



**Por un Desarrollo  
Agrario Integral  
y Sostenible**

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
Y DEL AMBIENTE**

## **TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Potencial a deslizamientos de tierra y zonas  
de recarga hídrica en la subcuenca del Rio  
Musunce, Madriz, Nicaragua**

**AUTOR:**

**Br. Oscar Danilo Úbeda Pineda**

**ASESORES:**

**Dr. Efrain Acuña Espinal  
MSc. Cesar Aguirre Jimenez**

**Managua, Nicaragua  
Junio, 2016**



Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible"

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
Y DEL AMBIENTE**

## **TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Potencial a deslizamientos de tierra y zonas de  
recarga hídrica en la subcuenca del Rio Musunce,  
Madriz, Nicaragua**

**AUTOR:**

**Br. Oscar Danilo Úbeda Pineda**

**ASESORES:**

**Dr. Efrain Acuña Espinal  
MSc. Cesar Aguirre Jimenez**

**Managua, Nicaragua  
Junio, 2016**

## Índice de contenido

SECCION	PÁGINA
Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Índice de cuadros	v
Índice de figuras	vi
Índice de anexos	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS</b>	<b>2</b>
2.1. Objetivo general	2
2.2. Objetivos específicos	2
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>3</b>
3.1. Descripción del área de estudio	3
3.2. Metodología para estudio de áreas vulnerables a deslizamientos de tierra	3
3.3. Metodología para identificación de zonas potenciales de recarga hídrica	8
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>11</b>
4.1. Análisis de la vulnerabilidad potencial a deslizamientos de tierra	11
4.1.1. Análisis de factores intrínsecos	11
4.1.2. Análisis de factores extrínsecos	13
4.1.2.1. Análisis del factor conflictos de uso del suelo	15
4.1.3. Vulnerabilidad potencial a deslizamientos de tierra en la subcuenca del río Musunce	17
4.2. Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica (ZPRH)	20
4.2.1. Análisis de zonas potenciales de recarga hídrica	20
4.2.2. Resultados de evaluación en campo de las zonas potenciales de recarga hídrica	22
a. Pendiente	22
b. Tipo de roca	25
c. Tipo de suelo	28
d. Cobertura vegetal	31
e. Uso de suelo	34
4.2.3. Cálculo de la capacidad de recarga hídrica en las zonas identificadas	36
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>39</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA</b>	<b>40</b>
<b>VII. ANEXO</b>	<b>42</b>

## **Dedicatoria**

Primeramente, a Dios nuestro señor y creador, por darme la vida y acompañarme siempre donde quiera que me encuentre, por llenar de bendiciones a mis seres queridos y a mí, por ser fuente de sabiduría, de inteligencia y de entendimiento. Por alejarme siempre de la ignorancia y darme el privilegio de cumplir con mi objetivo de graduarme.

A mis padres; Estela Pineda Blandón y Elías Úbeda Montenegro, por su sacrificio diario y por su apoyo incondicional, por creer en mí ayudándome a alcanzar mi objetivo de graduarme, dándome el más grande regalo.

A mi tita; Ángela Siles, por su cariño y apoyo incondicional durante toda mi carrera.

A mis hermanos; Elías y Heidy, que son para mí, ejemplos a seguir de trabajo y honestidad.

## **Agradecimiento**

Gracias al apoyo financiero de la Agencia Católica Irlandesa para el Desarrollo (TROCAIRE), ha sido posible la realización de este trabajo de investigación

Al personal del Movimiento Comunal Nicaragüense de la Ciudad de Somoto, por su valiosa cooperación en la logística, atención brindada y el acompañamiento en campo para recabar información.

A los actores locales, por su amable apoyo y acompañamiento en la identificación y evaluación de zonas potenciales de recarga hídrica, durante el recorrido en las áreas de interés del estudio, así como la identificación de sitios vulnerables a deslizamientos de tierra y disponibilidad de información recabada.

## **Agradecimientos especiales**

A mis asesores, quienes fueron de mucha ayuda durante el desarrollo de esta investigación:

Dr. Efraín Acuña Espinal, por la oportunidad de realizar este trabajo, por su apoyo, consejos y sus lecciones que me servirán no solo para mi desarrollo como profesional sino también para la vida.

Ing. MSc. César Aguirre Jiménez, por sus indicaciones y consejos en momentos de confusión y por compartir conmigo su sabiduría, la cual ayudara a mi formación como futuro profesional y como persona.

A todos los profesores que a lo largo de mi carrera universitaria fueron parte de mi formación.

## Índice de cuadros

<b>CUADRO</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Calificación para susceptibilidad a deslizamientos por densidad de drenaje	3
2.	Intervalos de pendiente, formas del terreno y susceptibilidad a deslizamientos de tierra	5
3.	Grado de susceptibilidad a deslizamientos y conflictos de uso de la tierra	6
4.	Intervalos de la precipitación y su aporte a los deslizamientos de tierra	6
5.	Definición de los niveles de susceptibilidad a deslizamientos de tierra	7
6.	Clasificación según la capacidad de recarga hídrica	10
7.	Niveles de vulnerabilidad potencial por factores intrínsecos	11
8.	Niveles de vulnerabilidad potencial por factores extrínsecos	13
9.	Niveles de susceptibilidad por conflictos de uso del suelo	15
10.	Niveles de vulnerabilidad potencial a deslizamientos de tierra	17
11.	Zonas potenciales de recarga hídrica	20
12.	Pendientes en las zonas potenciales de recarga hídrica	22
13.	Análisis de capacidad de recarga hídrica según la pendiente	22
14.	Capacidad de recarga hídrica en la subcuenca según la pendiente	24
15.	Tipo de roca en las zonas potenciales de recarga hídrica	25
16.	Análisis de la capacidad de recarga hídrica según la composición rocosa	25
17.	Capacidad de recarga hídrica en la subcuenca según el tipo de roca	27
18.	Tipo de suelo en las zonas potenciales de recarga hídrica	28
19.	Análisis de capacidad de recarga hídrica según el tipo de suelo	28
20.	Capacidad de recarga hídrica en la subcuenca según el tipo de suelo	30
21.	Porcentaje de cobertura vegetal en las zonas potenciales de recarga hídrica	31
22.	Análisis de la capacidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal	31
23.	Capacidad de recarga hídrica en la subcuenca según el porcentaje de cobertura vegetal	33
24.	Uso de suelos en las zonas potenciales de recarga hídrica	34
25.	Análisis de la capacidad de recarga hídrica según el uso de suelo	34
26.	Capacidad de recarga hídrica en la subcuenca de acuerdo al uso de suelo	36
27.	Determinación del potencial de recarga hídrica	37
28.	Posibilidad de recarga hídrica a partir de los criterios evaluados en ecuación propuesta por Matus	37

## Índice de figuras

<b>FIGURA</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Mapa de ubicación del área de estudio	4
2.	Modelo para deslizamientos de tierra	8
3.	Esquema de ecuación propuesta por Matus	9
4.	Modelo para identificación de zonas de recarga hídrica	10
5.	Mapa de potencial a deslizamientos de tierra por factores intrínsecos	12
6.	Mapa de potencial a deslizamientos de tierra por factores extrínsecos	14
7.	Mapa de conflictos de uso de suelos	16
8.	Mapa de potencial a deslizamientos de tierra en la subcuenca del río Musunce, Departamento de Madriz 2015	19
9.	Mapa de zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Musunce, Departamento de Madriz 2015	21
10.	Mapa de capacidad de recarga hídrica en base al factor pendiente (%)	23
11.	Mapa de capacidad de recarga hídrica en base al factor geología (tipo de roca)	26
12.	Mapa de capacidad de recarga hídrica en base al factor tipo de suelo	29
13.	Mapa de capacidad de recarga hídrica en base al factor cobertura vegetal (%)	32
14.	Mapa de capacidad de recarga hídrica en base al factor uso de suelo	35
15.	Mapa de fuentes de agua subterráneas en la subcuenca Musunce	38

## Índice de anexos

<b>ANEXO</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Criterios evaluados en campo para determinar potencial de recarga hídrica	42
2.	Deslizamientos acticos identificados y georreferenciados en campo	42
3.	Tablas de ponderación para zonas potenciales de recarga hídrica	43

## Resumen

Potencial a deslizamientos de tierra y zonas de recarga hídrica, en la subcuenca del Río Musunce, Departamento de Madriz, Nicaragua 2015

El trabajo se realizó en la subcuenca del río Musunce, ubicada en el departamento de Madriz, Nicaragua; con el propósito de generar información sobre la vulnerabilidad potencial a deslizamientos de tierra y las áreas con potencial de recarga hídrica, como insumos, para el desarrollo de acciones que contribuyan a disminuir el riesgo que estos fenómenos podrían generar a futuro.

El estudio se desarrolló utilizando dos metodologías, cada una dando respuesta a los objetivos de la investigación, *Método Heurístico Geomorfológico* y *Guía de identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*; ambas metodologías se desarrollaron con el uso del Sistema de Información Geográfica.

La información secundaria se recopiló a través de estudios realizados acerca del manejo de los recursos en la subcuenca y la evaluación de riesgos. Los datos de campo se obtuvieron mediante recorridos realizados en el área de estudio, entrevistas con habitantes y usuarios de los recursos de la subcuenca.

Se georreferenciaron los lugares en donde se encontraron evidencias de deslizamientos activos, así como sitios vulnerables a deslizamientos. Asimismo, se georreferenciaron los puntos donde se aplicó el método de identificación de zonas potenciales de recarga hídrica, con el fin de comparar estos puntos con resultados de los modelos elaborados a través de ArcGis 10.2, permitiendo así la verificación lo obtenido mediante estos modelos.

Los resultados mostraron que en la subcuenca del río Musunce la vulnerabilidad a deslizamientos de tierra y la escasez de agua está altamente relacionada a la presión ejercida sobre los recursos naturales, como resultado de los conflictos por el uso de la tierra, ya que no existe un equilibrio con la capacidad de uso de los suelos. El desarrollo de actividades humanas realizadas durante muchos años bajo un modelo no sostenible, aumenta la susceptibilidad a deslizamientos y reduce las áreas con potencial de recarga hídrica, afectando la disponibilidad de agua en las fuentes.

Palabras claves: deslizamientos, zonas de recarga hídrica, Madriz, Nicaragua.

## Abstract

Potential to landslides and identification of areas of water recharge in the sub-basin of the river Musunce, Department Madriz, Nicaragua 2015

The work was done in the basin of the river Musunce, located in the department of Madriz, Nicaragua; in order to generate information on the potential vulnerability to landslides and areas with potential water recharge, as inputs for the development of actions to help reduce the risk that these phenomena could lead to future.

The study was conducted using two methodologies, each responding to the research objectives, *Heuristic Method Guide Geomorphology and participatory identification of areas with potential water recharge*; both methodologies were developed using Geographic Information System.

Secondary information was collected through studies conducted on the management of resources in the sub-basin and risk assessment. Field data were obtained by journeys made in the study area, interviews with residents and resource user's sub-basin.

Places where evidence of active landslides were found were georeferenced and sites vulnerable to landslides; the points where the method of identifying potential areas of water recharge, in order to compare these points with models developed through ArcGis 10.2 was applied, thus allowing these models verified also, georeferenced.

The results showed that in the basin of the river Musunce vulnerability to landslides and water scarcity is highly related to pressure on resources as a result of conflicts over land use, since there is a balance with potential land use. The development of human activities for many years without a sustainable model, increases susceptibility to landslides and reduce areas of potential water recharge, affected the availability of water sources.

Keywords: landslides, identification, water recharge areas, Madriz, Nicaragua.

## I. INTRODUCCIÓN

El riesgo a desastres relacionado a amenazas naturales está altamente influenciado por la vulnerabilidad, y ésta a su vez viene dada por las condiciones en la que se encuentra una población. En la subcuenca del río Musunce, se observa un aumento de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra y escasez de agua, generados por la degradación acelerada de los recursos naturales. El impacto de las actividades agrícolas desarrolladas por los pobladores, en combinación con características físicas de la subcuenca, ha provocado un aumento en la susceptibilidad ante las amenazas naturales antes mencionadas.

El agua es vital para el desarrollo de las actividades humanas, así como para los procesos naturales. Todas las actividades humanas dentro de la subcuenca, y el manejo de los recursos naturales inciden de forma positiva o negativa en la calidad y cantidad del recurso hídrico del cual se pueda disponer.

Dado que en el área de estudio se han registrado movimientos de tierra relacionados o provocados por la presión ejercida por fenómenos naturales como el huracán Mitch (Octubre de 1998), en la subcuenca del río Musunce es posible observar áreas vulnerables a la ocurrencia de deslizamientos de tierra. Así mismo, las sequías relacionadas con la variabilidad climática, el cambio climático, el mal manejo de los recursos naturales, sumado a las características climáticas del municipio, han hecho evidente la escasez de agua.

Esto hace necesario identificar las áreas vulnerables a deslizamientos de tierra, así como las áreas con potencial de recarga hídrica, con el fin de generar información que sirva como base para realizar un planteamiento de acciones, que ayuden a disminuir la vulnerabilidad presente en estos lugares y que contribuyan a mejorar el uso y manejo de la subcuenca.

La identificación de los sitios vulnerables permitirá adoptar una conciencia del riesgo presente, y desarrollar actividades que logren mantener un equilibrio entre los recursos naturales y la población, mejorando a la vez la calidad de vida de los habitantes de la subcuenca. De esta manera disminuirá la posibilidad de ocurrencia de un desastre natural o en última instancia lograr minimizar los daños que estos pudiesen generar ante un evento desastroso donde se puedan perder vidas humanas y ocasionar daños materiales.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

- Identificar áreas con potencial a deslizamientos de tierra y zonas potenciales de recarga hídrica en la subcuenca del río Musunce – Departamento de Madriz, con el propósito de generar información que contribuya a la reducción de riesgos de desastres por deslizamientos de tierra y escasez de agua.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Evaluar las áreas con potenciales de amenaza a deslizamientos de tierra en la subcuenca del Río Musunce.
- Identificar las áreas con potencial de recarga hídrica.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Descripción del área de estudio

La Subcuenca del río Musunce está localizada en el Departamento Madriz, tiene un área total de 35,95 km<sup>2</sup>; al Sur nace en la montaña Tepecxomothl en el interior de la reserva natural La Patasta, ubicada al Sur de la ciudad de Somoto (ver figura 1), al Norte desemboca en el río Coco. En la subcuenca se encuentra la ciudad de Somoto y las comunidades de El Zapote, Sata Teresa y Cacauli.

El relieve es accidentado con laderas muy escarpadas en las partes altas, con altitudes que varían desde los 620 a 1730 msnm. Presenta un clima tropical seco, temperaturas que oscilan entre los 24° y 25°C y precipitaciones que varían desde 630 a 800 mm por año (Benavidez, 2009).

#### 3.2. Metodología para el estudio de áreas vulnerables a deslizamientos de tierra

La metodología utilizada en el estudio tiene su fundamento lógico en el *Método Heurístico Geomorfológico*, el cual consiste en la realización de un análisis espacial de coberturas temáticas en Sistemas de Información Geográfica SIG (**Geológicos, Edáficos, Climáticos y Antrópicos**). Pérez & Rojas, 2005. El procedimiento para la obtención del mapa de vulnerabilidad potencial a deslizamientos de tierra se divide en dos partes:

##### Primera parte

Consistió en la obtención del *mapa de susceptibilidad por factores intrínsecos* a la generación de fenómenos de remoción en masa, que se obtiene de la combinación de mapas temáticos calificados, en *drenaje, geología, y pendiente*. El *Drenaje* se obtiene mediante la digitalización de las corrientes de agua observadas a través de mapas topográficos del área, en donde posteriormente se realiza el cálculo de la densidad del drenaje a través de la fórmula  $Dd=Lc/A$ .

Cuadro 1: Calificación por susceptibilidad a deslizamientos por densidad de drenaje

Niveles de Susceptibilidad	Intervalo m/Km <sup>2</sup>	Clasificación
Muy Bajo	0-0.00009	5
Bajo	0.0001-2249	4
Moderado	2250-3439	3
Alto	3440-4864	2
Muy Alto	> 4865	1

Fuente: Ruiz y Molina, 2001

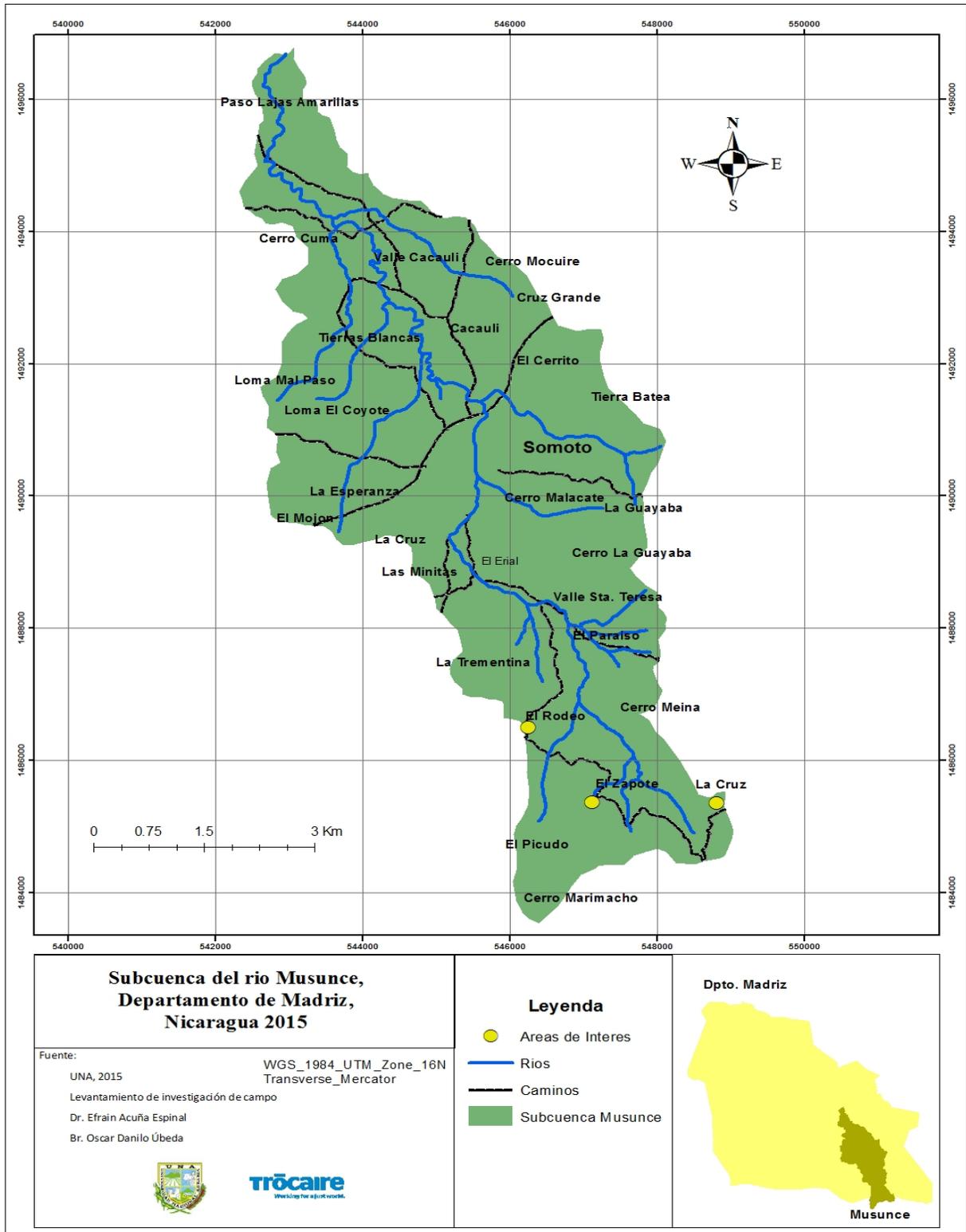


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio

La **Geología** se obtiene mediante la superposición del mapa de Unidades litológicas y Densidad de fracturamiento). El mapa de unidades litológicas se obtuvo a partir de los mapas geológicos nacionales de Catastro (1971); la densidad de fracturamiento se obtiene del análisis y digitalización de fallas observadas a través de imágenes de satélite; y, el cálculo de densidad estructural se determina mediante la siguiente fórmula;  $De = Le/A$ .

El mapa de **Pendiente** se genera a partir del Modelo de Elevación Digital de Nicaragua, el cual fue generado del mapa topográfico a escala 1: 50,000 del INETER con curvas de nivel cada 20 m; se califica el mapa de pendiente usando la escala descrita en el siguiente cuadro.

Cuadro 2: Intervalos de pendientes, formas del terreno y susceptibilidad a deslizamientos de tierra

Letra	Intervalo (%)	Forma del terreno	Nivel de susceptibilidad	Calificación
A	0-2	Plano casi plano	Muy bajo	1
B	2-4	Suavemente inclinado	Bajo	2
C	4-8	Inclinado	Moderado	3
D	8-15	Moderadamente escarpado	Moderado	3
E	15-30	Escarpado	Alto	4
F	30-45	Muy escarpado	Muy alto	5
G	>45	Extremadamente escarpado	Muy alto	5

Fuente: modificado de CATASTRO, 1971.

### Segunda parte

Estuvo encaminada a la obtención de un **mapa de susceptibilidad por factores extrínsecos**; para esto se requieren los mapas temáticos de uso potencial y uso actual del suelo, obtenidos de los mapas nacionales actualizados de Uso Potencial y Uso Actual de Suelo. A partir de la superposición de ellos se genera el **mapa de conflicto de uso**. El grado de susceptibilidad a los deslizamientos de tierra es calificado según el cuadro 3.

Cuadro 3. Grado de susceptibilidad a deslizamientos y conflictos de uso de la tierra

Susceptibilidad a deslizamiento	Grado de conflicto de uso de la tierra	Descripción
(1)	<i>Conflicto Muy Bajo</i>	Cuando el uso actual corresponde con la capacidad de uso de la tierra o uso potencial.
(2)	<i>Conflicto Bajo</i>	Cuando el tipo de suelo puede llegar a tener este uso potencial pero con algunas limitaciones.
(3)	<i>Conflicto Medio</i>	El uso potencial del suelo presenta limitaciones marcadas para el uso o usos que se estén practicando
(4)	<i>Conflicto Alto</i>	Cuando se está cultivando tierras cuyo potencial no es agrícola (por ejemplo clase VI) y lo que debería tener es una cubierta vegetal protectora o áreas boscosas manejadas.
(5)	<i>Conflicto Muy Alto</i>	Cuando las tierras son muy escarpadas y se practica agricultura, pero estas tierras deberían ser áreas de protección o bosques sin intervenir

Fuente: modificado de Pérez y Rojas, 2005

Por consiguiente, entre mayor sea el conflicto de uso de tierra definido, mayor será la susceptibilidad a que se presenten fenómenos de deslizamientos de tierra. Los diferentes niveles de conflictos de la tierra es una calificación de la intervención del hombre sobre el paisaje y este puede ser traducido en ***factor detonante de tipo antrópico***.

El mapa de ***Clima*** se elaboró mediante la calificación del nivel de precipitación en la zona de estudio, los niveles de amenaza son calificados considerando el siguiente cuadro.

Cuadro 4. Intervalos de la precipitación y su aporte a los deslizamientos de tierra

Intervalos de precipitación (mm/año)	Susceptibilidad a deslizamientos	Nivel de susceptibilidad
< 800	1	Muy Bajo
800-1000	2	Bajo
1000-1200	3	Moderado
1200-1400	4	Alto
>1400	5	Muy Alto

Fuente: Rosales y Centeno, 2009

La obtención de los mapas de factores intrínsecos y extrínsecos resultó de la combinación de coberturas temáticas antes mencionadas; las cuales fueron clasificadas por su grado de susceptibilidad a deslizamientos de acuerdo a sus características. Posteriormente, éstas se interpolaron para obtener las áreas potencialmente vulnerables.

La superposición de los mapas de susceptibilidad a deslizamientos por factores intrínsecos y extrínsecos, dio como resultado el *mapa de vulnerabilidad potencial a deslizamientos de tierra*. Este se define de acuerdo a los niveles de susceptibilidad a deslizamientos de tierra, clasificados según lo indicado en el cuadro 5.

Cuadro 5. Definición de los niveles de susceptibilidad a deslizamientos de tierra

Niveles de Susceptibilidad	Clasificación
Muy Bajo	1
Bajo	2
Moderado	3
Alto	4
Muy Alto	5

Fuente: Ruiz y Molina, 2001

La metodología aplicada se describe en el siguiente flujograma.

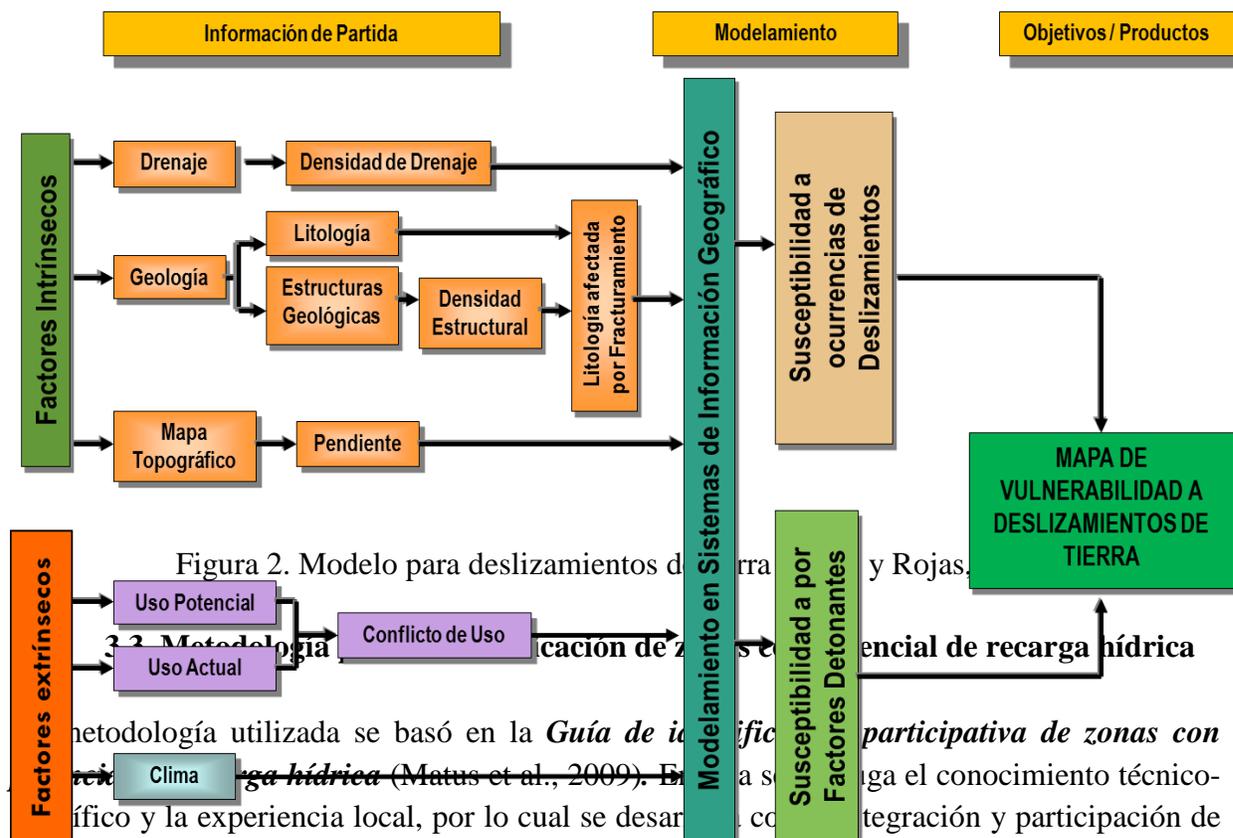


Figura 2. Modelo para deslizamientos de tierra

La metodología utilizada se basó en la *Guía de identificación participativa de zonas con recarga hídrica* (Matus et al., 2009). En esta metodología se integra el conocimiento técnico-científico y la experiencia local, por lo cual se desarrolló una metodología de integración y participación de actores locales, creando conciencia en ellos, a través de la evaluación y análisis realizado en conjunto con los actores locales en el lugar de estudio.

Siendo una metodología participativa que se desarrolla con la identificación de zonas de recarga hídrica basada en el análisis y la evaluación práctica de cinco elementos: *pendiente y micro relieve, tipo de suelo, tipo de roca, cobertura vegetal y uso del suelo*, estos son elementos que influyen directamente en la posibilidad de recarga hídrica, siendo también características importantes sobre las cuales la población tiene influencia. Estos elementos fueron determinados y posteriormente evaluados como se presenta en la figura 3.

La metodología se desarrolló empleando la herramienta “Map Calculator” del programa ArcGis 10.2, realizando una superposición de las unidades de mapeo (*tipo de suelo, pendiente, usos del suelo, geología, cobertura*) evaluadas según los parámetros propuestos en la metodología.

La zona en la que se aplicó la metodología se definió tomando en cuenta las características biofísicas y socioeconómicas, lo cual permitió definir las áreas prioritarias de evaluación, con

el propósito de implementar en el corto plazo medidas correctivas, de manejo, ordenamiento o de gestión, a fin de mejorar la disponibilidad de agua.

La ecuación propuesta por **Matus et al. (2009)**, se describe a continuación:

$$ZR = 0.27 (Pendiente) + 0.23 (Tipo de suelo) + 0.12 (Tipo de roca) + 0.25 (Cobertura vegetal) + 0.13 (Uso de la tierra)$$

La ecuación descrita se puede esquematizar en la siguiente figura.

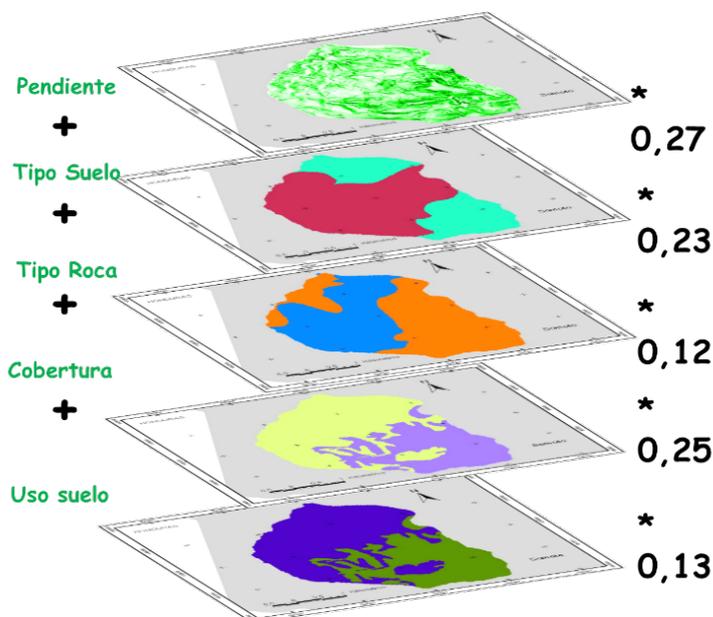


Figura 3. Esquema de ecuación propuesta por Matus et al. (2009)

Los resultados obtenidos se clasifican según lo establecido en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Clasificación según la capacidad de recarga hídrica

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
----------	----------

La metodología aplicada se describe en el siguiente flujograma.

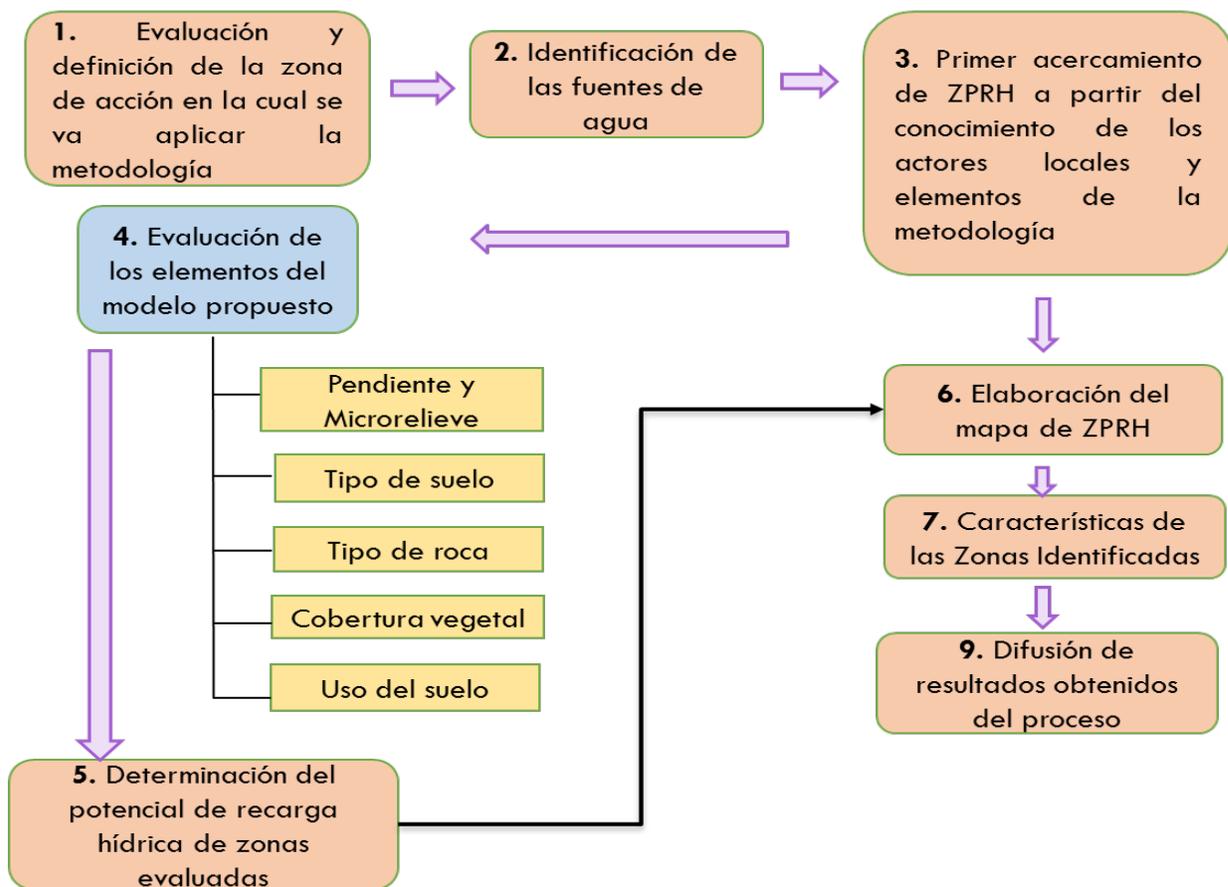


Figura 4. Modelo para identificación de zonas de recarga hídrica.

Adaptado (Matus, Faustino y Jiménez, 2009)

#### IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1.- Análisis de la vulnerabilidad potencial a deslizamientos de tierra

### 4.1.1. Análisis de factores intrínsecos

El resultado del análisis de los factores intrínsecos resultantes de la combinación de los mapas temáticos de *drenaje*, *geología*, y *pendiente*, se presenta en el cuadro 7; se muestran los niveles de vulnerabilidad y la proporción de áreas correspondiente a cada una de ellos.

Cuadro 7. Niveles de vulnerabilidad potencial por factores intrínsecos

Niveles de vulnerabilidad	Área km <sup>2</sup>	Área en %	Clasificación
<i>Muy Baja</i>	1.61	4.40	1
<i>Baja</i>	2.65	7.23	2
<i>Moderada</i>	12.92	35.38	3
<i>Alta</i>	0.04	0.11	4
<i>Muy Alta</i>	19.30	52.85	5

En el cuadro 7 se observa que el nivel de Moderada susceptibilidad a deslizamientos es representado por el 35.38% del área total, este nivel es relacionado a la pendiente y una litografía con abundante presencia de fallas existentes sobre una geología consistente en piroclastos y sedimentos volcánicos, lo que vuelve a los suelos más inestables bajo la presión de fenómenos naturales como lluvias de alta intensidad.

Los niveles de Alta y Muy Alta Vulnerabilidad representan el 52.94% del total del área de la subcuenca; estas áreas corresponden a zonas con pendiente mayores a 35% de inclinación, que, junto a suelos poco permeables, aumenta la susceptibilidad de estas zonas a sufrir deslizamientos.

El nivel Muy baja (4.42%) y Baja (7.26%) susceptibilidad suman el 11.68%, que corresponde a áreas con menos presión a la ocurrencia de deslizamientos de tierra, también se relaciona el porcentaje de pendiente, el cual en estas áreas es menor, por lo cual disminuye la proporción de terreno con la inclinación suficiente para que se dé un deslizamiento de tierra.

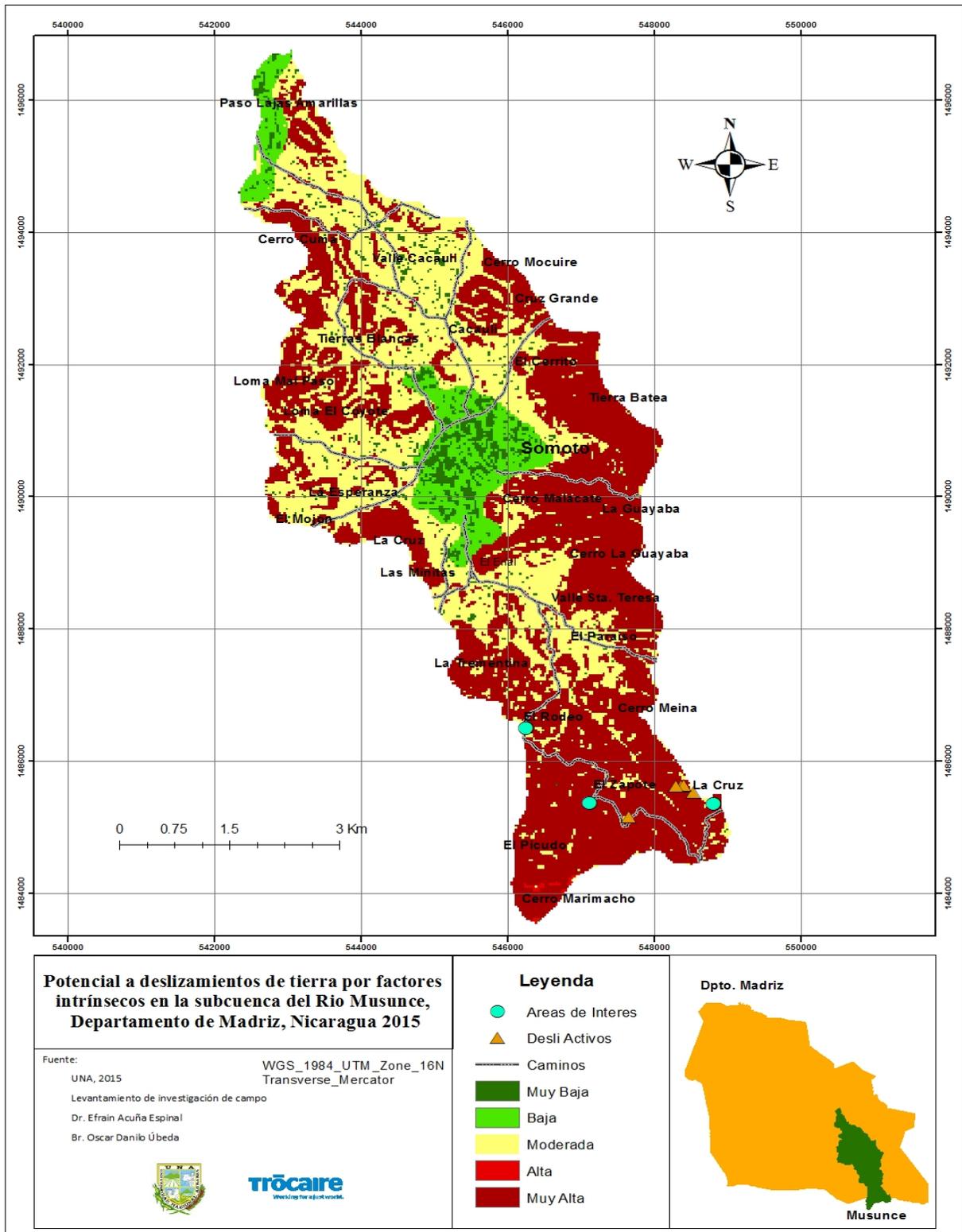


Figura 5. Mapa de potencial a deslizamientos de tierra por factores intrínsecos

#### 4.1.2.- Análisis de factores extrínsecos

Los factores detonantes se ven influenciados en su mayoría por las actividades humanas que se realizan en el medio, y el cambio que estas provocan en el entorno natural, trae consigo grandes consecuencias (Pérez y Rojas, 2005).

Cuadro 8. Niveles de vulnerabilidad potencial por factores extrínsecos

Nivel de vulnerabilidad	Área km <sup>2</sup>	Área (%)	Clasificación
<i>Bajo</i>	3.49	9.49%	2
<i>Moderado</i>	3.28	8.92%	3
<i>Muy Alto</i>	29.99	81.58%	5

En el cuadro 8, se observa que los rangos de vulnerabilidad evaluados son **Bajo, Moderado y Muy Alto**; esto en relación al proceso de valoración asignado a los mapas temáticos, según las características de susceptibilidad a deslizamientos de cada uno de ellos.

Como resultado de la combinación de los factores detonantes, se obtuvieron los niveles de vulnerabilidad. Los niveles de vulnerabilidad Bajo y Moderado correspondientes al 9.48% y 8.93% respectivamente, representado el 18.41% del área total de la subcuenca; por tanto, el 81.5% del área de la subcuenca presenta un nivel de susceptibilidad Muy Alto, esto se relaciona con que zonas frágiles están siendo mal utilizadas y en pocos casos se observan áreas donde se desarrollan actividades productivas con prácticas de conservación de suelos.

El 81.5% del área corresponde a un nivel de vulnerabilidad Muy Alto, debido a que el uso de los suelos por los habitantes de estas zonas sobrepasa la capacidad de uso de los mismos. Durante la etapa de campo se observaron actividades agrícolas en áreas cuyas características las hacen aptas para conservación del bosque. Este desequilibrio puede fácilmente jugar un papel detonante, debido a que las malas prácticas pueden aumentar las repercusiones ante la ocurrencia de un fenómeno natural, como lluvias de alta intensidad en periodos prolongados.

Los factores intrínsecos que más influyen en la susceptibilidad a la ocurrencia de deslizamientos son la geología y la pendiente (condicionante), y el factor extrínseco de mayor influencia es el conflicto de uso de tierra (detonante).

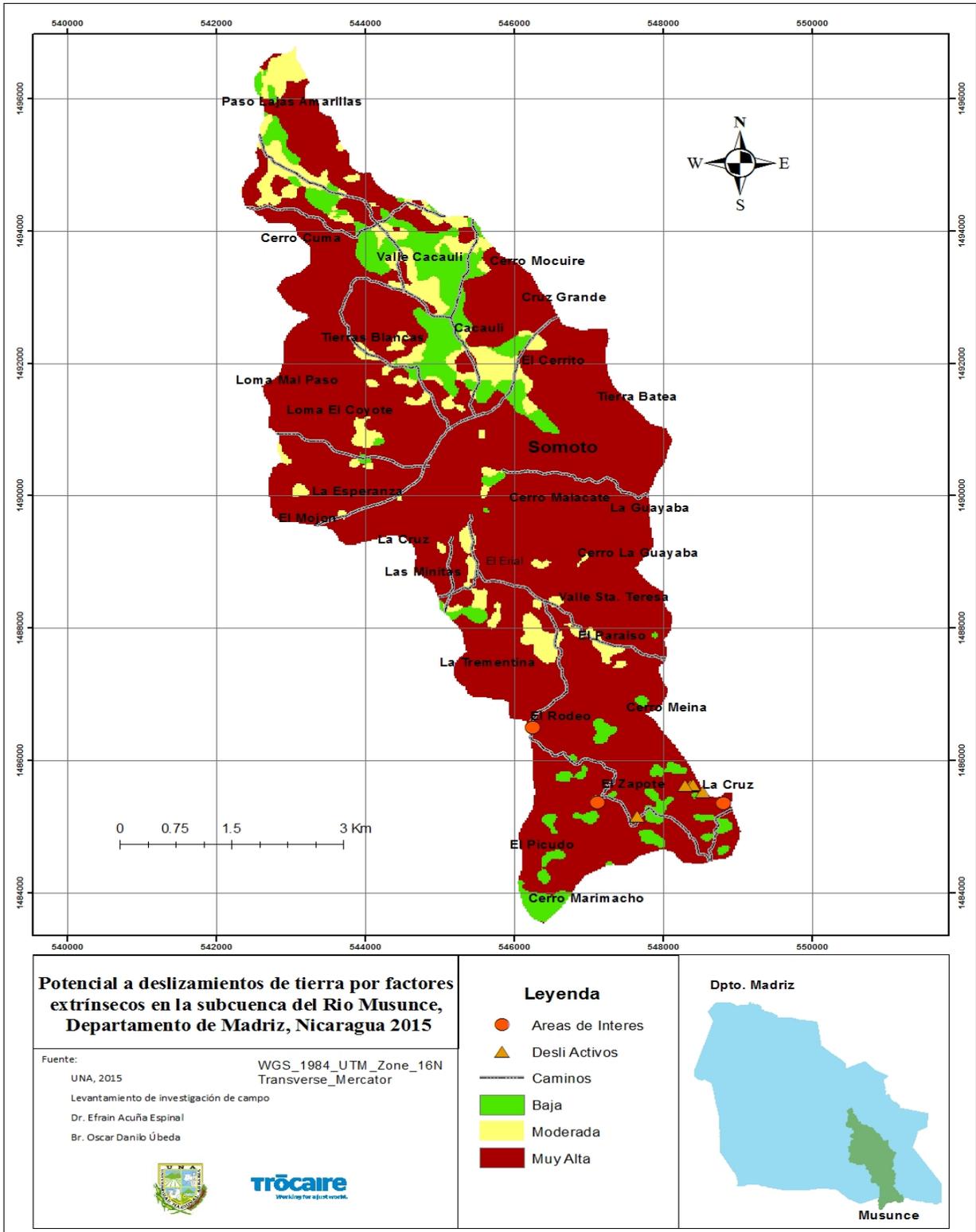


Figura 6. Mapa de potencial a deslizamientos de tierra por factores extrínsecos

#### 4.1.2.1.- Análisis del factor conflictos de uso del suelo

El mapa de conflicto de uso de suelo hace evidente la presión provocada por la intervención humana sobre los recursos naturales de la subcuenca del río Musunce; en el siguiente cuadro se hace visible que las actividades agrícolas realizadas actualmente no corresponden a la capacidad productiva o vocación natural de los suelos, volviéndose de esta manera un factor detonante importante, por ser de carácter antrópico.

En el cuadro 9 se observa que los niveles de conflictos de uso de la tierra Bajo (9.46%) y Moderado (8.96% del área) cubren el 18.42% del área total de la subcuenca. Hay que resaltar que el 81.57% del área no se encuentra en equilibrio; es decir, el uso actual del suelo no se encuentra en equilibrio con el uso potencial del mismo, esto significa que la mayor parte del área de la subcuenca podría tener muy alta susceptibilidad a sufrir un deslizamiento, según este factor.

Cuadro 9. Niveles de susceptibilidad por los conflictos de uso del suelo

Niveles de conflicto de uso	Área km <sup>2</sup>	Área (%)	Clasificación
<i>Bajo</i>	3.49	9.49	2
<i>Moderado</i>	3.28	8.92	3
<i>Muy Alto</i>	29.99	81.58	5

Al hecho que la mayor parte del área de la subcuenca está siendo mal utilizada, hay que agregar que algunos estudios indican que las pendientes mayores al 15 % poseen la suficiente inclinación para que en ellas ocurran deslizamientos de tierra. En este sentido, el hecho que 53.76 % del área de la subcuenca presenta pendientes mayores al 15%, es muy significativo como factor condicionante para que ocurran deslizamientos de tierra en periodos de lluvias prolongadas y de alta intensidad.

Cuando el suelo no cuenta con ninguna cobertura, la acción erosiva de la lluvia y el viento afectan de manera más directa el suelo, deteriorándolo con más facilidad, sumado a las presiones ejercidas por la actividad antrópica. La cobertura de árboles es importante, ya que no solo provee de protección, sino que ayuda a mejorar la estructura del suelo y facilita la infiltración del agua; asimismo, brinda mejor estabilidad sirviendo sus raíces para disminuir los desplazamientos del suelo.

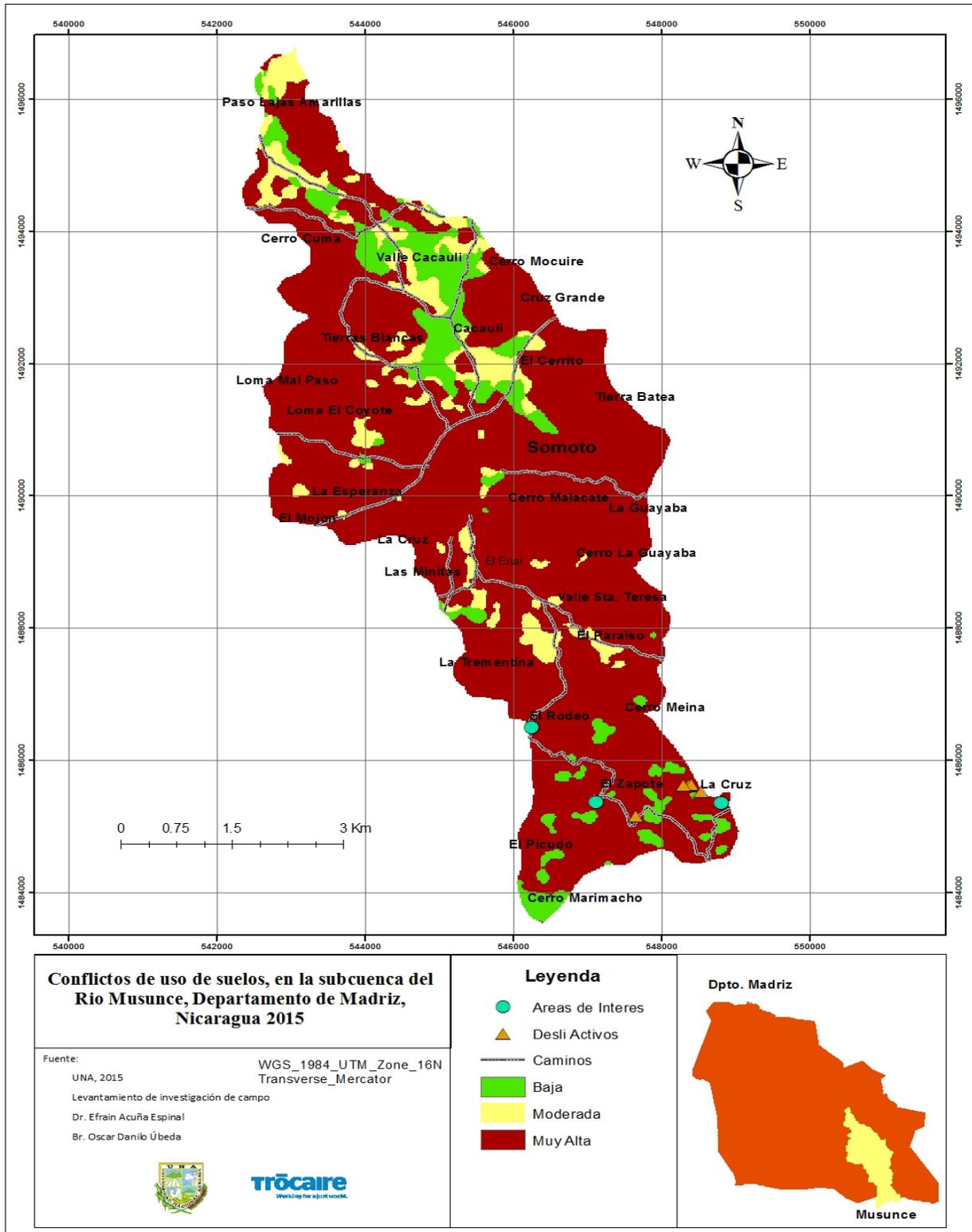


Figura 7. Mapa de conflicto de uso de suelos

#### 4.1.3.- Vulnerabilidad potencial a desplazamientos de tierra en la subcuenca del río Musunce

En el cuadro 10 se puede apreciar que las áreas de Muy baja y Baja vulnerabilidad potencial son pocas, ya que la suma de estos dos niveles representa el 20.51% del área total de la subcuenca; estas áreas corresponden a lugares en donde la pendiente no es mayor a 15%. El nivel de moderada susceptibilidad cubre el 30.25% del área de la subcuenca, en lugares tales como, El Cerrito, San Joaquín, Loma del Coyote, Tierras Blancas, La Esperanza, El Mojón, El Erial, El Paraíso, Cerro Volcán de Somato.

Cuadro 10. Niveles de vulnerabilidad potencial a deslizamientos de tierra

Niveles de Susceptibilidad	Área km <sup>2</sup>	Área (%)	Clasificación
<i>Muy Bajo</i>	2.32	6.38	1
<i>Bajo</i>	5.12	14.07	2
<i>Moderado</i>	11.0	30.24	3
<i>Alto</i>	7.84	21.55	4
<i>Muy Alto</i>	10.1	27.76	5

Los niveles Alto y Muy alto representan el 21.55% y 27.76% del área respectivamente; siendo la sumatoria de ambos el 49.31% del área total de la subcuenca, comprendiendo áreas formadas sobre depósitos fluviales con pendientes entre 30 y 45% o mayores de 45%, altamente susceptibles a sufrir deslizamientos; entre éstas se encuentran las localidades; Cerro Cuma, Tierras Blancas, La Cruz Grande, Cerro Piedra Bateada, El Cerrito, Cerro Malacate, Cerro La Guayaba, La Guayaba, Valle Sta. Teresa, Cerro Meina, El Rodeo, El Zapote, Cerro El Picudo, Cerro El Marimacho, Cerro La Trementina, Las Minitas, El Erial, El Mojón, El Coyote, Loma Mal Paso.

Sin embargo, aunque los lugares de Alta y Muy Alta susceptibilidad potencial a deslizamientos representan casi el 50% del área de la subcuenca, son a su vez zonas en las que sus habitantes son conscientes del riesgo que representa vivir en estas áreas, y por tanto están preparadas y organizadas para actuar en caso de presentarse un fenómeno natural que podría provocar movimientos de tierra.

Se comprobó en el campo que hay deslizamientos activos en comunidades inmersas dentro de áreas vulnerables, entre las que se encuentran La Cruz, El Portillo de la Cruz, en donde existen viviendas que están muy expuestas a esta amenaza. En estos sitios también se encontraron huellas de deslizamientos anteriores que se desencadenaron ante las afectaciones del huracán Mitch (1998). En el mapa se aprecia que los puntos identificados concuerdan con las áreas de alta vulnerabilidad a deslizamientos, reforzando la confiabilidad de este modelo.

La identificación de estos sitios es importante, ya que, si bien estos movimientos pueden activarse por lluvias muy fuertes, también se puede contribuir en gran medida a enfrentar los factores que tienden a acelerar este proceso, tal es el caso de la degradación ambiental provocada por la actividad humana.

El reconocimiento de los lugares susceptibles a deslizamientos permite realizar obras que controlen o atenúen los movimientos de tierra, a través de la implementación de obras civiles y de canalización y estabilización de suelos. Asimismo, es de importancia que los habitantes y ocupantes de estas tierras sean conscientes que son vulnerables ante estos fenómenos, lo que contribuirá a que estén preparados para actuar en caso de un desastre.

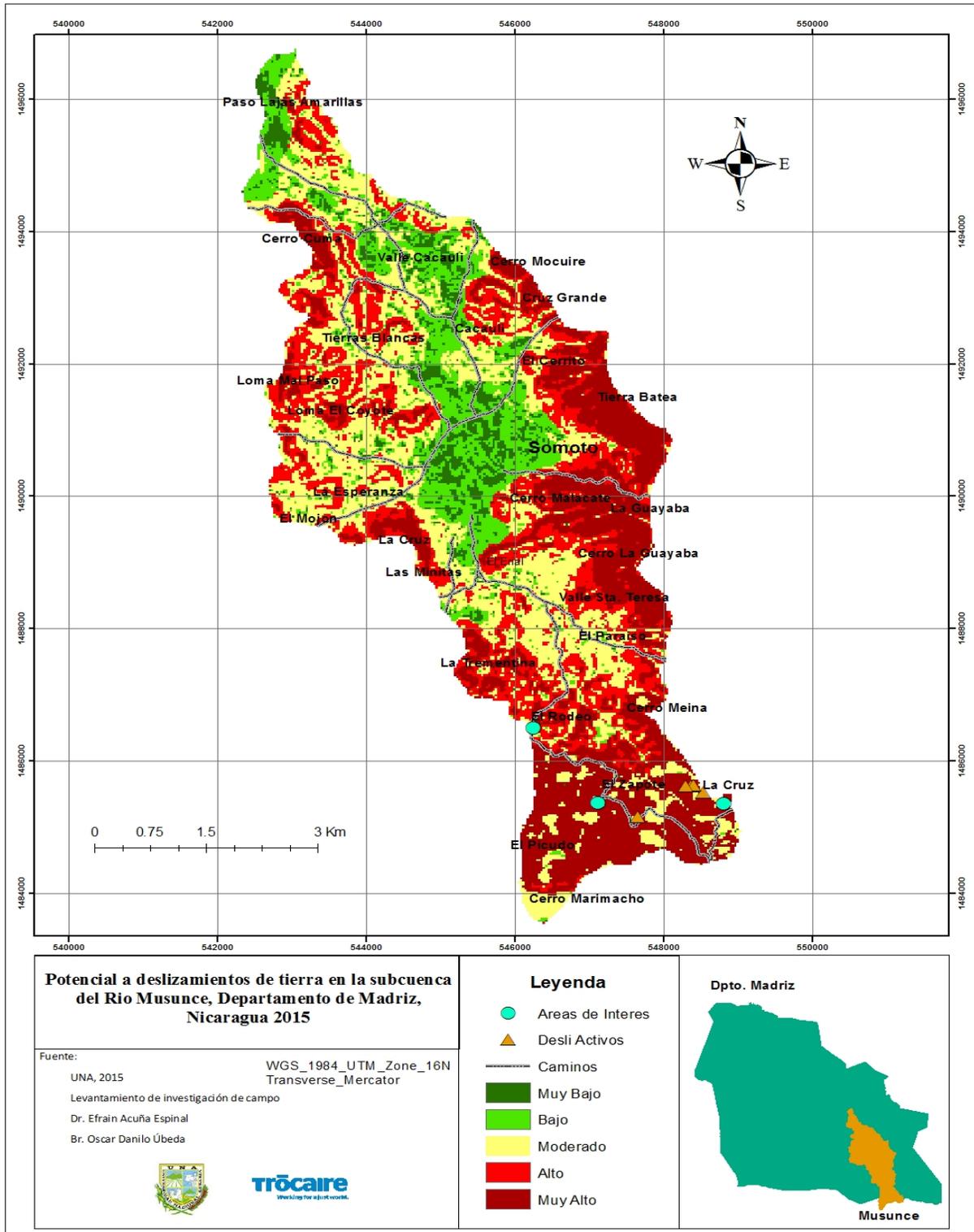


Figura 8. Mapa de potencial a deslizamientos de tierra en la subcuenca del río Musunce, Departamento de Madriz 2015

## 4.2. Identificación de zonas potenciales de recarga hídrica (ZPRH)

### 4.2.1. Análisis de las zonas potenciales de recarga hídrica

La elaboración del mapa de ZPRH, se desarrolló empleando la herramienta “Map Calculator” del programa ArcGis 10.2, realizando una superposición de las unidades de mapeo (*tipo de suelo, pendiente, usos del suelo, geología, cobertura*) evaluadas según los parámetros propuestos en la metodología. Algunas de estas unidades de mapeo fueron generadas en la evaluación de vulnerabilidad a deslizamientos.

Cuadro 11. Zonas potenciales de recarga hídrica

ZPRH	Área km <sup>2</sup>	Área (%)	Clasificación
<i>Muy Baja</i>	0.09	0.24	1
<i>Baja</i>	25.65	70.33	2
<i>Moderada</i>	10.44	28.62	3
<i>Alta</i>	0.29	0.79	4

En el cuadro 11 se observan los resultados de la metodología utilizada, en los cuales los niveles potenciales de recarga hídrica en la subcuenca Musunce, los niveles de muy Bajo y Bajo potencial de recarga hídrica suman el 70.59% del área total, lo cual indica que un poco más de dos tercios del territorio tienen bajo potencial para alimentar fuentes de agua.

El nivel moderado representa el 28.59% del área de la subcuenca; los sitios incluidos en esta categoría tienen mayor potencial de recarga hídrica, debido al material geológico compuesto de depósitos aluviales del periodo cuaternario; las características del suelo y las rocas sedimentarias permiten encontrar depósitos de agua subterránea.

El nivel de alta probabilidad de recarga hídrica se compone del 0.79% del área de la subcuenca; la geología de esta zona se compone de depósitos coluviales y rocas sedimentarias y una alta cobertura vegetal; en la subcuenca son escasas las áreas con estas características, lo que sumado a las malas prácticas de uso y manejo de suelos hace que el Alto potencial de recarga hídrica sea muy reducido.

Las zonas de recarga hídrica son una parte importante del sistema hidrológico de una cuenca hidrográfica, por lo que cualquier efecto negativo se verá proporcionalmente reflejado en el aprovechamiento de la cantidad y calidad de agua. El crecimiento demográfico, deforestación, expansión de la frontera agrícola, son factores que reducen la permeabilidad de los suelos.

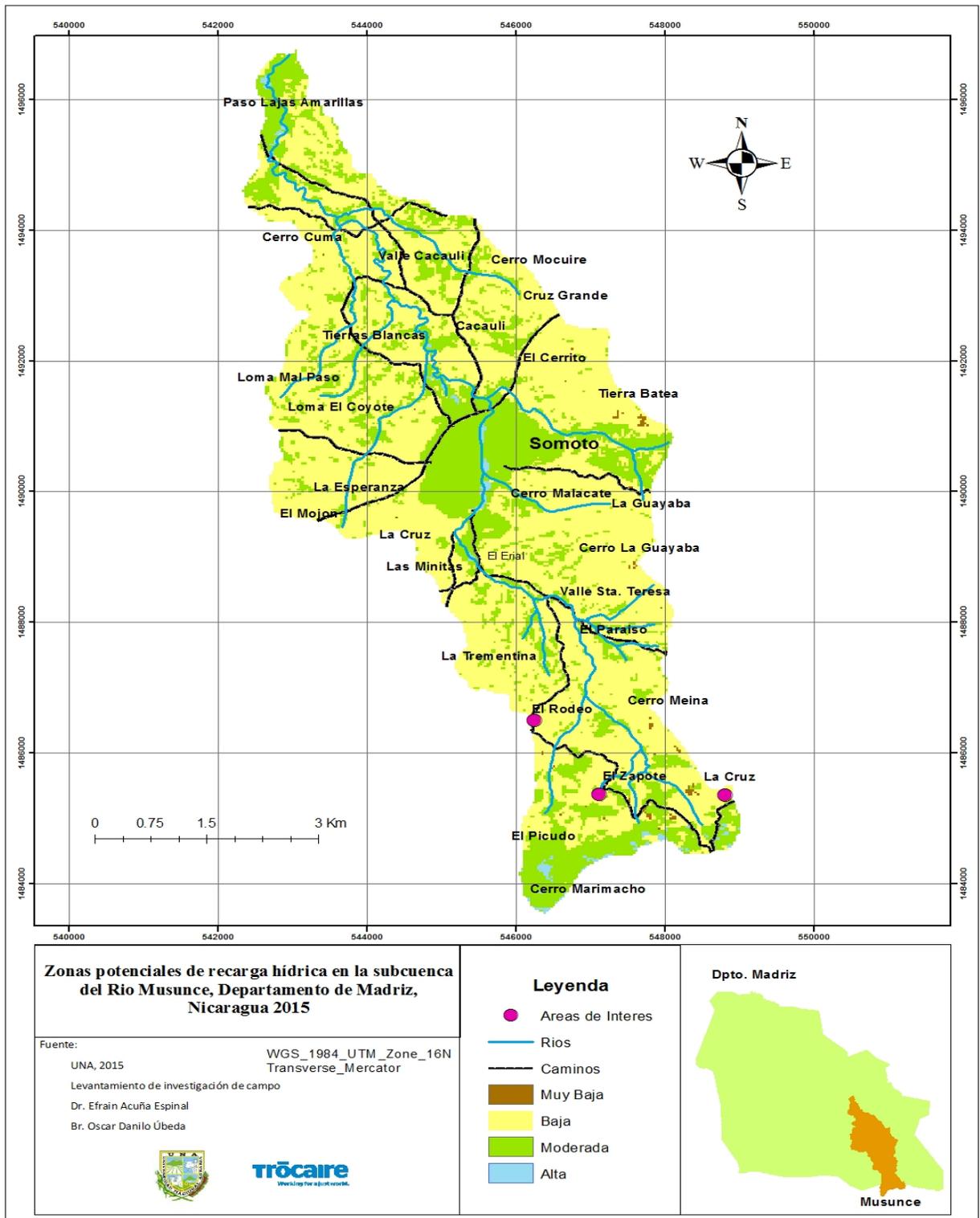


Figura 9. Mapa de zonas potenciales de recarga hídrica, en la subcuenca del río Musunce, Departamento de Madriz, 2015

#### 4.2.2. Resultados de la evaluación en campo de las zonas potenciales de recarga hídrica

##### a. Pendiente

La pendiente se evaluó en campo mediante una estimación visual, con el acompañamiento de los actores locales en las áreas seleccionadas, obteniendo los resultados que se presentan en el cuadro 12.

Cuadro 12. Porcentaje de pendientes en las zonas potenciales de recarga hídrica

Sitio	Observaciones	Pendiente (%)
<i>El Rodeo</i>	Parte baja	6 – 15 %
	Parte media	6 – 15 %
	Parte alta	45 – 65 %
<i>La Cruz</i>	Parte baja	6 – 15 %
<i>El Zapote 2</i>	Parte media	45 – 65 %
	Parte alta	45 – 65 %

Cuadro 13. Análisis de capacidad de recarga hídrica según la pendiente

Pendiente (%)	Posibilidad de recarga	Ponderación
0 – 6 %	Muy Alta	5
6 – 15 %	Alta	4
15 – 45 %	Moderada	3
45 – 65 %	Baja	2
> 65 %	Muy Baja	1

La recarga hídrica dependerá del tiempo de contacto entre el agua y la superficie del terreno, por lo cual, se relaciona con el grado de inclinación que posea el terreno; al presentarse una pendiente fuerte se favorece la escorrentía superficial, ya que disminuye el tiempo de contacto y por tanto la infiltración del agua en el suelo. Sin embargo, al poseer pendientes de menor grado, se maximiza el contacto del agua con el suelo e incrementa la infiltración (Matus,2009)

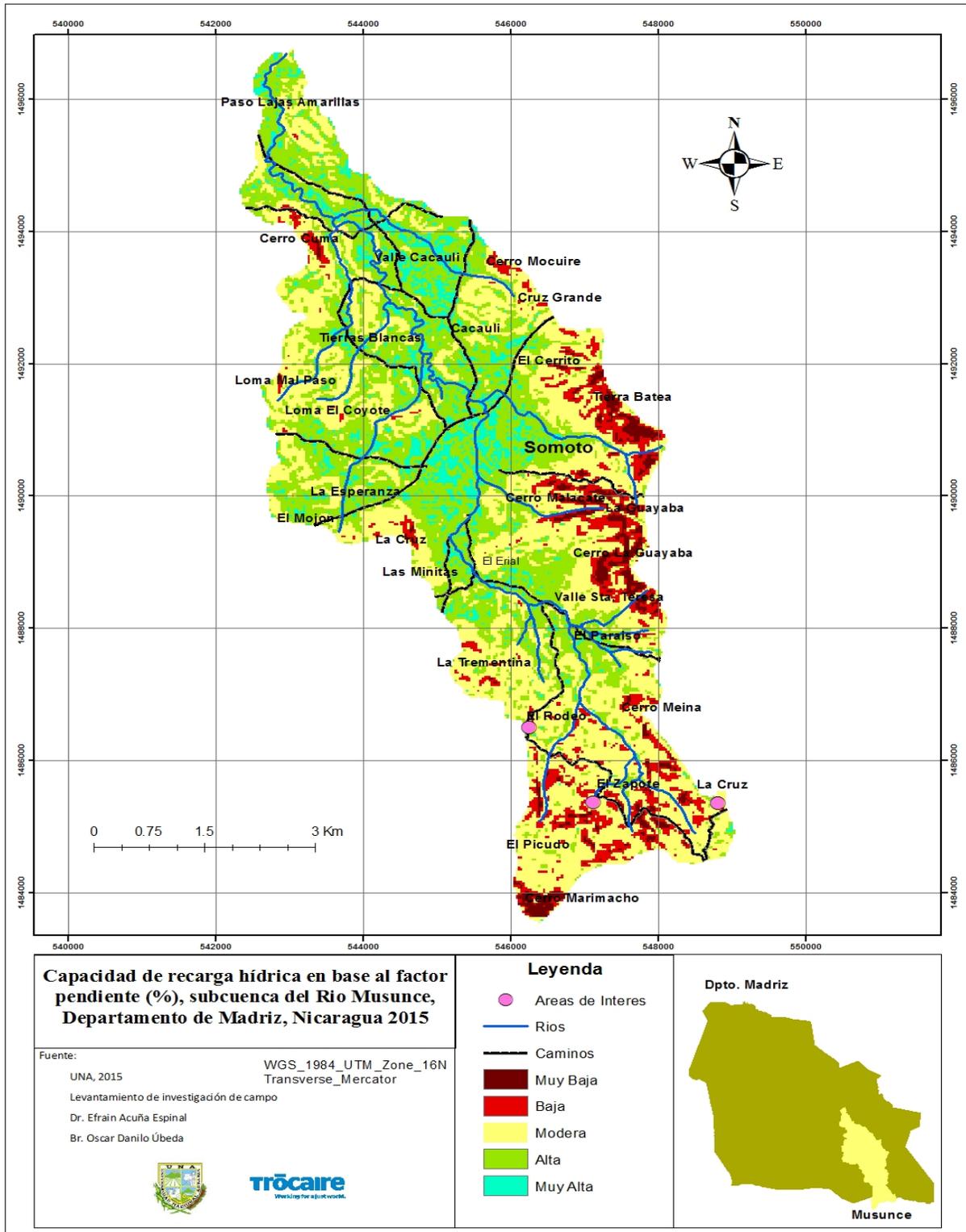


Figura 10. Mapa de capacidad de recarga hídrica en base al factor pendiente (%)

Cuadro 14. Capacidad de recarga hídrica en la subcuenca según la pendiente

Capacidad de recarga hídrica según la pendiente	Área Km <sup>2</sup>	Área (%)	Clasificación
<i>Muy Alta</i>	3.2445	8.80	5
<i>Alta</i>	13.7969	37.44	4
<i>Moderada</i>	15.7504	42.74	3
<i>Baja</i>	2.9265	7.94	2
<i>Muy Baja</i>	1.1433	3.10	1

Como se muestra en la figura 10, las áreas con capacidad de recarga hídrica estimada como Muy Alta, son las más propicias para que ocurra el proceso de recarga; debido al bajo porcentaje de pendiente el agua de lluvia permanece más tiempo sobre la superficie del suelo, siendo mayor la cantidad de agua que podrá infiltrarse en el suelo. Estas áreas representan apenas el 8.80% del área total de la subcuenca y en su mayoría estas áreas se sitúan en el recorrido del río Musunce, que incluye el casco urbano de la ciudad de Somoto y el Valle de Caculai.

Las áreas que tiene una capacidad Alta de recarga hídrica conforma el 37.44% del área de la subcuenca, en las cuales predominan pendientes de 6-15% y se encuentra a lo largo de la subcuenca desde el Valle Sta. Teresa, La Esperanza, Somoto, Tierras Blancas, Caculai, hasta el Paso de Lajas Amarillas.

De acuerdo a las características de la subcuenca, en ella predomina una capacidad de recarga hídrica Moderada con el 42.74% del área total, correspondiendo a áreas con pendientes entre 15-45%. Mientras que la suma de las áreas de Baja y Muy Baja capacidad de recarga hídrica representan el 11.04% del área de la subcuenca, correspondiente a zonas con pendientes que van desde los 45% hasta mayores de 65% de pendiente, en las cuales debido a la fuerte inclinación se facilita una escorrentía más rápida, por lo tanto, se reduce la cantidad de agua que podrá infiltrarse al suelo.

## b. Tipo de Roca (Geología)

Las rocas existentes en la subcuenca del río Musunce derivan de las siguientes formaciones geológicas Qc: Depósitos coluviales; Tmm: Grupo Matagalpa; Q: Depósitos aluviales, coluviales y suelos residuales indiferenciados; Tmca: Flujo andesítico, depósitos piroclásticos y Flujo de Basalto). En las áreas evaluadas en campo se identificaron rocas moderadamente permeables, suaves, conectadas entre sí; arenas finas, areniscas, con poca cementación; así como rocas poco permeables, duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas, combinación de gravas con arcillas.

Cuadro 15. Tipo de roca en las zonas potenciales de recarga hídrica

Sitio	Observaciones	Tipo de Roca
<i>El Rodeo</i>	Parte baja	Rocas poco permeables
	Parte Media	Rocas poco permeables
	Parte alta	Rocas poco permeables
<i>La Cruz</i>	Parte Baja	Rocas permeables
<i>El Zapote 2</i>	Parte media	Rocas poco permeables
	Parte alta	Rocas poco permeables

Cuadro 16. Análisis de capacidad de recarga hídrica según la composición rocosa

Rocas	Posibilidad de recarga	Ponderación
Rocas suaves, muy permeables.	Muy alta	5
Rocas moderadamente permeables, semi suaves.	Moderada	3
Rocas poco permeables, un poco duras.	Baja	2

Las características de las rocas; porosidad y permeabilidad, son las que principalmente determinan la recarga hídrica. El tipo de roca permitirá determinar si la recarga hídrica es subsuperficial o profunda de aguas subterráneas, a lo cual se denomina acuífero. Así mismo, es posible determinar si hay existencia de una capa de material rocoso o arcilla impermeable, que no permite el paso de agua hacia el acuífero o pudiéndose desplazar a través de flujos de agua subsuperficial con movimiento horizontal que brota en un manantial o alimenta a un río. (Matus et al, 2010).

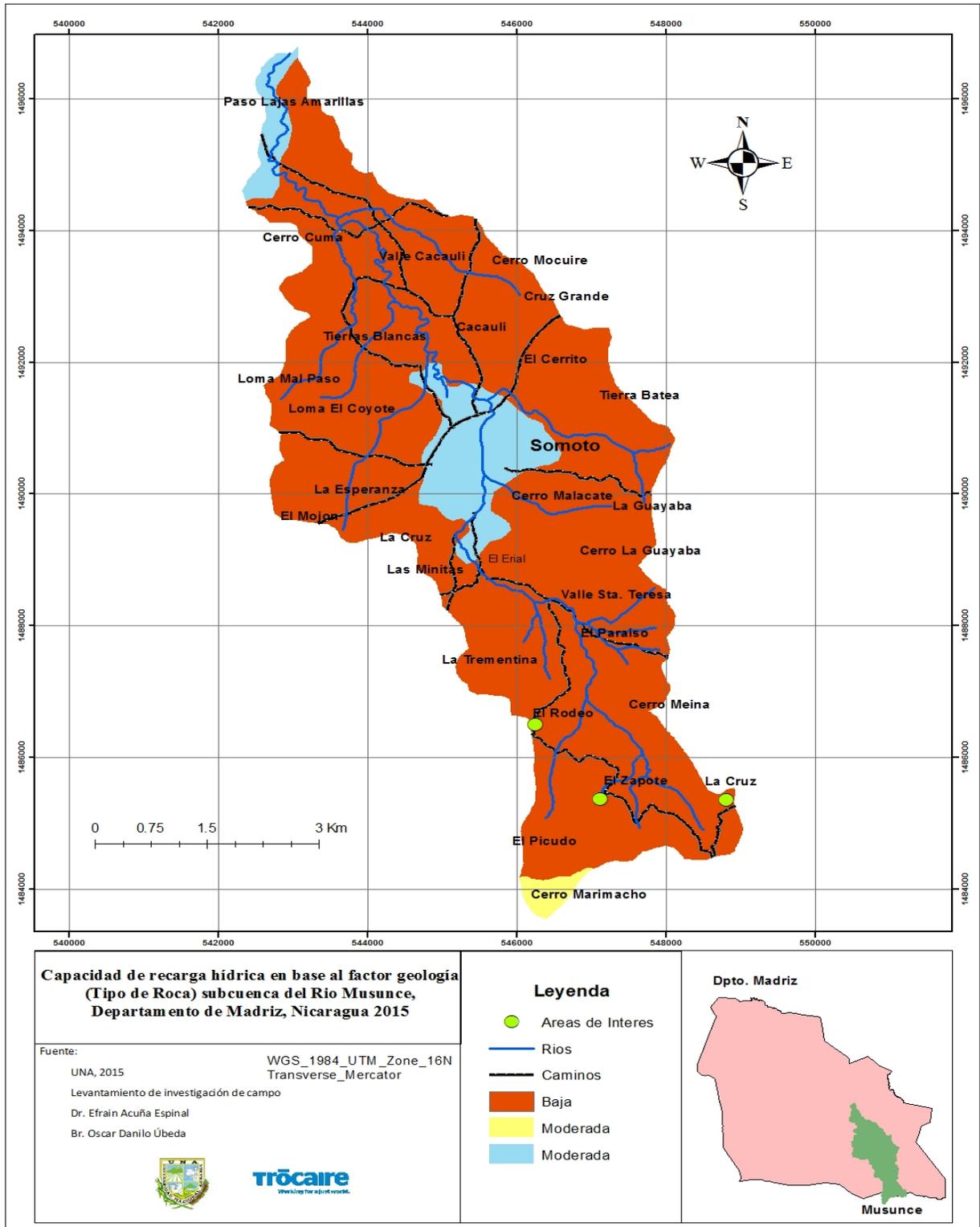


Figura 11. Mapa de capacidad de recarga hídrica en base al factor geología (tipo de roca)

Cuadro 17. Capacidad de recarga hídrica en la subcuenca según el tipo de roca

Capacidad de recarga hídrica según el Tipo de Roca	Área en Km <sup>2</sup>	Área (%)	Clasificación
<i>Muy Alta</i>	3.659	9.92	5
<i>Moderada</i>	0.3593	0.98	3
<i>Baja</i>	32.8417	89.12	2

En el cuadro 17, se observa que en la subcuenca se encuentran tres tipos de formaciones rocosas, en donde la capacidad de recarga hídrica calificada como Muy Alta representa un 9.92% del área total de la subcuenca, estas son rocas suaves y permeables. Sin embargo, en uno de los lugares más significativos y donde se encuentran este tipo de rocas es donde está asentada la ciudad de Somoto, y el segundo se encuentra al Norte de la subcuenca en las cercanías de Paso de Lajas Amarillas.

El 0.98% del área de la subcuenca está constituido por rocas que permiten una Moderada capacidad de infiltración de agua; esta área corresponde al Sur de la subcuenca en la montaña Tepepxomothl en el interior de la reserva natural la Patasta, en donde se encontró rocas moderadamente permeables y semi suaves. El 89.12% de la subcuenca está constituido por formaciones de rocas duras y poco permeables, zonas con Baja capacidad de recarga hídrica, dato que fue reflejado en las pruebas de infiltración realizadas en campo.

### c. Tipo de Suelo

Para realizar la evaluación el tipo de suelo en función de la capacidad de recarga, se utilizaron dos variables: la textura del suelo (determinada a través del tacto) y la capacidad de infiltración de una lámina de agua equivalente a una pulgada de lluvia, mediante el uso de un cilindro de infiltración de 13 cm de diámetro. Los resultados se muestran en los cuadros 18 y 19. En la figura 12, es posible apreciar que las áreas de muestreo coinciden con la clasificación de los tipos de suelo.

Cuadro 18. Tipo de suelo en las zonas potenciales de recarga hídrica

Sitio	Observaciones	Textura
<i>El Rodeo</i>	Parte baja	Franco arcillosa
	Parte media	Franco arcillosa
	Parte alta	Franco arcillosa
<i>La Cruz</i>	Parte alta	Franco arcillosa
<i>El Zapote 2</i>	Parte media	Franca
	Parte alta	Franca

Cuadro 19. Análisis de capacidad de recarga hídrica según el tipo de suelo

Textura	Posibilidad de recarga	Ponderación
Franco arenosa a arenosa.	Muy alta	5
Suelos franco limoso.	Moderada	3

Las zonas de recarga deben tener alta capacidad de infiltración, lo cual tiene que ver con el tipo de suelo. Los suelos de textura gruesa, porosos y, por lo tanto, permeables tienen gran capacidad de recarga hídrica. Por el contrario, los suelos de textura fina, arcillosos, pesados y compactados impiden o dificultan la recarga hídrica. Con el fin de caracterizar las zonas potenciales de recarga hídrica, los actores locales evalúan en campo dos elementos que influyen en la permeabilidad del suelo: la textura y la capacidad de infiltración. (Matus, 2010)

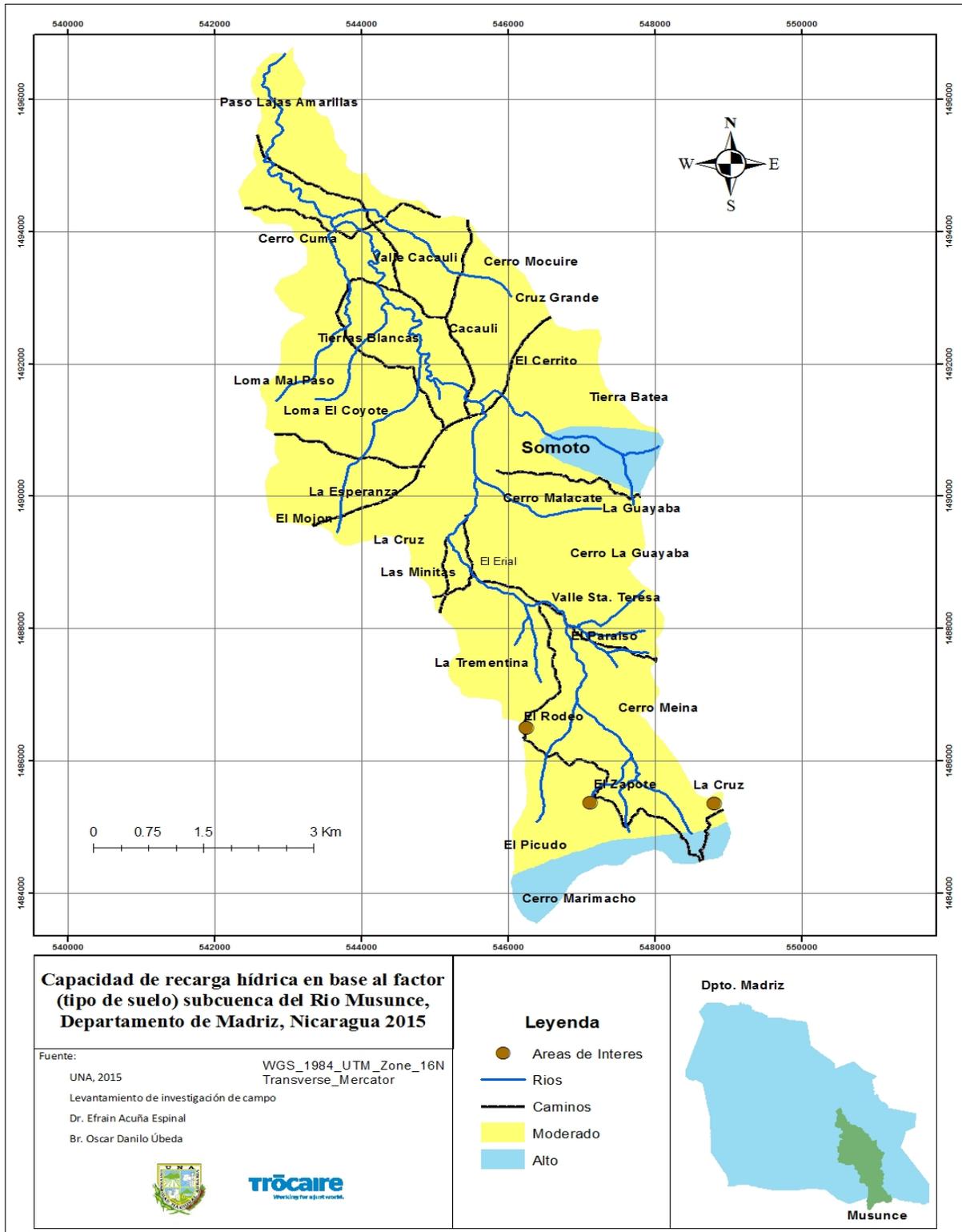


Figura 12. Mapa de capacidad de recarga hídrica en base al factor tipo de suelo

Cuadro 20. Capacidad de recarga hídrica en la subcuenca según el tipo de suelo

Capacidad de recarga hídrica según el Tipo de Suelo	Área Km <sup>2</sup>	Área (%)	Clasificación
<i>Muy Alta</i>	2.4188	6.56	5
<i>Moderada</i>	34.4412	93.46	3

En la figura 12, se aprecian dos niveles de capacidad de recarga en la subcuenca del río Musunce, que corresponden a suelos de textura franco arenosa que tienen una alta capacidad de recarga hídrica. El nivel Muy Alta representan el 6.56% del área de la subcuenca, la cual se ubica al Este de la ciudad de Somoto.

Los suelos franco limosos por sus características permiten una Moderada capacidad de recarga hídrica, representando el 93.46% del área de la subcuenca; sin embargo, son suelos que permiten una menor posibilidad de recarga hídrica comparado con la categoría anterior. Entender las características de estos suelos, su distribución en la subcuenca y su relación con la capacidad de infiltración es de utilidad ya que permite cuidar elementos como la erosión y compactación de los mismos

#### d. Cobertura Vegetal

El porcentaje de cobertura arbórea se determinó mediante la estimación visual del área analizada, en donde se analiza en porcentaje de vegetación que cubre el suelo por m<sup>2</sup>, obteniendo como resultado:

Cuadro 21. Porcentaje de cobertura vegetal en las zonas potenciales de recarga hídrica

Sitio	Observaciones	Cobertura Vegetal (%)
<i>El Rodeo</i>	Parte baja	< 30 %
	Parte media	> 80 %
	Parte alta	> 80 %
<i>La Cruz</i>	Parte media	> 80 %
<i>El Zapote 2</i>	Parte media	50 – 70 %
	Parte alta	> 80 %

La cobertura vegetal influye en disminuir o aumentar la escorrentía superficial debido a que una mayor cobertura permite mayor tiempo de contacto del agua con la superficie del suelo, esto favorece la infiltración del agua. Por lo cual, un porcentaje de la lluvia es interceptada por la cobertura vegetal, y es necesario considerar la profundidad y densidad de las raíces y la capacidad de retención del dosel vegetal (Matus, 2010).

Cuadro 22. Análisis de la capacidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal

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

Ante la presencia de cobertura vegetal multiestratificada existe mayor recarga hídrica debido a que esto, ayuda a conservar las propiedades del suelo, que, a su vez, también favorecerán la recarga hídrica (Matus et al, 2010).

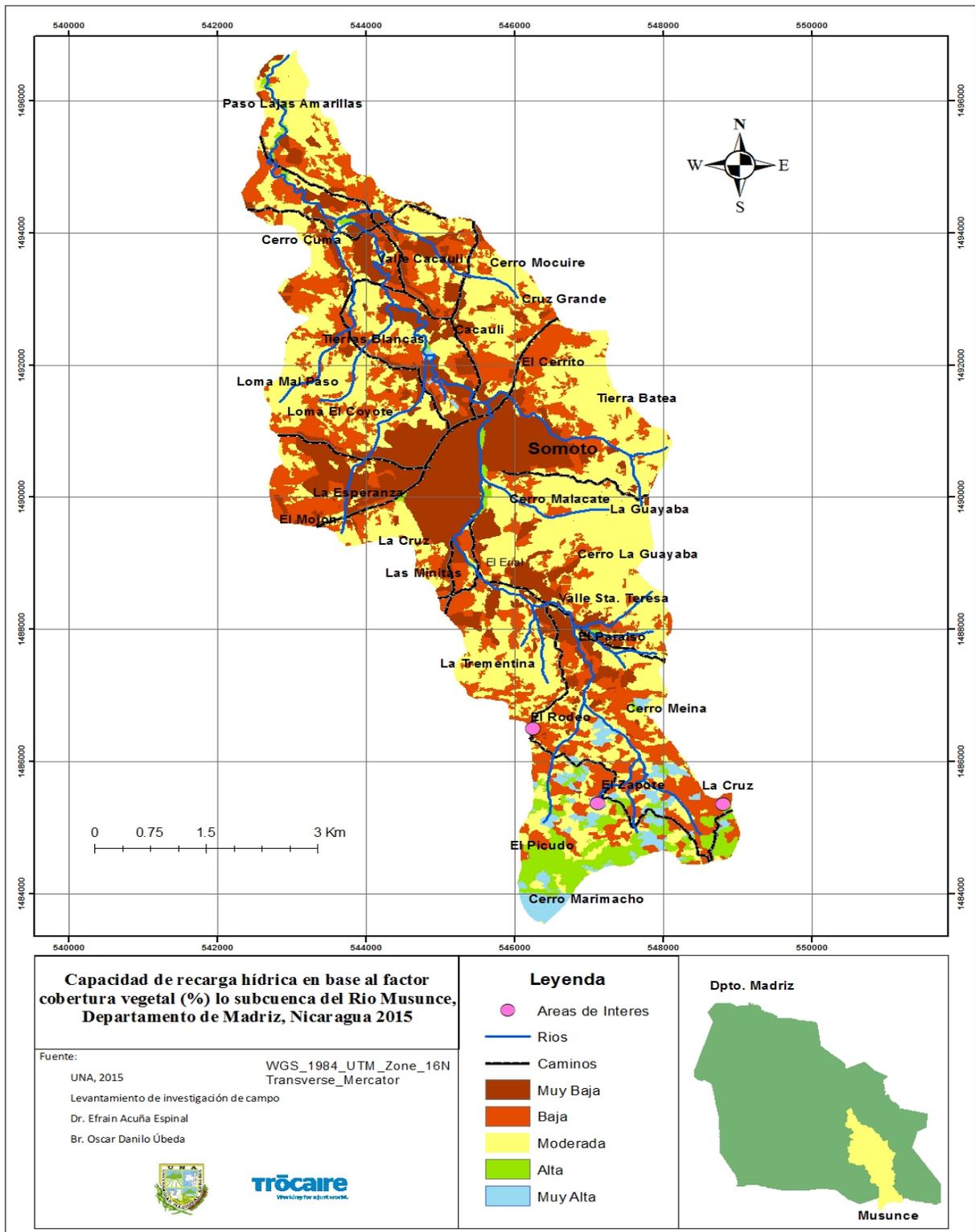


Figura 13. Mapa de capacidad de recarga hídrica en base al factor cobertura vegetal (%)

Cuadro 23. Capacidad de recarga hídrica en la subcuenca según el porcentaje de cobertura vegetal

Capacidad de recarga según la Cobertura Vegetal	Área Km <sup>2</sup>	Área (%)	Clasificación
<i>Muy Alta</i>	0.9592	2.60	5
<i>Alta</i>	1.5599	4.23	4
<i>Moderada</i>	16.092	43.67	3
<i>Baja</i>	10.375	28.15	2
<i>Muy Baja</i>	7.8717	21.36	1

La cobertura vegetal en el terreno influye directamente en la infiltración del agua en el suelo, además de disminuir la velocidad de la escorrentía y conservar las características del suelo al protegerlo de la erosión. En la figura 13, se observa que según el porcentaje de cobertura vegetal las áreas consideradas con de Muy Alta y Alta capacidad de recarga hídrica constituyen el 6.83% del área total de la subcuenca.

El 43.67% del área de la subcuenca se traduce en zonas de Moderada capacidad de recarga hídrica, esta proporción de áreas corresponde a terrenos donde el 50-70% del suelo tiene cubierta vegetal; sin embargo, se trata de áreas ocupadas por cultivos no perennes o áreas de pastoreo que no necesariamente ayudan al proceso de infiltración del agua al suelo.

Las áreas de Baja y Muy Baja capacidad de recarga hídrica representan un 49.51% del área total, correspondientes a zonas cuya cobertura vegetal ocupa del 50-30%, y menores del 30% de la superficie del suelo.

### e. Uso de Suelo

El suelo en algunas de las áreas de recarga hídrica identificadas está siendo utilizado con fines agrícolas, consistente en sistemas productivos de subsistencia (frijol y maíz), así como café bajo sombra.

Cuadro 24. Uso de los suelos en las zonas potenciales de recarga hídrica

Sitio	Observaciones	Uso del Suelo
<i>El Rodeo</i>	Parte baja	Granos básicos
	Parte media	Agropecuario / bajo manejo intensivo
	Parte alta	Cultivos / obra de conservación de suelo
<i>La Cruz</i>	Parte media	Sistemas con obras de conservación
<i>El Zapote 2</i>	Parte media	Sistemas Agroforestales
	Parte alta	Bosque

Cuadro 25. Análisis de la capacidad de recarga hídrica según el uso del suelo

Uso del suelo	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosque con 3 estratos: árboles, arbustos y hierbas o zacate denso	Muy alta	5
Sistemas agroforestales o silvopastoriles	Alta	4
Cultivados y con obras de conservación de suelo	Moderada	3
Agropecuarios con manejo intensivo.	Muy baja	1

El deterioro del suelo tiene lugar cuando el uso que se establece no es apto para dicha intensidad o tipo de uso. A esto se relaciona el deterioro de las características del suelo dando como resultado la erosión y compactación. También se reduce la capacidad de infiltración y por consiguiente, la recarga hídrica disminuye (Matus et al, 2010)

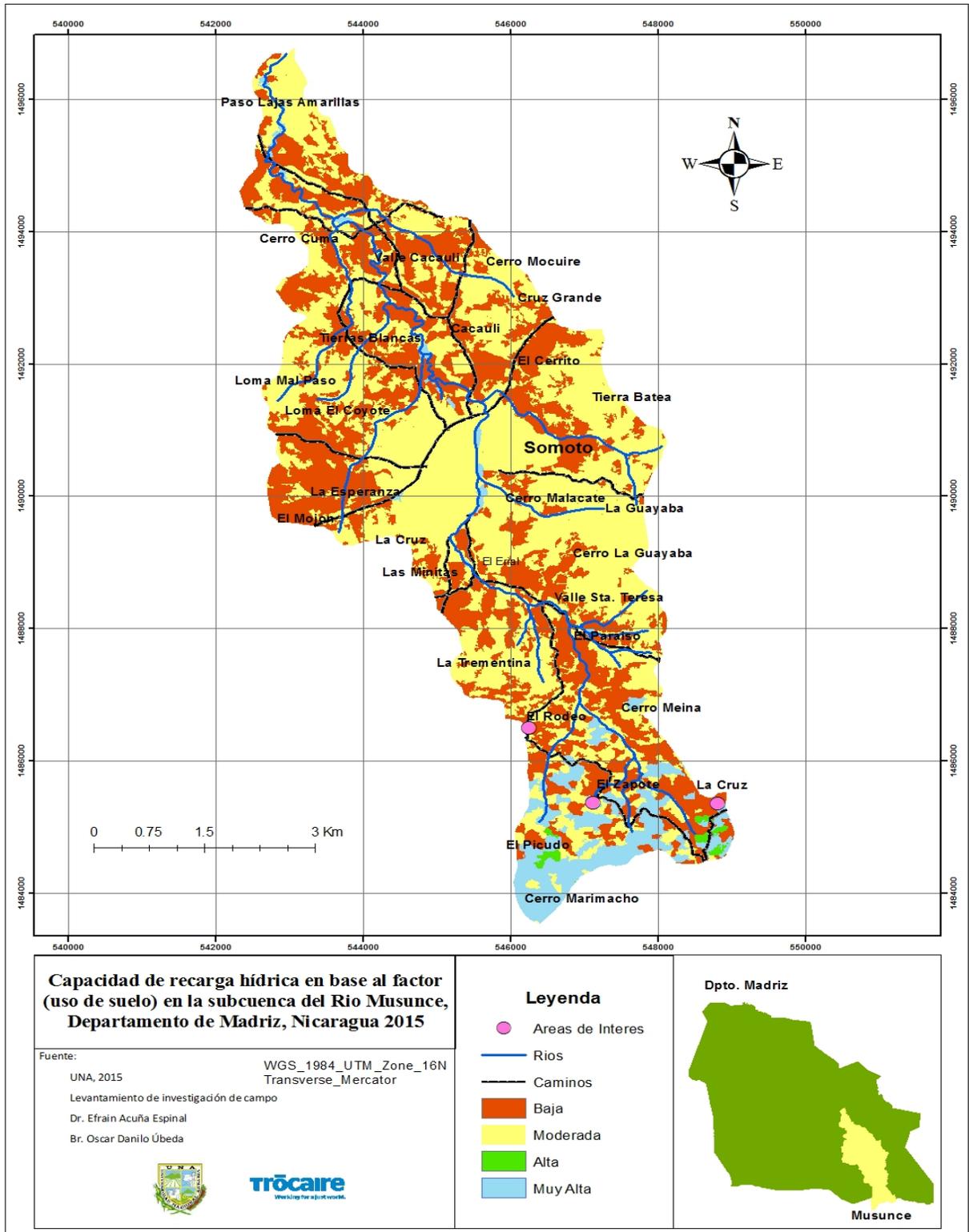


Figura 14. Mapa de capacidad de recarga hídrica en base al factor uso de suelo

Cuadro 26. Capacidad de recarga hídrica en la subcuenca de acuerdo al uso del suelo

Capacidad de recarga hídrica según el Uso de suelo	Área Km <sup>2</sup>	Área (%)	Clasificación
<i>Muy Alta</i>	2.3692	6.43	5
<i>Alta</i>	0.1498	0.41	4
<i>Moderada</i>	20.0981	54.54	3
<i>Muy Baja</i>	14.2412	38.65	1

En el cuadro 26 se aprecia que de acuerdo al uso del suelo las categorías Muy Alta y Alta capacidad de recarga representan el **6.84%** del área total de la subcuenca; el uso en estas áreas corresponde bosques de tres estratos (árboles, arbustos y hierbas o zacate denso) y sistemas agroforestales o silvopastoriles. Esto ilustra que en la subcuenca el *uso del suelo* es el elemento más cambiante e influenciado por la actividad antrópica.

El 54.54% del área de la subcuenca corresponden a suelos cultivados y cultivos con obras de conservación de suelo, determinados con una Moderada capacidad de recarga hídrica. Seguida por la categoría de Muy Baja capacidad de recarga, correspondiente al 38.65% del área de la subcuenca.

Las áreas cuyo uso de suelo corresponde a zonas agropecuarias de manejo intensivo, según FORGARES (citado por Vásquez, 2008), al realizar un uso inadecuado del suelo se contribuye a disminuir la recarga del acuífero hasta en un 50%, aumentando la pérdida de suelo por erosión hídrica o eólica y los riesgos naturales.

#### 4.2.3. Cálculo de la capacidad de recarga hídrica en las zonas identificadas

El cálculo de posibilidad de recarga se realizó utilizando una fórmula lineal, donde cada parámetro evaluado representa un peso relativo.

Donde:

$$ZR = 0.27 (\text{pendiente}) + 0.23 (\text{tipo de suelo}) + 0.12 (\text{tipo de roca}) \\ + 0.25 (\text{cobertura vegetal}) + 0.13 (\text{uso de la tierra})$$

Fuente: Matus et al. 2010

Cuadro 27. Determinación del potencial de recarga hídrica

<b>Posibilidad de recarga</b>	<b>Rango</b>
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 et al. 2009

Cuadro 28. Posibilidad de recarga hídrica a partir de los criterios evaluados en ecuación propuesta por Matus

<b>Sitio</b>	<b>Criterios Evaluados</b>						<b>Suma</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>
	<b>Observaciones</b>	<b>Pendiente del terreno</b>	<b>Tipo de suelo</b>	<b>Tipo de roca</b>	<b>Cobertura vegetal</b>	<b>Uso de Suelo</b>		
<i>El Rodeo</i>	<i>Parte baja</i>	1.08	0.46	0.24	0.25	0.26	<b>2.29</b>	<b>Baja</b>
	<i>Parte media</i>	1.08	0.46	0.24	0.50	0.13	<b>2.41</b>	<b>Baja</b>
	<i>Parte alta</i>	0.81	0.46	0.24	0.50	0.39	<b>2.4</b>	<b>Baja</b>
<i>La Cruz</i>	<i>Parte media</i>	1.08	0.69	0.48	1.25	0.39	<b>3.89</b>	<b>Alta</b>
<i>El Zapote2</i>	<i>Parte media</i>	0.54	0.92	0.24	0.75	0.52	<b>2.97</b>	<b>Moderada</b>
	<i>Parte alta</i>	0.54	1.15	0.24	1.25	0.65	<b>3.38</b>	<b>Moderada</b>

Las áreas evaluadas en La Cruz y El Zapote 2, son las áreas que cuentan con un mayor potencial de recarga hídrica siendo parte importante del sistema hidrológico de la subcuenca, por lo que cualquier acción negativa se verá proporcionalmente reflejada en la disponibilidad y calidad de agua de estos afluentes.

El resultado de las evaluaciones indica que las zonas con potencial de recarga hídrica identificadas en la subcuenca, alimentan a las fuentes por medio del flujo sub-superficial de agua. Esto da pautas para señalar la necesidad de realizar un mejor manejo de los suelos y establecer obras que mejoren el potencial de recarga hídrica, ya que el beneficio que traen consigo estas obras se verán reflejadas en el aumento de la cantidad y mejoramiento calidad de agua en las fuentes, de la cual disponen los habitantes de las comunidades de la subcuenca.

Los resultados del estudio en la subcuenca concuerdan con información generada sobre la ubicación de los acuíferos, tal como se observa en la figura 15. Mapa de fuentes de Agua Subterránea.

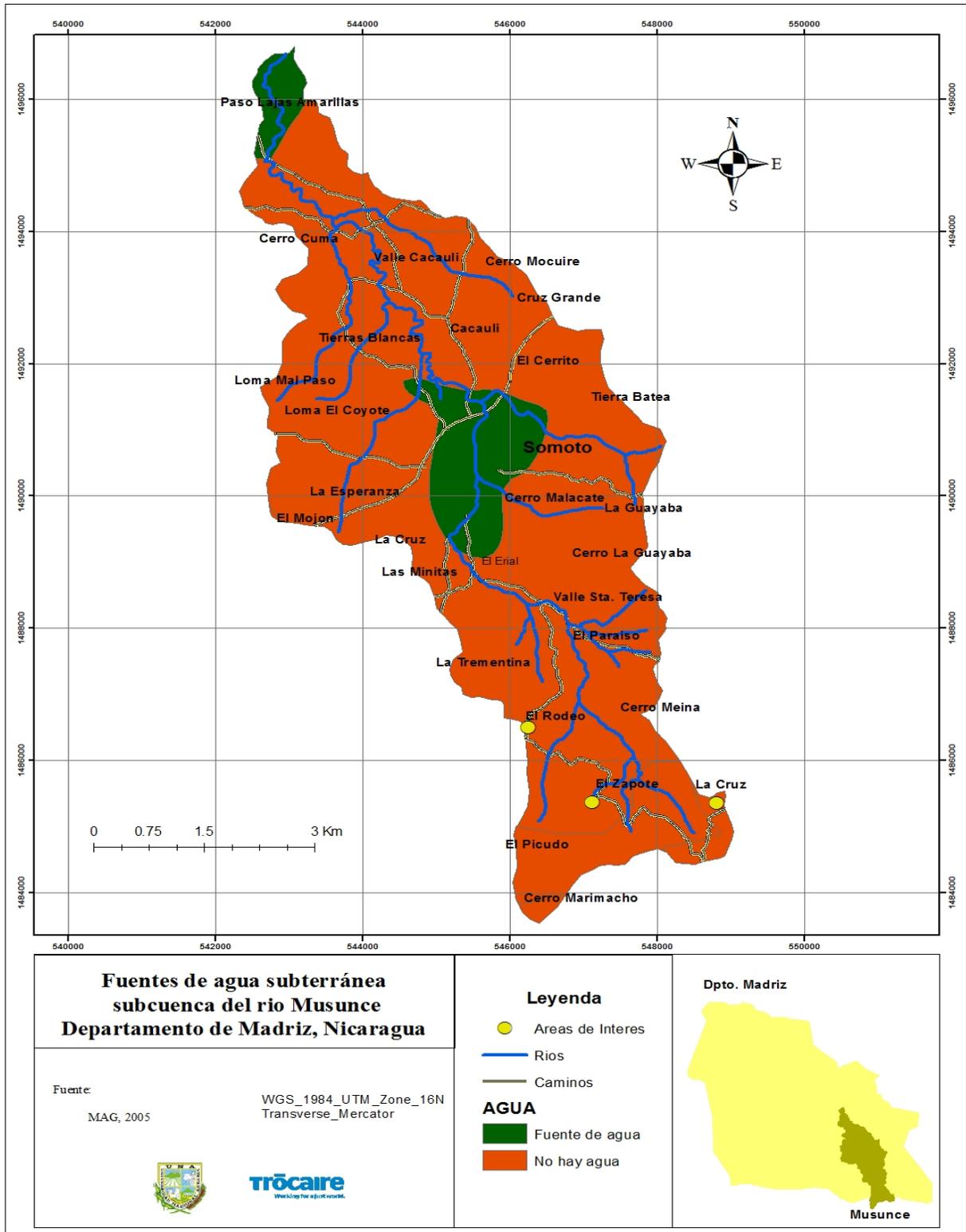


Figura 15. Mapa de fuentes de agua subterráneas, subcuenca Musunche, Fuente: MAG, 2005

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante el desarrollo del Método Heurístico Geomorfológico en la investigación fue posible identificar las áreas vulnerables a deslizamiento de tierra en el área de estudio; en estos lugares se identificaron evidencias de deslizamientos activos, lo cual demuestra la validez de los resultados obtenidos por el modelo.

La identificación de zonas con potencial de recarga hídrica en conjunto con los actores locales, hizo posible que estos apreciaran las condiciones de estos lugares y como su manejo afecta los factores que hacen posible que se lleve a cabo el proceso de recarga hídrica de los afluentes, y ellos consideren mejorar el manejo de los recursos naturales y que es necesario desarrollar acciones que ayuden a la conservación de las áreas de recarga hídrica identificadas, con el fin de aumentar la disponibilidad del agua en estos sitios.

El desarrollo de la metodología participativa ayuda a la toma de conciencia de los actores locales, lo cual facilita la promoción de acciones de protección de los afluentes de agua de los cuales se abastecen las familias.

Es necesario promover la concienciación y capacitación de los pobladores asentados en las áreas vulnerables a deslizamiento, acerca del riesgo al que se exponen y qué hacer en caso de un desastre; asimismo, considerar la implementación de obras de contención y estabilización de tierra, de áreas degradadas y potencialmente más frágiles: zonas de Alta y Muy Alta vulnerabilidad a deslizamiento de tierra.

Es deseable fomentar la implementación de obras de conservación de suelo, sistemas agroforestales y reforestación en las zonas moderadamente vulnerables a deslizamiento, con el fin de reducir el impacto de los factores antrópicos que han degradado estas áreas; y por ende incidir positivamente en el aumento de la capacidad de recarga hídrica y en la reducción del riesgo de desastre por deslizamiento de tierra.

## VI. LITERATURA CITADA

- Matus, Silva; O.D 2010. Metodología para la identificación participativa de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, validación en la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa Nicaragua (En línea). Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 183 p. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A1657E/A1657E.PDF>
- Jiménez. F (2002). Maestría en manejo de cuencas hidrográficas, manejo de desastres naturales. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 288 p
- Pérez R. M y Rojas J. A 2005. Estudio de vulnerabilidad ante deslizamientos de tierra en la microcuenca Las Marías, en el municipio de Telica, León. UNA. Tesis de grado. Managua, Nicaragua. 95p.
- Ruiz P. G y Molina L. J. 2001. Aplicación de SIG en la Evaluación de la Amenaza Relativa por Fenómenos de Remoción en Masa en el Municipio de El Líbano, Tolima. Grupo Editorial Gaia, Colombia. 111 p.
- Benavidez D, 2007. Escalamiento de los procesos y experiencias de cogestión de cuencas en la subcuenca del río Aguas Calientes a la subcuenca del río Inalí y la subcuenca del río Musunce, Nicaragua. 65p.
- Rosales S. U y Centeno A. Y. 2009. Vulnerabilidad potencial de los suelos a deslizamientos de tierra en el municipio de la Conquista, Carazo, Nicaragua. 64p.
- Catastro e inventario de Recursos Naturales de Nicaragua. 1971a. Levantamiento de los suelos de la región pacífica de Nicaragua; parte I uso y manejo de suelos. Managua, Nicaragua
- Catastro e inventario de Recursos Naturales de Nicaragua.1971b. Levantamiento de suelos de la región pacífica de Nicaragua; parte II Descripción de suelos. Managua, Nicaragua.
- Donis. C. L. Identificación de zonas de recarga hídrica en la microcuenca del río negro, Ciudad de Guatemala, 2015. 42p.

# ANEXO

## VII. ANEXOS

Anexo 1. Criterios evaluados en campo para determinar potencial de recarga hídrica

<b>Parámetros</b>	<b>Estaciones</b>					
	Ponderación	Ponderación	Ponderación	Ponderación	Ponderación	Ponderación
	<i>El Rodeo</i>	<i>El Rodeo</i>	<i>El Rodeo</i>	<i>La Cruz</i>	<i>El Zapote 2</i>	<i>El Zapote 2</i>
<b>Coordenadas</b>	<i>X: 546249</i>	<i>Parte Media</i>	<i>Parte Alta</i>	<i>X: 548810</i>	<i>X: 547127</i>	
	<i>Y: 1486498</i>			<i>Y: 1485355</i>	<i>Y: 1485375</i>	
<b>Pendiente (%)</b>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>2</i>
<b>Micro relieve</b>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>2</i>
<b>Suelo</b>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<b>Infiltración</b>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
<b>Rocas</b>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>2</i>
<b>Cobertura Vegetal</b>	<i>1</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>5</i>	<i>3</i>	<i>5</i>
<b>Uso del Suelo</b>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<b>Observaciones</b>	<i>Cultivo</i>	<i>Pasto</i>	<i>Tacotal</i>	<i>Cultivo / SAF</i>	<i>Cultivo / SAF</i>	Bosque

Anexo 2. Deslizamientos acticos identificados y georreferenciados en campo

<b>ID_PUNTOS</b>	<b>Orden</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
Deslizamiento Mitch	1	<b>548375</b>	<b>1485619</b>
Derrumbe	2	<b>547656</b>	<b>1485162</b>
Derrumbe	3	<b>548538</b>	<b>1485522</b>
Derrumbe	4	<b>548405</b>	<b>1485636</b>
Casa	5	<b>548301</b>	<b>1485626</b>

Anexo 3. Tablas de ponderación para zonas potenciales de recarga hídrica

**Tipos de pendientes**

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>	<b>Ponderación</b>
0 – 6	Muy alta	5
6 – 15%	Alta	4
15 – 45%	Moderada	3
45 – 65%	Baja	2
> 65%	Muy Baja	1

**Tipo de micro relieve**

<b>Micro relieve</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>	<b>Ponderación</b>
Planos a casi planos	Muy alta	5
Moderadamente ondulados/ convexos	Alta	4
Ondulados/convexos	Moderada	3
Escarpados	Baja	2
Fuertemente escarpados	Muy Baja	1

**Tipos de suelo**

<b>Textura</b>	<b>Posibilidad de recarga</b>	<b>Ponderación</b>
Franco arenosa a arenosa, con agregados gruesos a medios, con alta a buena capacidad de infiltración.	Muy alta	5
Suelos francos, sueltos, con buena a moderada capacidad de infiltración.	Alta	4
Suelos franco limoso, con partículas medias a finas; moderada capacidad de infiltración.	Moderada	3
Suelos franco arcillosos, con partículas finas, con muestras de compactación, con baja capacidad de infiltración.	Baja	2
Suelos arcillosos, con partículas muy finas, compactados, con muy mala capacidad de infiltración.	Muy Baja	1

### Capacidad de infiltración

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Tasa de infiltración (mm/hora)</b>
Arena	Mayor de 30
Arena limosa	20 – 30
Limo	10 – 20
Arcilla limosa	5 – 10
Arcilla	1 - 5

<b>Permeabilidad de los suelos</b>	<b>Índice de permeabilidad</b>	
	<b>cm/hora</b>	<b>cm/día</b>
Muy lenta	menor de 0.13	menor de 3
Lenta	0.13 - 0.3	3 - 12
Moderadamente lenta	0.5 - 2.0	12 - 48
Moderada	2.0 - 6.3	48 - 151
Moderadamente rápida	6.3 - 12.7	151 - 305
Rápida	12.7 - 25	305 - 600
Muy rápida	mayor de 25	mayor de 600

### Tipos de roca

Rocas	Posibilidad de recarga	Ponderación
Rocas suaves, muy permeables, constituida por cristales o agregados gruesos, con macro poros conectados entre sí: arenas gruesas, piedras pómez, gravas o cascajos.	Muy alta	5
Rocas permeables, suaves, formadas por cristales o agregados medianos, con poros conectados entre sí: arenas finas, areniscas, con poca cementación.	Alta	4
Rocas moderadamente permeables, semi suaves, con regular conexión de poros entre sí.	Moderada	3
Rocas poco permeables, un poco duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas: combinación de gravas con arcillas, presencia de fracturas conectadas entre sí.	Baja	2
Rocas impermeables, duras, cementadas, compactadas, constituidas por partículas muy finas, sin presencia de fracturas.	Muy baja	1

### Cobertura vegetal

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

## Uso de suelo

Uso del suelo	Posibilidad de recarga	Ponderación
Bosque con 3 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 suelo	Regular	3
Terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua.	Baja	2
Terrenos agropecuarios con manejo intensivo.	Muy baja	1

### Paso 5. Determinación de las zonas potenciales de recarga hídrica

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

$$ZR = [0,27 (PyM) + 0,23 (Ts) + 0,12 (Tr) + 0,25 (Cve) + 0,13 (Us)]$$

Donde:

**ZR** : Potencial de recarga hídrica

**P y M** : Pendiente del terreno y microrelieve

**Ts** : Tipo de suelo

**Tr** : Tipo de roca

**Cve** : Cobertura vegetal

**Us** : Uso del suelo