superiores a 5 metros de altura, y más del 20% de la cobertura total de la vegetación. Más del 75 por ciento de las especies de árboles suelta el follaje simultáneamente en respuesta al cambio de estación.	39
Pastizal tropical	Zonas tropicales de gramíneas, leguminosas o mezclas de gramíneas y leguminosas sembradas para el pastoreo de ganado o la producción de cultivos de semillas o heno. Pastizal/heno representa mayor que 20 por ciento de la vegetación total.	43

Fuente: Vogl et al, 2016. p73

Una vez que se validaron los usos de suelo, se le asignó a cada polígono su uso correcto junto con el código que especifica RIOS, luego se exportó la capa en formato ráster con un tamaño de 12.5 píxeles.

- **Beneficiarios**

Para generar la capa de beneficiarios, se utilizó los datos del censo del Instituto Nacional de Información de Desarrollo (INIDE,2005) para obtener cifras de la densidad poblacional y población total de las comunidades que se encuentran dentro del área de la microcuenca.

Como siguiente paso, se utilizó ArcMap disponible en el paquete de ArcGIS, donde se digitalizó cada vivienda reflejada en la imagen satelital, con ayuda de la herramienta “point density” se aglomeraron los puntos en un radio de 50 m y se reclasificaron en base a los rangos poblacionales descritos en el censo nacional.

Pre-procesamiento de datos en RIOS

Para preparar el conjunto de datos de entrada para el modelo RIOS, se llevó a cabo un tratamiento previo de los datos en bruto antes de su utilización en el módulo Asesor de

Portafolios de Inversión. Este proceso se realizó utilizando el software ArcGIS, en combinación con la herramienta RIOS versión 10.4, disponible en la carpeta de datos del programa. Inicialmente, se importaron los datos en bruto a ArcGIS, donde se procedió con las etapas necesarias de procesamiento.

Estas etapas incluyeron el cálculo de diversos parámetros requeridos por RIOS, como la fuente pendiente arriba, la retención pendiente abajo, la continuidad de las riberas y los índices de pendiente. Este enfoque permitió asegurar que los datos estuvieran en el formato adecuado y con la precisión necesaria para el análisis y la modelización dentro del sistema RIOS, garantizando así resultados fiables y efectivos para la planificación de inversiones en el manejo de recursos hídricos.

El módulo contiene información útil sobre las entradas necesarias para cada objetivo seleccionado. Una vez seleccionados los objetivos según los lineamientos de la investigación, se inició el procesamiento de los datos y se proporcionó las entradas de datos requeridas. Al finalizar, se creó una carpeta dentro del espacio de trabajo asignado, denominada "Salida". Dentro de este directorio se encuentran los conjuntos de datos que posteriormente se utilizarán en la herramienta de RIOS Invest.

Entre los insumos requerido por RIOS se detallan los siguientes:

- Uso del suelo: ráster del uso actual de suelo, con una resolución de 12.5 pixeles, generado a partir de la digitalización de datos geospaciales recolectados en la fase 1.
- Modelo de elevación del terreno: ráster de elevación, con un tamaño de 12.5 pixeles, se obtuvo de la fuente de datos del portal Climate Engine.
- Variables climáticas: se descargó la precipitación del mes más húmedo (octubre) y precipitación anual de los años 1970 al 2000 mediante el portal de WorldClim. Los datos de evapotranspiración real (ETR) fueron descargados del catálogo de datos de Earth Engine, el producto MOD16A2GF versión 6.1 del espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada de Terra (MODIS) que es un conjunto de datos compuestos de 8 días con espacios vacíos de fin de año producido con una resolución de píxel de 500 metros para el año 2021.
- Factor R: un conjunto de datos SIG ráster, con un valor de índice de erosividad para cada celda. La erosividad de la lluvia en el territorio se expresa en Mega Joules por milímetro

de lluvia por hectárea por hora por año, una unidad que integra la energía cinética de las gotas de lluvia con su capacidad para desplazar partículas del suelo.

Colotti (1999), expresa que:

La erosividad está en función de la energía cinética y de la intensidad de la precipitación. La primera, relaciona el tamaño y la velocidad de caída de las gotas y, la segunda, relaciona la cantidad con la duración. En este caso se utilizará el valor propuesto para zonas tropicales de montaña, utilizando la siguiente formula:

$$R = E * I_{30} = (210 + 89 \log_{10} I_{30}) * I_{30}$$

Donde

E: energía cinética de la lluvia expresada en métrico MJ * m/ha/cm de precipitación.

I₃₀: intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos expresada en cm por hora.

Sin embargo, cuando no se poseen los suficientes datos para desarrollar la ecuación antes mencionada, Vogl et al (2016), detalla lo siguiente:

En caso de la ausencia de datos para generar el factor R, existen métodos y ecuaciones para ayudar a generar una cuadrícula utilizando los datos climáticos. Para el cálculo, R es igual a E (la energía cinética de la lluvia) por I₃₀ (máxima intensidad de lluvia en 30 minutos en cm/hr). Sin embargo, RIOS sugiere que para África Occidental $R = a * \text{precipitación}$ donde a = 0,5 en la mayoría de los casos, 0,6 cerca del mar, 0,3-0,2 en zonas tropicales de montaña, y 0,1 en zonas montañosas mediterráneas.

Por lo tanto,

$$R = a * \text{precipitación media}$$

$$R = 0.3 * \text{precipitación media}$$

Este cálculo se realizó mediante la herramienta de ArcGIS “Map calculator” en donde se multiplicó el valor de “a” por las precipitaciones medias de la zona.

- Tipo de suelo: se generaron ráster de profundidad, textura y el subgrupo taxonómico de suelo, con una resolución de 12.5 píxeles.

- Factor K: representa la erodabilidad, es decir, la vulnerabilidad cuantitativa por erosión hídrica de un suelo. (Arnold et al, 2012)

William (1995) propone la siguiente ecuación:

$$K_{USLE} = f_{csand} * f_{cl-si} * f_{orgc} * f_{hisand}$$

Donde f_{csand} es un factor que proporciona factores de erosionabilidad bajos para suelos con altos contenidos de arena gruesa y valores altos para suelos con poca arena, f_{cl-si} es un factor que proporciona factores de erosionabilidad bajos para suelos con proporciones altas de arcilla a limo, f_{orgc} es un factor que reduce la erosionabilidad del suelo en suelos con alto contenido de carbono orgánico, y el f_{hisand} es un factor que reduce la erosionabilidad del suelo en suelos con contenidos de arena extremadamente altos. Los factores se calculan:

$$f_{csand} = \left(0.2 + 0.3 * \exp \left[-0.256 * m_s * \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right)$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3}$$

$$f_{orgc} = \left(1 - \frac{0.0256 * orgC}{orgC + \exp(3.72 - 2.95 * orgC)} \right)$$

$$f_{hisand} = \left[1 - \frac{0.7 * \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[-5.51 + 22.9 * \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right]$$

Donde m_s es el porcentaje de contenido de arena (0.05-2.00 mm de partículas de diámetro), m_{sil} es el porcentaje de contenido de limo (0.002-0.05 mm de partículas de diámetro), m_c es el porcentaje de contenido de arcilla (partículas de 0.002 de diámetro), y $orgC$ es el porcentaje de contenido de carbono orgánico de la capa (%).

Una vez determinado el valor del factor k para cada tipo de textura de suelo, se utilizó la delimitación de los tipos de suelo y se rasterizo la capa con un tamaño de 12.5 pixeles.

4.2.3. Fase 3: Aplicación del modelo RIOS

En esta fase se detalla el procedimiento que se llevó a cabo para ejecutar el modelo de RIOS, en donde se especifican las actividades que serán las alternativas de inversión para la

microcuenca, la cual se seleccionan en base a la remediación ambiental y la mejora de la productividad de los suelos.

Selección del objetivo de inversión

El modelo RIOS cuenta con una serie de objetivos estratégicos que facilitan la priorización de inversiones en función de las necesidades específicas del área de estudio. Estos objetivos han sido cuidadosamente seleccionados considerando tanto la situación actual del sitio como las condiciones biofísicas predominantes en la región.

De esta manera, se busca optimizar las inversiones, asegurando un impacto positivo tanto en la restauración y conservación de los recursos naturales como en el desarrollo sostenible del entorno. Los objetivos se definen de la siguiente forma, atendiendo a los factores críticos que influyen en el manejo integral de la cuenca hidrográfica y la maximización del retorno ecológico.

Vogl et al, 2016 define los siguientes objetivos para el modelo RIOS:

- Control de la erosión para la calidad del agua potable: la inversión en las cuencas hidrográficas puede ayudar a prevenir la excesiva erosión del suelo, mejorar la calidad del agua corriente abajo y, potencialmente, reducir los costos de tratamiento de agua potable y los impactos negativos en la salud. Este objetivo se refiere a la regulación de la erosión laminar, en surcos y cárcavas, y la erosión de las riberas. RIOS no puede sugerir o dar prioridad a las actividades que regulan la erosión o la deposición en canales, ya que estas dinámicas no se tienen en cuenta en los modelos subyacentes.
 - Control de la erosión para el mantenimiento de reservorios: el control de la erosión que mantiene los sedimentos fuera de los cursos de agua también puede evitar su deposición en los reservorios, donde se puede reducir la capacidad de producción de las instalaciones hidroeléctricas o dañar los reservorios e infraestructura de riego (turbinas, bombas, etc.), acortar el tiempo de vida del reservorio o aumentar los costos de la gestión de sedimentos (como el dragado). Este objetivo también se refiere a la regulación de la erosión laminar y en surcos, y al control de cárcavas y erosión de las riberas, pero no puede sugerir o dar prioridad a las actividades que regulan la erosión o la deposición en los canales.
 - Mitigación de inundaciones: la inversión en las cuencas hidrográficas puede ayudar a interceptar las precipitaciones, disminuir el caudal superficial y aumentar el tiempo de viaje

del agua del río, disminuyendo la magnitud del pico de las inundaciones. La reducción del tamaño de los caudales de inundación pico puede mitigar el impacto sobre la infraestructura y la propiedad privada, y reducir el riesgo para la vida humana. En realidad, la inversión de capital natural solo puede influir significativamente en los caudales máximos de las inundaciones de tamaño medio, tales como los eventos de 10 años de período de retorno o más pequeños. Para tormentas muy grandes (es decir, de eventos de 100 años de período de retorno o más), el riesgo de inundación es más dependiente de la geografía y las características de la red de canales que de las inversiones de los fondos de agua. Este objetivo representa el papel que el capital natural puede desempeñar en la retención de agua en el paisaje y la reducción de los picos de las inundaciones; sin embargo, el impacto de las actividades disminuirá a medida que aumente el tamaño de la tormenta.

Determinación de indicadores por actividad

Las actividades propuestas se han seleccionado en base a los siguientes indicadores:

Cuadro 3. Indicadores para selección de alternativas de inversión.

Indicador	Justificación
Factibilidad económica	Las actividades que se proponen tienen como finalidad la minimización de costos para que su implementación sea eficaz.
Prácticas de conservación de suelo y agua	Las prácticas propuestas han tomado como directriz, la reducción de la erosión en el suelo y mitigación de inundaciones, así como acciones que impulsen la implementación de abonos orgánicos y diversificación de cultivos, que proporciona un sistema equilibrado, ayudando a la reducción de plagas.
Antecedentes de prácticas implementadas	Mediante revisión bibliográfica, se pretende conocer las actividades que se realizan en el territorio, así como las especies que más se cosechan y producen a nivel de microcuenca.
Implementación de especies nativas	Con las actividades que se proponen se pretende utilizar especies que sean nativas de la zona, para evitar competencias entre plantas y bajos rendimientos de producción.

Una vez definido los parámetros para la selección de actividades, se propuso una lista de actividades que engloba los requerimientos definidos por los objetivos de RIOS, a lo que se

procedió a detallar las actividades de cada práctica, para conocer su monto presupuestario como se describe en el siguiente paso.

Presupuesto de actividades de inversión

Una vez definidas las prácticas a implementar en el sitio, se detallaron los costos que implican su ejecución y mantenimiento durante el periodo de establecimiento del proyecto. RIOS tiene como objetivo ayudar a que quienes invierten en cuencas, gasten el dinero sabiamente para lograr los objetivos y guiar hacia prácticas y lugares que producirán el mayor retorno de la inversión.

4.2.4. Fase 4: Análisis de los resultados

Este proceso permitió identificar patrones, relaciones significativas y tendencias emergentes que respondan a los objetivos planteados en la tesis. Los resultados se interpretan a la luz del marco teórico establecido, proporcionando una comprensión profunda de los fenómenos estudiados y sus implicaciones en el contexto investigado.

Portafolio de inversiones

El módulo Investment Portfolio Advisor (Asesor del Portafolio de Inversiones) se empleó para generar portafolios de inversión basados en datos biofísicos y sociales, así como en información sobre el presupuesto disponible y los costos de implementación. Este proceso permitió identificar las áreas prioritarias para la asignación de recursos dentro del fondo de agua de la microcuenca en estudio.

En primer lugar, se integraron las capas de información obtenidas durante la fase de pre-procesamiento de datos, las cuales incluían parámetros biofísicos clave (como pendientes, tipos de suelo, y cobertura vegetal) y datos sociales relevantes. Posteriormente, estas capas se analizaron junto con el presupuesto establecido para las actividades de conservación y restauración, con el fin de determinar las áreas prioritarias para la inversión.

El módulo diagnosticó y seleccionó las zonas críticas donde las intervenciones podrían maximizar el retorno ecológico y socioeconómico, tomando en cuenta tanto las necesidades del ecosistema como las demandas de los actores involucrados. Este proceso aseguró que las inversiones se dirigieran de manera eficiente hacia los sitios más adecuados para el manejo sostenible de los recursos hídricos en la microcuenca.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Descripción de variables biofísicas

La descripción de variables biofísicas en este estudio permite comprender los aspectos físicos y biológicos del entorno investigado. Estas variables abarcan características naturales como la topografía, el tipo de suelo, clima y otros factores ambientales relevantes que influyen directamente en los procesos ecológicos y agrícolas de la región de estudio. En esta sección, se detallan meticulosamente cada una de estas variables, proporcionando una base sólida de datos que sustenta el análisis y las conclusiones de la investigación.

5.1.1. Uso actual del suelo

Los usos identificados en la microcuenca son cultivos permanentes, que ocupa un área de 3.68 km² que representa un 37% de área utilizado para este rubro, el Bosque tropical deciduo cuenta con un área de 3.17 km² representando un 31% siendo el uso con menor ocupación de área, el pastizal tropical cuenta con un área de 3.23 km² refiriéndose al 32% del área de la microcuenca como se muestra en la figura 5.

Los cultivos anuales que predominan en esta zona son el maíz y el frijol, sin embargo, el monocultivo está muy presente en las parcelas de los productores, siendo el uso que utiliza mayor porcentaje de tierra en el territorio.

El pastizal tropical está definido como zonas tropicales de gramíneas, leguminosas o mezclas de gramíneas y leguminosas sembradas para el pastoreo de ganado o la producción de cultivos de semillas, siendo el segundo uso predominante del territorio.

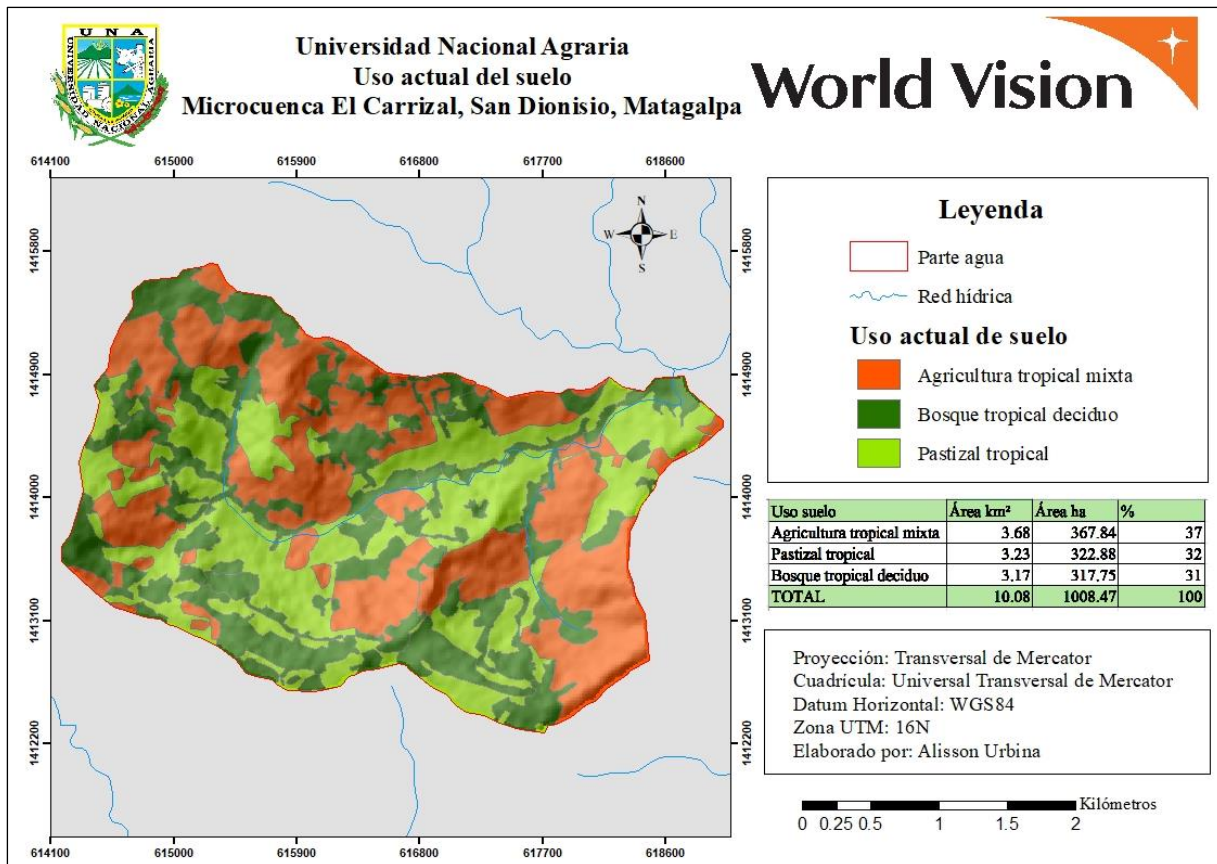


Figura 5. Uso actual del suelo de la microcuenca El Carrizal

El bosque tropical deciduo se define como zonas templadas dominadas por árboles, generalmente superiores a cinco metros de altura, y más del 20% de la cobertura total de la vegetación. Más del 75% de las especies de árboles suelta el follaje simultáneamente en respuesta al cambio de estación. Siendo el uso con menos porción de tierra en la microcuenca.

Las actividades de conservación y remediación van dirigidas a recuperar la masa boscosa del territorio, así como el balance entre la diversificación de cultivos y el aporte de nutrientes dirigido al suelo.

5.1.2. Orden de suelo

Los suelos predominantes en la microcuenca son de orden Entisoles, ya que se caracterizan por ser suelos muy poco desarrollados ocupando en el 65.2 % (6.58 km²) del área de la microcuenca, así como los suelos de orden Alfisol, aunque se encuentran en menor proporción ocupando un área de 33.7% (3.4 km²) y los suelos del orden vertisol que ocupan un área de 0.11 km² lo que representan el 1.1 % del área total de la microcuenca. (Figura 6)

Los suelos de orden Entisoles, los cuales se caracterizan por ser suelos someros, poseen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes pedogenéticos. Presentan importantes limitaciones, tales como el riesgo a deslizamiento de tierra y erosión hídrica que puede verse influenciado en las regiones con relieve escarpado. Estos ocupan un 65.2% del área de la microcuenca, que serían al menos 6.58 km².

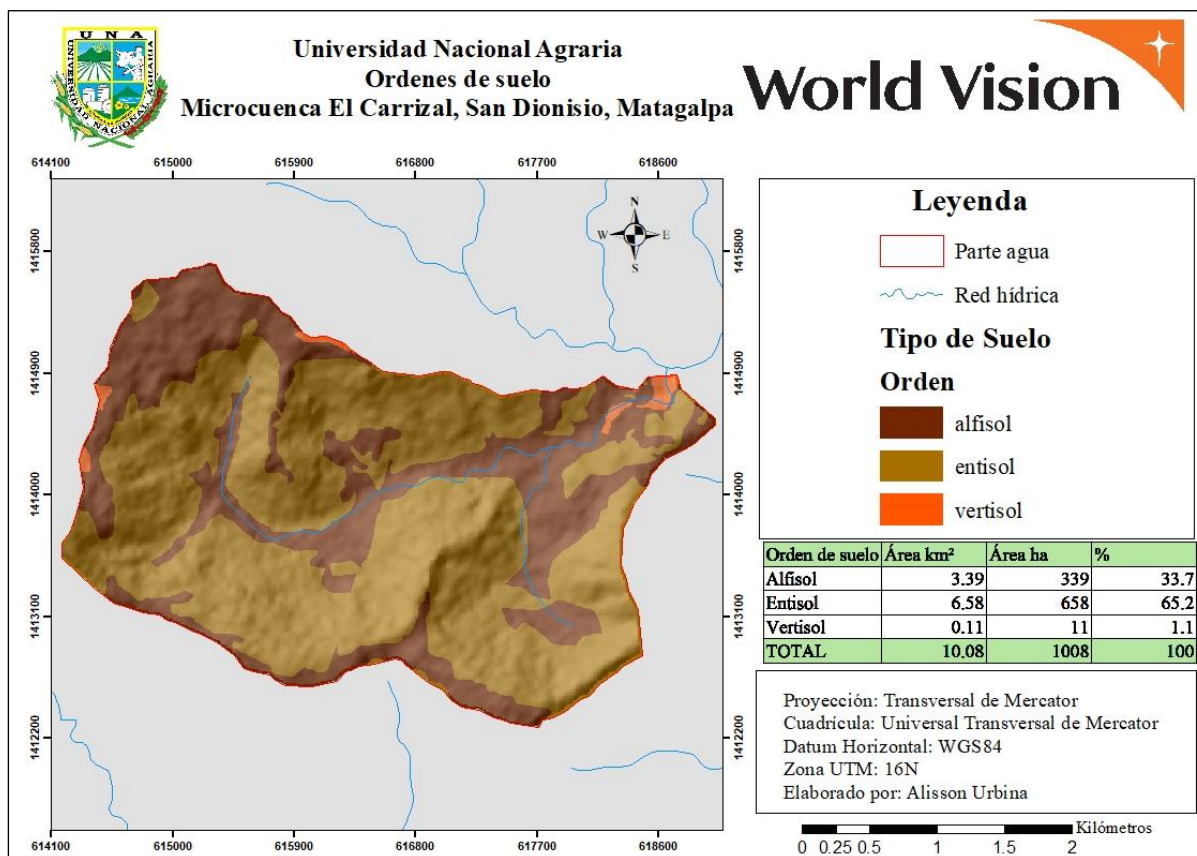


Figura 6. Órdenes de suelo de la microcuenca El Carrizal

El segundo orden de suelo que se encuentra en la microcuenca son los Alfisoles, los cuales se caracterizan por tener numerosas cantidades de minerales de arcilla por lo que provee una buena capacidad de intercambio catiónico, sin embargo, son suelos susceptibles a la erosión hídrica en zonas con un relieve escarpado y donde se practica una agricultura intensiva. Los suelos de orden Alfisol están representados en menor proporción en el territorio, ya que ocupa en 33.7% del área que equivale a 3.4km².

El tercer orden de suelo que se encuentra en la microcuenca son los Vertisoles, se caracterizan por ser suelos arcillosos que se agrietan y expanden cuando se someten condiciones climáticas extremas, este tipo de suelo poseen una capacidad de uso limitada en la agricultura, por lo que sus limitaciones van dirigidas al encharcamiento en temporadas lluviosas y deslizamientos de tierra. Los suelos de orden Vertisol solamente representa el 1.1% del área de la microcuenca que equivale a 0.11km².

5.1.3. Factor k

Los valores de $KUSLE < 0.15$ (t/ha/(t.m/ha.mm/h)) indican suelos de erodabilidad baja, entre 0.15 a 0.30 los suelos presentan una erodabilidad media y por encima de 0.30 ya clasifican como de erodabilidad alta. (Ruiz, 2022). Dicho esto, se puede decir que el 65.2% del territorio de la microcuenca en estudio, presenta una erodabilidad alta, con un valor de 0.3 t/ha; mientras que el 34.8% del territorio restante, presenta una erodabilidad media con valores que rondan desde los 0.15-0.25 t/ha.

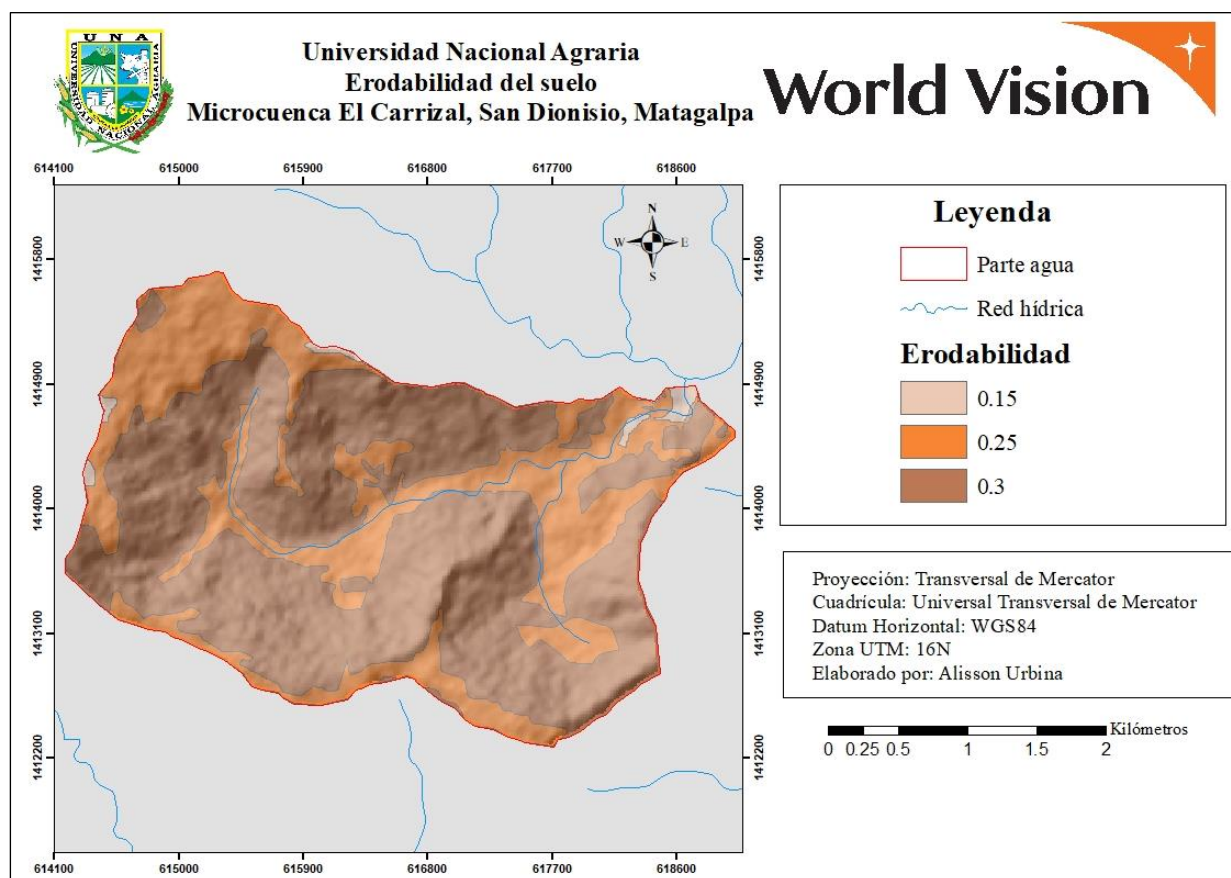


Figura 7. Erodabilidad de los suelos de la microcuenca El Carrizal

Por lo tanto, se considera que gran parte del territorio de la microcuenca en estudio se encuentra susceptible a los riesgos de erosión hídrica y eólica, tomando en cuenta sus limitaciones topográficas, las labores agrícolas se ven afectadas ya que los requerimientos del suelo resultan ser más exigentes, repercutiendo de manera negativa en la productividad de las cosechas.

5.2. Descripción de Variables Climáticas

El rango de precipitación promedio anual ronda entre los 1,368mm como el valor más bajo hasta los 1,600 mm como el valor más alto, catalogándolo como una zona húmeda de transición para otros climas, ya que la microcuenca se encuentra en la zona seca del municipio como se muestra en la figura 8.

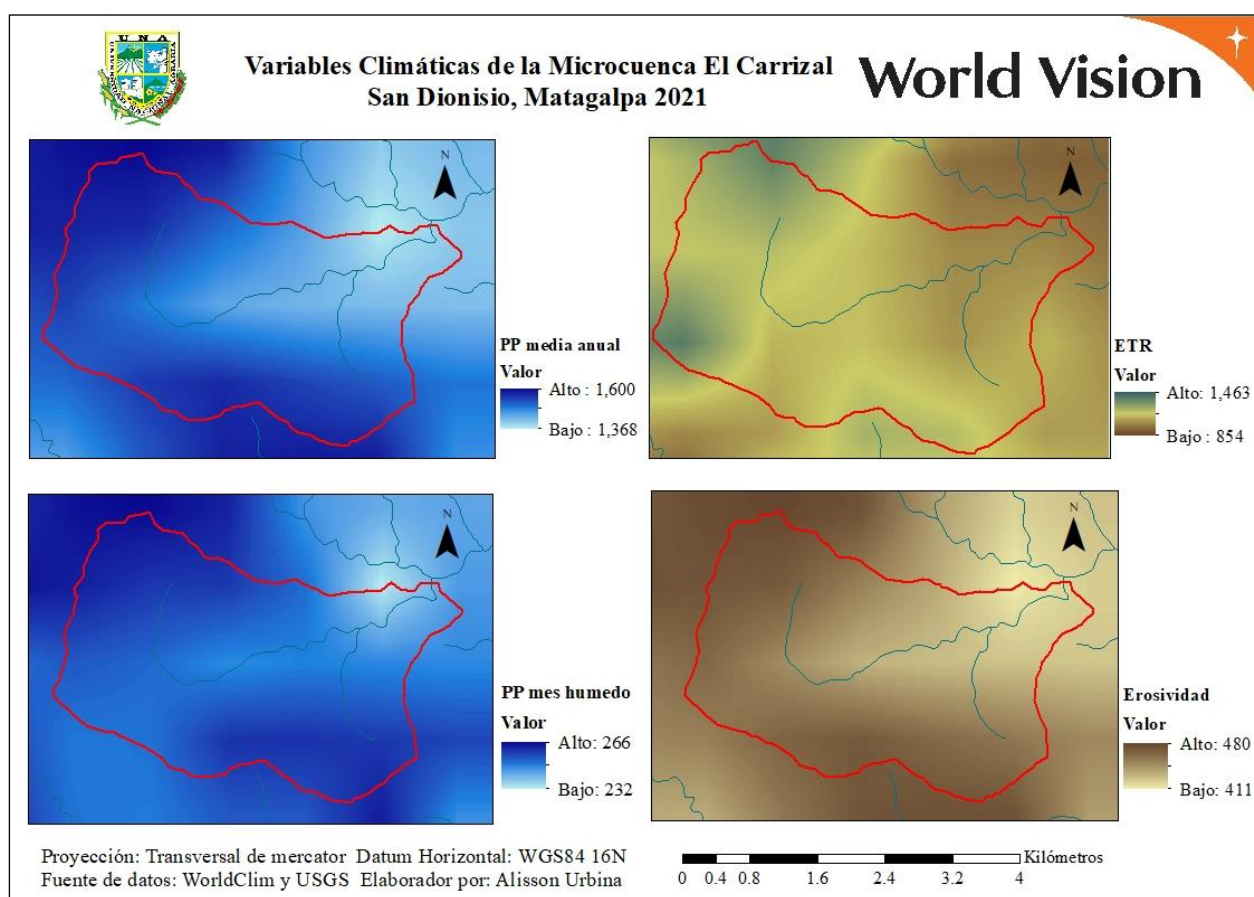


Figura 8. Variables climáticas de la microcuenca El Carrizal

Los valores de evapotranspiración real en el territorio oscilan desde los 854 mm anuales como el valor más bajo hasta los 1463 mm anuales como el valor más alto, según INETER

(2005) estos rangos de evapotranspiración los cataloga como rangos característicos del territorio.

Allen et al. (1998), en su manual para el cálculo de la Evapotranspiración del Cultivo (FAO-56), destacan que en zonas tropicales húmedas la evapotranspiración real puede ser alta debido a la vegetación densa y a las temperaturas elevadas.

La precipitación media anual constituye la principal fuente de aporte hídrico en el territorio, con una evapotranspiración real que alcanza hasta 1463 mm, situándose cerca de los valores de precipitación. Esto indica que prácticamente la totalidad del agua ingresada al sistema a través de las lluvias es utilizada, limitando considerablemente la recarga de los acuíferos. Como consecuencia, el sistema podría enfrentar un estrés hídrico significativo, especialmente durante la temporada seca, cuando la demanda de agua supera la capacidad de reposición natural. (Allen et al, 19988)

Otra variable climática significativa para el modelo de RIOS es el mes más húmedo, siendo este el mes de octubre, donde las precipitaciones rondan desde los 232 mm hasta los 266 mm anuales, debido a la estacionalidad del territorio, para el mes estipulado, los eventos climáticos son recurrentes e intensivos.

En la microcuenca, la erosividad presenta como valor más alto 480 MJ mm/ha h año, que indica la cantidad de energía de las lluvias que es potencialmente disponible para causar erosión en la microcuenca en estudio durante un año.

Un valor de 480 MJ mm/ha h año es relativamente alto, indicando que las lluvias en esta microcuenca tienen una alta capacidad de causar erosión. Este nivel de erosividad sugiere que las lluvias son frecuentes y/o intensas, contribuyendo significativamente a la energía disponible para el transporte de partículas del suelo. En resumen, una erosividad con valores como los que se indican para la microcuenca El Carrizal, es una indicación clara de la necesidad de adoptar prácticas de manejo y conservación del suelo para prevenir daños ambientales y económicos significativos. (Gisbert, 2012)

5.3. Alternativas de inversión

En esta sección se exploran diversas alternativas de inversión que tienen como objetivo mejorar la gestión ambiental y promover el desarrollo sostenible en el contexto específico de estudio. Estas alternativas se centran en estrategias y acciones que buscan mitigar impactos ambientales, mejorar la eficiencia en el uso de recursos naturales, y fomentar prácticas agrícolas y de manejo del suelo más sostenibles. Se analizan opciones como la implementación de tecnologías verdes, la restauración de ecosistemas degradados, la promoción de prácticas de agricultura orgánica, entre otras iniciativas innovadoras que contribuyan al equilibrio entre desarrollo económico y conservación ambiental.

Mediante un análisis detallado de estas alternativas, se busca identificar las soluciones más viables y efectivas para promover un uso más responsable de los recursos naturales y mejorar la calidad de vida de las comunidades locales.

- Quesungual



Figura 9. Ejemplo de sistema Quesungual

Fuente: “Caracterización de los sistemas agroforestales kuxur rum y quesungual en el corredor seco de Guatemala y Honduras” (FAO, 2018)

El denominado sistema Quesungual, o Kuxur Rum, es una práctica agroforestal que antiguamente se realizaba en asocio de maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en combinación con árboles dispersos. (Ibrahim et al, 2009). Este sistema ha sido el resultado de la modificación de los sistemas de agricultura tradicional donde predomina el monocultivo, a ser parte de la dinámica de rotación entre bosque, áreas en descanso y tierras en producción. Actualmente, esta práctica es asociada con otros cultivos de alta necesidad en el balance de la dieta de alimenticia del usuario final en donde se implementan frutas o verduras propias de la zona.

El diseño del sistema Quesungual adaptado para la microcuenca El Carrizal se ha planteado en base a las siguientes especies: como grano básico maíz criollo (*Zea mays. L.*), como legumbre pipián (*cucúrbita mixta*) y como especies arbóreas Citrus s.p, y Madero negro (*gliricidia sepium*). Según Moreno, N. y Calderón, G. (2000) estas especies son cultivadas en el territorio, por lo que su implementación sugiere una minimización en los costos de producción y a su vez, se evita la introducción de especies invasoras en las áreas productivas que puedan ser detonantes claves en la productividad de las parcelas.

Como cultivo principal, se ha tomado en cuenta la especie *Zea Mays. L.* porque ha sido una especie utilizada y conservada por muchos siglos en manos de indígenas y campesinos nicaragüenses, siendo un elemento crucial en la dieta diaria de los pobladores, ya que posee una gran adaptabilidad ante las variaciones climáticas actuales, es catalogado como un cultivo de crecimiento rápido (3-5 meses), que proporciona un mayor rendimiento con temperaturas moderadas y un suministro adecuado de agua, haciendo excepciones en zonas altas donde su crecimiento llega hasta los 8 meses; su adaptación oscila entre 0-2,500 msnm.

El maíz requiere una temperatura de entre 24.4 a 35.6°C, siendo una media de 32°C la temperatura ideal para lograr una óptima producción. La distancia de siembra que se está considerando para su implementación es de 3 a 4 plantas por 1 metro, resultando así 1200 plantas por 12 surcos con una separación de 8 x 8 metros, siendo un total de 14,400 plantas de maíz que tiene como un equivalente a 80 libras a implementar en el sistema. MEFCCA (n.d)

El segundo cultivo por implementar es el pipián, es una planta anual que es utilizada por los comunitarios que habitan en la microcuenca en estudio, *cucúrbita mixta* es una planta tropical que necesita de climas cálidos, es resiliente en áreas secas o con medianas

precipitaciones que oscilen entre 1600 mm distribuidos durante la época lluviosa, se requiere de una altura no mayor a los 1800 msnm. (Chemonics International Inc; 2005). El distanciamiento de siembra que se considera para este sistema es de 2 metros entre surco y 0.5 metros entre planta, considerando un surco de pipián entre un surco cítrico y otro de maíz con una distancia de 2x2 metros; siendo un total de 100 plantas que tiene como equivalente a 2 libras a implementar en el sistema de asocio.

Como especies maderables, se pretende establecer especies de Citrus s.p que aportan alimento a los productores, así como la sombra necesaria en la simbiosis de las especies que se implementaran en el sistema; así como la especie maderable madero negro (*Gliricidia sepium*) que es utilizado como recursos energético y maderable en la construcción de muebles o vivienda. Se pretenden establecer 100 plantas de especies cítricas y 30 plantas de *Gliricidia sepium* de forma dispersa.

El costo total para esta alternativa es de 25,906 C\$/Ha en donde se detallan los insumos que se utilizaran para su implementación, así como la preparación del suelo y labores de cultivos que se llevaran a cabo hasta llegar a su cosecha, para más detalles sobre las actividades véase el anexo 1.

- Cultivos de cobertura



Figura 10. Ejemplo de parcela de cultivos de cobertura

Fuente: Programa Nacional de manejo, conservación y recuperación de suelos

Los cultivos de cobertura están definidos como la cobertura de la implantación de una o varias especies vegetales en asociación con un cultivo principal o en alternancia entre períodos de producción para mejorar la calidad de suelos. (Rabanillo, 2021) El objetivo principal de los cultivos de cobertura es incrementar la fertilidad del suelo y la capacidad de retención de agua, así como aumentar la biodiversidad y disminuir la presencia de plagas.

Los cultivos de cobertura se pueden categorizar en gramíneas y leguminosas, las gramíneas son cultivos anuales tales como el trigo o el maíz que crecen con relativa rapidez y sus residuos protegen al suelo de plagas, erosión y mantienen la humedad; las leguminosas, son especies fijadoras de nitrógeno que disminuyen los efectos de la compactación en el suelo. (Cherlinka, 2021)

Los granos básicos (maíz, frijol, sorgo y arroz) son la dieta fundamental de la población nicaragüense, la cultura de sus ciudadanos está muy arraigada a cultivos como el maíz, del cual se derivan una serie de alimentos típicos de la gastronomía nacional. El 79% de la producción nacional de granos básicos se encuentra en manos de pequeños y medianos productores, unos 181 mil productores se dedican al cultivo de estas especies en el país. (INATEC, 2017)

Los cultivos que se sugieren para la implementación de esta alternativa son, Frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) como leguminosa y como gramínea el Maíz criollo (*Zea Mays. L*) ya que estos cultivos son implementados en el territorio de la microcuenca.

El *Phaseolus vulgaris L* es una las especies herbácea más destacables dentro del grupo de las leguminosas. Es una planta anual, que puede ser cultivada en zonas tropicales hasta en zonas templadas. Es crucial para la alimentación diría y la principal fuente de proteína. Entre los requerimientos edafoclimáticos se destacan los siguientes: las temperaturas optimas oscilan entre los 20°- 27°C, una altitud de 50 a 15000 msnm, precipitaciones de 1000-1600 mm, textura de suelo franco, franco-arenoso y un pH de 6 a 7.5 catalogándola como neutro. (INATEC, 2017)

Esta alternativa tiene un costo total de 21,047 C\$/Ha en donde se detallan los insumos tales como la cantidad de plantas a implementar, abonos y fertilizantes, preparación y labores de cultivo que den paso a la cosecha, véase el anexo 5 donde se detallan las actividades que incurren en la implementación de cultivos de cobertura.

- Manejo de pasturas



Figura 11. Ejemplo de manejo de pasturas

Fuente: Tropical Forages: *Pennisetum purpureum*

El manejo de pasturas es una práctica que consiste en la producción de forraje para el ganado que proporciona a los animales, hierbas y leguminosas forrajeras que mantienen la salud del suelo. Se basa en estrategias para mejorar la salud de los pastos y la producción de forraje, mantener un ecosistema sano y reducir los costes de producción. El éxito depende de saber cómo están interconectados todos los elementos. (Cherlinka, 2022)

El objetivo principal del manejo y control de pastos radica en el mejoramiento de la sostenibilidad y salud del ecosistema, ya que un manejo inadecuado provoca la invasión de malas hierbas, retrasa la recuperación del pasto forrajero y reduce la calidad. En general, el cuidado y manejo adecuado del pasto es muy beneficioso desde el punto de vista económico. Esta práctica reduce los costes de mano de obra, refuerza el suelo, reduce el riesgo de erosión y proporciona una fuente de alimentación económica. (Cherlinka, 2022)

Para el establecimiento de esta alternativa de inversión, se sugiere la implementación del pasto Taiwán (*Pennisetum Purpureum*) es un cultivo implementado en el territorio que cumple con las condiciones biofísicas de la microcuenca.

El costo total de esta alternativa es de 22,100 C\$/Ha que incurren en las actividades de preparación del terreno, siembra y cosecha, en el anexo 9 se detallan las actividades para llevar a cabo esta alternativa de inversión.

- Enriquecimiento forestal

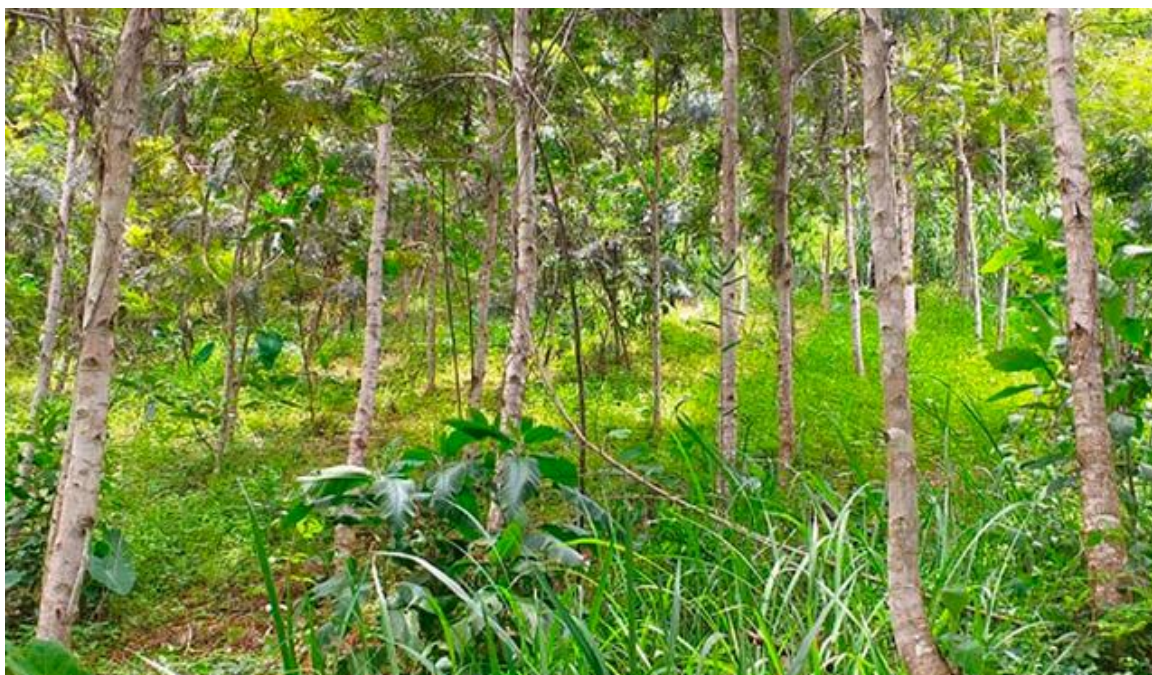


Figura 12. Ejemplo de enriquecimiento forestal

Fuente: Sophie Furnival/CIFOR

El enriquecimiento forestal es la introducción de dos o más especies arbóreas nativas de la zona con alto valor económico o de ocupación en fincas. Esta alternativa es también conocida como regeneración asistida, ya que su objetivo principal es introducir especies en bosques degradados sin eliminar individuos valiosos ya existentes en el sitio. El enriquecimiento, no es más que una técnica para la restauración en bosques sobreexplotados y bosques secundarios donde se pueda aumentar el volumen arbóreo y a su vez, incrementar el valor económico y ambiental del sitio.

Las especies que se sugieren para implementar esta alternativa en la microcuenca son, Jiñocuabo (*Busera Simaruba*), Cedro (*Cedrela Odorata*) y Guácimo (*Guazuma Ulmofolia*), ya que son especies que se encuentran presentes en el sitio, evitando la introducción de especies

invasoras que llevan consigo consecuencias negativas en el buen funcionamiento de los ecosistemas.

El costo total para esta alternativa es de 9,800 C\$/Ha que incurren en gastos de preparación de terreno, mano de obra y preparación de especies, en el anexo 12 se puede observar la tabla donde se detallan las actividades para llegar a cumplir el esquema completo de implementación.

- Plantaciones forestales



Figura 13. Ejemplo de plantaciones forestales

Fuente: Fuente propia, Yucul, 2021

Las plantaciones forestales corresponden a aquellos bosques que se han originado a través de la plantación de árboles de una misma especie o combinaciones con otras, efectuadas por el ser humano. Trayendo consigo, muchos beneficios ambientales, ya que propician la recarga de los acuíferos, generan un microclima que beneficia a las especies que habitan en sus alrededores, así como la disminución ante riesgos por inundaciones o deslizamientos de tierra.

La plantación forestal que se plantea para la microcuenca es utilizando especies nativas del territorio, ya que se busca promover el uso de plantas presentes en el sitio, de esta forma se optimizan los costos de implementación y proporciona un buen funcionamiento del sistema con mejores resultados de producción.

Las especies que se sugieren para esta alternativa son, Guásimo (*Guazuma ulmifolia*), Madero negro (*gliricida sepium*) y Cedro (*cedrela odorata*), son especies de gran valor comercial para los habitantes de la zona, al igual que se encuentran presentes en los bosques de la microcuenca.

El costo total de implementación para esta alternativa es de 9,700 C\$/Ha que comprenden los costos de las actividades para la implementación de plantaciones forestales, véase el anexo 15 donde se especifican las actividades con sus costos de implementación.

5.4. Áreas prioritarias de inversión

En la figura 14 se muestran las alternativas de inversión que ocupan un área de 473 ha para la microcuenca en estudio, siendo las plantaciones forestales y el enriquecimiento forestal las actividades con mayor área ocupacional en el territorio, así como los cultivos de cobertura, dado que el presupuesto disponible para su implementación es a bajo costo en comparación con otras alternativas, así como su factibilidad en el desarrollo de actividades que permiten cumplir con los objetivos planteados por RIOS ya que las especies que se sugieren para su implementación, contribuyen al mantenimiento de la estructura del suelo, reducen la erosión y promueven la retención del agua, así como, el aporte de materia orgánica al suelo mejorando su fertilidad.

Al cubrir el suelo con especies forestales y cultivos de cobertura (gramíneas y leguminosas) se obtiene un control más eficaz de las malezas existentes en las parcelas, ya que compiten con las malas hierbas por nutrientes, agua y luz solar y se reduce significativamente la presión en los cultivos principales. Cabe resaltar, que algunos cultivos de cobertura, como las leguminosas, tienen la capacidad de fijar nitrógeno que captan de la atmósfera para fijar en el suelo, lo que beneficia a los cultivos asociados al proporcionarles una fuente adicional de nutrientes. (Cherlinka, 2021)

Con la introducción e implementación de especies arbóreas y de cobertura, se previene la presencia de enfermedades y plagas, ya que poseen propiedades que ayudan a prevenir o reducir los impactos negativos de patógenos externos en su composición morfológica. De esta forma, fomenta la diversidad biológica de organismos en el suelo, proporcionando un mayor intercambio de nutrientes y materia orgánica que contribuye a un ecosistema más saludable.

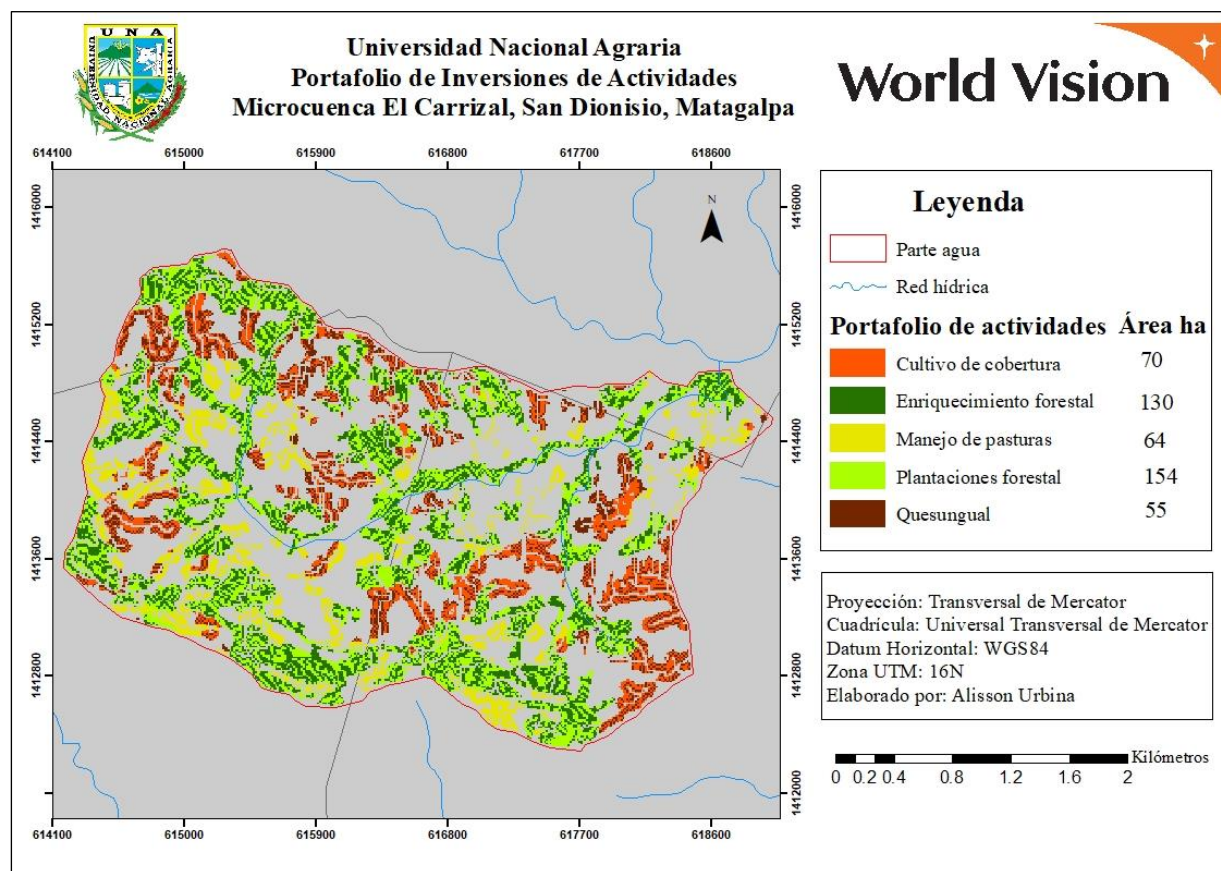


Figura 14. Portafolio de actividades de la microcuenca El Carrizal

La superficie priorizada para inversiones en la microcuenca abarca un total de 473 ha. De esta área, 70 hectáreas están destinadas a cultivos de cobertura, con un costo estimado de C\$ 1,473,290, que será asignado a los gastos de implementación de esta alternativa.

El enriquecimiento forestal abarca una superficie priorizada de 130 hectáreas, con un costo de C\$ 1,274,000 destinado a su implementación. En el manejo de pasturas, se ha priorizado un total de 64 hectáreas, con un costo de C\$ 1,414,400 para su ejecución. Las plantaciones forestales cubren una superficie priorizada de 154 hectáreas, con una inversión de C\$ 1,493,800 para su desarrollo. Por último, la alternativa de inversión en el sistema Quesungual

ha sido establecida en un área priorizada de 55 hectáreas, con una inversión de C\$ 1,424,830 para su implementación y ejecución.

Las áreas del territorio que no fueron priorizadas abarcan una extensión de 607 ha, con un uso predominante de agricultura tropical mixta y pastizales tropicales. Estas zonas presentan limitaciones derivadas de las condiciones biofísicas, tales como un relieve accidentado, tipos de suelos con baja capacidad de retención hídrica, y una cobertura vegetal inadecuada.

Estas áreas no priorizadas pueden considerarse como zonas de remediación, donde la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, alineadas con la vocación natural del suelo y su capacidad de uso, podrían contribuir significativamente a la restauración ecológica y mejorar la resiliencia del sistema natural frente a la degradación ambiental.

VI. CONCLUSIONES

La microcuenca El Carrizal presenta suelos pertenecientes a los órdenes Alfisol, Entisol y Vertisol, los cuales son característicamente someros y de texturas que varían de franco a arcillosa. Estas propiedades, junto con su baja capacidad de infiltración y alto riesgo de erosión hídrica, limitan la productividad agrícola y aumentan la vulnerabilidad ambiental de la zona. A pesar de que la erodabilidad del suelo es relativamente baja, la erosividad de la lluvia, con un valor alto, contribuye significativamente a los procesos erosivos. Estos factores combinados restringen el uso sostenible del suelo y fomentan la degradación del entorno natural, requiriendo la implementación de medidas de conservación para mitigar sus efectos.

Las prácticas de agricultura sostenible adaptadas al clima implementadas en la microcuenca en estudio, como el sistema Quesungual, cultivos de cobertura, manejo de pasturas, enriquecimiento y plantaciones forestales, han demostrado ser adecuadas para enfrentar los desafíos ambientales de la región. Estas prácticas fueron seleccionadas con base en su viabilidad económica, su capacidad para promover la conservación de suelos y recursos hídricos, y la experiencia previa en la zona. Además, la priorización de especies nativas adecuadas al entorno local ha sido clave para asegurar la eficacia y sostenibilidad a largo plazo de las intervenciones, contribuyendo al equilibrio ecológico y a la resiliencia del sistema agrícola frente al cambio climático.

Las alternativas de inversión propuestas para la microcuenca abarcan un total de 473 hectáreas, distribuidas estratégicamente para enfrentar los desafíos ambientales del área. Las plantaciones forestales, que cubren la mayor extensión con 154 hectáreas y un costo de implementación de C\$ 1,493,800, representan una solución clave para mitigar problemas como la erosión del suelo y el riesgo de inundaciones. Estas intervenciones junto a los cultivos de cobertura, desempeñan un papel fundamental en la restauración de la estructura del suelo y la mejora de la cobertura vegetal. Al promover la biodiversidad, mejorar la capacidad de retención de agua y reducir la escorrentía superficial, estas actividades aseguran un retorno ecológico significativo, contribuyendo a la sostenibilidad del territorio y la protección de sus recursos naturales.

VII. LITERATURA CITADA

Allen, R. G. (1998). Crop evapotranspiration. *FAO irrigation and drainage paper*, 56, 60-64.

AMUPNOR-INAFOR. (2012). Plan nacional de ordenamiento forestal de San Dionisio. Delegacion Disrtrial VIII Matagalpa

Arnold, J., Kiniry, J., Srinivasan, R., Williams, J. Haney, E. y Neitsch, S. (2012). *Soil and Water Assessment tool*. <file:///C:/Users/user/Downloads/SWAT-IO-Documentation-2012.pdf>

Chemonics International Inc. (2005). *Proyecto de Desarrollo de la Cadena de Valor y Conglomerado Agrícola. Cultivo de Pipián Cucúrbita Mixta*. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENF01CH517c.pdf>

Cherlinka, V. (2021). *Cultivos De Cobertura: Tipos Y Beneficios*. EOS Data. <https://eos.com/es/blog/cultivos-de-cobertura/>

Cherlinka, V. (2022). *Manejo De Pastos: Planificación E Implementación*. EOS Data. <https://eos.com/es/blog/manejo-de-pastos/>

Colotti, E. (1999). La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida. *Tierra*. Nueva Etapa, XV (24), 99-116.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA (2014). Clave para la taxonomía de suelos. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Spanish-Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>

Fenzl, Norbert. (1989). *Nicaragua: Geografía, Clima, Geología y Hidrología*. PIDL

Gaillard, C. (2003). *Plantaciones forestales: oportunidades para el desarrollo sostenible*. <https://www.url.edu.gt/portalurl/archivos/51/archivos/06-plantaciones-forestales.pdf>

Gisbert, J., Ibáñez, S., Moreno, H. (2012). *La ecuación universal de pérdidas de suelo (usle)*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16849/AD%20USLE.pdf?sequence=1>

Ibrahim, M., Gamboa, H., Gómez, W. (2009). *Sistema agroforestal Quesungual: una buena práctica de adaptación al cambio climático*. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10148/A3824e.pdf>

Instituto Nacional de Información de Desarrollo INIDE. (2005). *Censo de Población y vivienda*. <https://www.inide.gob.ni/Estadisticas/censoCEPOV2005>

Instituto Nacional Tecnológico Dirección General De Formación Profesional INATEC. (2017). *MANUAL DEL PROTAGONISTA. Granos básicos*. https://www.tecnacional.edu.ni/media/Manual_Granos_B%C3%A1sicos_opt.pdf

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales INETER. (2005). *Atlas climático de Nicaragua*. <https://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/mapas/Nicaragua/clima/atlas/index.html>

Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal INIFON (n.d) San Dionisio, Matagalpa. http://www.inifom.gob.ni/municipios/documentos/MATAGALPA/san_dionisio.pdf

Marín Castillo, E. (1992). Mapa de zonificación agroecológica. Managua, NI. 1:250,000.

MEFCCA. (n.d.). *Manual de granos básicos*. <https://www.economiafamiliar.gob.ni/backend/vistas/doc/cartilla/documento2984638.pdf>

Moreno, N. y Calderón, G. (2000). *Evaluación Ex-ante de los sistemas de café con sombra y barrera viva en la subcuenca del río Cállico San Dionisio, Matagalpa* [Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/997/1/tnf08m843e.pdf>

Rabanillo, J. (2021). *Cultivos de cobertura: ¿qué son y qué beneficios tienen?* ESSEEDS. <https://esseeds.com/blog/cultivos-de-cobertura-que-son-y-que-beneficios-tienen/>

Rodríguez Cruz, J. (2020) Informe RIOS: Identificando sitios para implementar prácticas ASAC, en donde se maximice el retorno ecológico. Cuenca "La Carreta" y "Santa Isabel". Cali (Colombia): Alianza de Bioersity International y CIAT. 54 p.
<https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/7bf63fc9-2b37-4416-86da-885f47dcc3ed/content>

Ruiz, M. M. (2022). *Determinación de la erodabilidad de un suelo superficial del oriente antioqueño mediante ensayo inderbitzen*. Edu.Co.
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/82091/1152697442.2022.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Tünnermann, E., Orozco, M., Alguera, K. (2020). *Diagnóstico de recursos hídricos y su vulnerabilidad ante el cambio climático para la gestión de estrategias comunitarias de adaptación al cambio climático para la seguridad hídrica, Municipio de San Dionisio*. Universidad Nacional Agraria.

Vogl, A., Tallis, H., Douglas, J., Sharp, R., Viega, F., Benítez, S., León, J., Game, E., Petry, P., Guimerães, J. y Lozano, J. (2016). *Sistema de Optimización de Inversiones en Recursos (RIOS) Introducción y documentación teórica*.
https://raw.githubusercontent.com/richpsharp/rios-deprecated/master/user_guide/RIOSGuide_Combined_May2016_Espanol.pdf

Williams, J. (1995). Chapter 25. The EPIC Model. p. 909-1000. In *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications. Highlands Ranch, CO.

VIII. ANEXOS

Anexos 1. Presupuesto detallado de insumos para el establecimiento de un sistema Quesungual en una hectárea

Insumos				
Detalle	Cantidad	unidad	precio C\$	Costo C\$
semilla grano básico (Zea Mays)	80	libra	65.45	5236
semilla legumbres (Cucúrbita Mixta)	2	libra	300	600
madero negro (Gliricidia sepium)	30	planta	5	150
especies arbóreas (Citrus Aurantium)	100	planta	50	5000
fertilizante N-P-K	2	quintal	2160	4320
urea	2	quintal	3000	6000
TOTAL			5580.45	21306

Anexos 2. Presupuesto detallado en la preparación del suelo para el establecimiento de un sistema Quesungual en una hectárea

Preparación del suelo				
Detalle	unidad de medida	Cantidad	costo unitario C\$	costo total C\$
preparación del terreno	hombres/día	4	200	800
ahoyado	hombres/día	2	200	400
siembra de espeque	hombres/día	2	200	400
TOTAL			600	1600

Anexos 3. Presupuesto detallado de las labores de cultivo para el establecimiento del sistema Quesungual en una hectárea

Labores de cultivo				
Detalle	unidad de medida	Cantidad	precio C\$	Costo C\$
Siembra	hombres/día	2	200	400
fertilización y aporque	hombres/día	2	200	400
control de maleza	hombres/día	2	200	400
Poda/ incorporación de mulch	hombres/día	2	200	400
TOTAL			800	1600

Anexos 4. Presupuesto detallado de actividades de cosecha en el establecimiento de sistema Quesungual en una hectárea

Cosecha				
Detalle	unidad	Cantidad	Precio C\$	Costo C\$
cosecha	hombres/día	3	200	600
desgrane	hombres/día	2	100	200
secado de grano	hombres/día	3	200	600
TOTAL			500	1400

Anexos 5. Presupuesto detallado de insumos para el establecimiento de cultivos de cobertura en una hectárea

Insumos				
Detalle	Cantidad	unidad	precio C\$	Costo C\$
maíz	60	libra	65.45	3927
frijol	40	libra	60	2400
fertilizante N-P-K	2	quintal	2160	4320
urea	2	quintal	3000	6000
TOTAL				16647

Anexos 6. Presupuesto detallado para la preparación del suelo en el establecimiento de cultivos de cobertura en una hectárea

Preparación del suelo				
Detalle	unidad de medida	Cantidad	costo unitario C\$	costo total C\$
limpieza del terreno	hombres/día	4	200	800
ahoyado	hombres/día	2	200	400
siembra de esquepe	hombres/día	2	200	400
TOTAL				1600

Anexos 7. Presupuesto detallado en labores de cultivo en el establecimiento de cultivos de cobertura en una hectárea

Labores de cultivo				
Detalle	unidad de medida	Cantidad	precio C\$	Costo C\$
Siembra	hombres/día	2	200	400
resiembra	hombres/día	1	200	200
fertilización y aporque	hombres/día	2	200	400
incorporación de mulch	hombres/día	2	200	400
TOTAL				1400

Anexos 8. Presupuesto detallado en labores de cosecha en el establecimiento de cultivos de cobertura en una hectárea

Cosecha				
Detalle	unidad	Cantidad	precio C\$	Costo C\$
cosecha	hombres/día	3	200	600
desgrane	hombres/día	2	100	200
secado de grano	hombres/día	3	200	600
TOTAL				1400

Anexos 9. Presupuesto detallado en preparación del terreno para el manejo de pasturas en una hectárea

Preparación del terreno				
Detalle	Cantidad	unidad	precio C\$	Costo C\$
limpieza del terreno	2	hombre/día	300	600
control de malezas	3	hombre/día	200	600
aplicación de abonos verdes	3	hombre/día	200	600
TOTAL				1800

Anexos 10. Presupuesto detallado en la siembra para el manejo de pasturas en una hectárea

Siembra				
Detalle	Cantidad	unidad	precio C\$	Costo C\$
propágulos	1000	unidad	15	15000
Siembra	4	hombre/día	300	1200
abono verde	1	quintal	2000	2000
TOTAL				18200

Anexos 11. Presupuesto detallado en labores de cosecha para el manejo de pasturas en una hectárea

Cosecha				
Detalle	Cantidad	unidad	precio C\$	Costo C\$
Corte	3	hombre/día	300	900
control de malezas	2	hombre/día	300	600
fertilización	2	hombre/día	300	600
TOTAL				2100

Anexos 12. Presupuesto detallado de la preparación del terreno en el enriquecimiento forestal para una hectárea

Preparación del terreno				
Detalle	Cantidad	unidad	precio C\$	Costo C\$
Chapodeo y limpia	4	hombre/día	200	800
trazado o marcación	4	hombre/día	300	1200
ahoyado	4	hombre/día	200	800
TOTAL				2800

Anexos 13. Presupuesto detallado de la preparación de especies forestales en el enriquecimiento forestal para una hectárea

Preparación de especies forestales				
Detalle	Cantidad	unidad	precio C\$	Costo C\$
colecta de semillas en campo	2	hombre/día	200	400
seleccionado de semillas	1	hombre/día	100	100
TOTAL				500

Anexos 14. Presupuesto detallado de labores de siembra para el enriquecimiento forestal en una hectárea

Siembra				
Detalle	Cantidad	unidad	precio C\$	Costo C\$
plantación	4	hombre/ día	200	800
replante	4	hombre/ día	200	800
control de plagas	2	hombre/ día	300	600
rondas contra fuego	4	hombre/ día	300	1200
TOTAL				3400

Anexos 15. Presupuesto detallado en mano de obra y materiales de recolección de semillas botánicas en plantaciones forestales para una hectárea

Mano de obra y materiales para recolección de semillas botánicas				
Detalle	Cantidad	unidad	precio C\$	Costo C\$
colecta de semillas en campo	5	hombre/día	200	1000
seleccionado de semillas	3	hombre/día	100	300
TOTAL				1300

Anexos 16. Presupuesto detallado de los insumos y materiales para producción de plantas en plantaciones forestales para una hectárea

Insumos y materiales para producción de plantas forestales				
Detalle	Cantidad	unidad	precio C\$	Costo C\$
bolsa	100	unidad	3	300
compost	1	quintal	500	500
TOTAL				800

Anexos 17. Presupuesto detallado del costo de mano de obra para producción de plantaciones forestales en una hectárea

Costo de mano de obra para producción de plantas forestales				
Detalle	Cantidad	unidad	precio C\$	Costo C\$
limpieza y preparación de los almácigos	5	hombre/día	200	1000
embolsado y enfilado del sustrato	5	hombre/día	100	500
siembra de semillas	5	hombre/día	100	500
riego de semillas para germinación	5	hombre/día	100	500
limpieza de malezas	5	hombre/día	200	1000
cuidado y mantenimiento de plantío	5	hombre/día	300	1500
TOTAL				5000

Anexos 18. Presupuesto detallado del costo de siembra de especies forestales en una hectárea

costo de siembra de especies forestales				
Detalle	Cantidad	unidad	precio C\$	Costo C\$
ahoyado	5	hombre/día	200	1000
siembra	5	hombre/día	200	1000
fertilización	2	hombre/día	300	600
TOTAL				2600