



“ Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible ”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**Evaluación de la producción de agua en los
municipios de Murra y San Juan de Limay y la
previsión de los efectos del cambio climático**

Autores:

Br. Fanny Anadieska Lagos Peralta

Br. Yader Danilo Cálix Calderón

Asesores:

Dra. Martha Orozco Izaguirre

Dr. Carlos Ramón Zelaya Martínez

Managua, Nicaragua

Octubre, 2015



“ Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible ”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE

Este trabajo de graduacion fue evaluado y aprobado por el Honorable Tribunal Examinador designado por la decanatura de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, como requisito parcial para optar al titulo profesional de:

Ingeniero Forestal

Ing. Edmundo Umaña

Presidente

Dr. Benigno González

Secretario

Ing. Georgina Orozco

Vocal

Managua 18 de Noviembre del año 2015

ÍNDICE DE CONTENIDOS		PÁGINA
SECCIÓN		
	INDICE DE CONTENIDOS	i
	ÍNDICE DE CUADROS	iii
	ÍNDICE DE FIGURAS	v
	ÍNDICE DE ANEXOS	vi
	DEDICATORIA	vii
	AGRADECIMIENTOS	ix
	RESUMEN	x
	ABSTRACT	xi
I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	3
	2.1. Objetivo general	3
	2.2. Objetivo específico	3
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	4
	3.1. Descripción general de los municipio en estudio	4
	3.1.1. Municipio de Murra	4
	3.1.2. Municipio de San Juan de Limay	5
	3.2. Proceso metodológico	7
	3.2.1. Etapa I: Pre-campo	10
	3.2.2. Etapa II: Campo	12
	3.2.3. Etapa III: Post-campo	25
	3.3. Estimación del clima y Balance Hídrico de Suelo con escenarios climáticos actuales y futuro	28
	3.4. Valoración de la recarga del acuífero	31
	3.5. Análisis de Datos Climáticos	34
	3.6. Propuesta de estrategias de manejo de los recursos naturales	37
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
	4.1. Evaluación practica de los elementos de las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica	38
	4.1.1. Pendiente y relieve	38
	4.1.2. Tipo de suelos	42
	4.1.3. Tipo de roca	49
	4.1.4. Uso actual del suelo	54
	4.1.5. Cobertura vegetal permanente	62
	4.2. Zonas Potenciales de Recarga Hídrica	66
	4.3. Balance hídrico de los suelos con datos climáticos actuales y a futuro a nivel municipal	71
	4.3.1. Balance hídrico en los suelos del municipio de Murra	71

4.3.2. Balance hídrico en los suelos del municipio San Juan de Limay	72
4.4. Valoración de la Recarga de Agua Subterránea del municipio de Murra y San Juan de Limay	75
4.5. Modelación de variables en los municipios de Murra y San Juan de Limay	76
4.6. Alternativas de uso y manejo sostenible de las zonas potenciales de recarga hídrica en los municipios de Murra y San Juan de Limay	78
V. CONCLUSIONES	81
VI. LITERATURA CITADA	83
VII. ANEXOS	85

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según tipo de pendiente y microrrelieve	13
2. Ponderación de la capacidad de recarga hídrica según su textura	16
3. Velocidades y Clases de Infiltración	19
4. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según tipo de roca	22
5. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el uso del suelo	23
6. Usos de la tierra y Estratos	24
7. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura	25
8. Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto	26
9. Coeficientes según el tipo del suelo para Recarga Agua Subterránea	32
10. Coeficientes de pendientes para Recarga Agua Subterránea	33
11. Coeficientes de usos del suelo para Recarga Agua Subterránea	33
12. Posibilidad de recarga hídrica según el tipo de pendiente y microrrelieve predominante en los municipios de Murra y San Juan de Limay	39
13. Área ocupadas por sub-grupos taxonómicos de suelos en el municipio de Murra	42
14. Sub-grupo taxonómico presente en los suelos del municipio de San Juan de Limay	44
15. Posibilidad de recarga hídrica según el tipo de suelo presente en los municipios de Murra y San Juan de Limay	45
16. Tipo de roca que se encuentran en los municipios de Murra y San Juan de Limay	51
17. Categorías de uso del suelo existentes en los municipios de Murra y San Juan de Limay	59
18. Posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal permanente en los municipios de Murra y San Juan de Limay	63
19. Áreas que ocupan las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica en los municipios de Murra y San Juan de Limay	66
20. Síntesis de evaluación de las zonas potenciales de recarga hídrica por factores en el municipio de Murra y San Juan de Limay	68

21	Resumen de proyección de variables climáticas bajo escenarios de clima actual y futuro de los Municipio de Murra y San Juan de Limay	76
22.	Diferencia del clima actual y clima futuro 2050 del municipio de Murra y San Juan de Limay	77
23.	Estrategias y alternativas para el manejo sostenible de las zonas potenciales de recarga hídrica en los municipios de Murra y San Juan de Limay	78

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Mapa de ubicación de sitios de estudio en los municipios de Murra y San Juan de Limay, Nicaragua	7
2. Diseño Metodológico	9
3. Determinación en campo de textura del suelo	18
4. Mapa de intervalos de pendiente del municipio de Murra, Nueva Segovia	40
5. Mapa de intervalos de pendiente del municipio de San Juan de Limay, Estelí	41
6. Mapa de suelos del municipio de Murra, Nueva Segovia	46
7. Mapa de suelos del municipio San Juan de Limay, Esteli	47
8. Mapa Geológico del municipio de Murra, Nueva Segovia	52
9. Mapa Geológico del municipio de San Juan de Limay, Esteli	53
10. Mapa de uso actual del suelo del municipio de Murra, Nueva Segovia	60
11. Mapa de uso actual del suelo del municipio San Juan de Limay, Estelí	61
12. Mapa de cobertura vegetal (%) del municipio de Murra, Nueva Segovia	64
13. Mapa de cobertura vegetal (%) del municipio San Juan de Limay, Estelí	65
14. Mapa de zonas potenciales de recarga hídrica del municipio de Murra, Nueva Segovia	69
15. Mapa de zonas potenciales de recarga hídrica del municipio de San Juan de Limay, Estelí	70

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1. Proceso metodológico para la delimitación de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica	86
2. Información recolectada en el campo correspondiente a la descripción de perfiles de suelos presentes en los municipios de Murra y San Juan de Limay	87
3. Balances hídricos de los suelos con datos climáticos actual y a futuro presentes en los municipios de Murra y San Juan de Limay	89

DEDICATORIA

Dedico esta tesis en primer lugar a Dios todo poderoso por el amor inmenso al brindarme salud, sabiduría, paciencia y la fortaleza para poder cumplir mi meta de culminar mi investigación.

A mis padres Fanny Peralta García y Eduardo Lagos Montiel por darme la vida, por el apoyo incondicional que me brindaron y por los valores que me inculcaron desde mi infancia.

En especial a mi abuelita Alejandra Montiel Brenes, que desde el cielo guío mis pasos para que yo nunca me diera por vencida y llegara a esta etapa de mi vida.

A mi hermano, demás familiares y amigos por su cariño y confianza y por el apoyo que me brindaron de una u otra forma durante el transcurso de mi vida y para la realización de mi tesis.

Fanny Anadieska Lagos Peralta

DEDICATORIA

Dedico este trabajo investigativo en primer lugar a Dios todo poderoso por el amor inmenso al brindarme salud, sabiduría, paciencia y la fortaleza para poder cumplir mi meta de culminar mi carrera profesional.

Con todo mi cariño y mi amor para la persona que hizo todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, por siempre mi corazón y mi agradecimiento a mi linda madre ROSIBEL CALDERON.

Les ofrezco esta tesis a las personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño esta tesis se las dedico a ustedes:

Tía María Beatriz Quezada
Abuelita Marcela Amador
Abuelitos Francisco Calderón y María Luisa Vizcay
A todos mis Tíos y Primos

Yader Danilo Cálix Calderón

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria y en especial a la Dirección de Vida Estudiantil por su apoyo financiero a lo largo de la realización de esta investigación.

Al Banco Mundial por brindarnos el financiamiento necesario para poder llevar a cabo esta investigación, ya que sin su apoyo no hubiese sido posible esta investigación.

A la Dra. Martha Orozco Izaguirre y al Dr. Carlos Zelaya Martínez por brindarnos sus conocimientos, paciencia, apoyo y por darnos la oportunidad de realizar este trabajo de investigación. Por cada minuto de sus tiempo que fue de mucha ayuda para poder culminar esta investigación.

A los amigos y demás personas que siempre estuvieron presentes para darnos su apoyo incondicional.

Fanny Anadieska Lagos Peralta

Yader Danilo Cálix Calderón

RESUMEN

El estudio se realizó en los municipios de Murra y San Juan de Limay, con el objetivo de generar información básica actualizada para la gestión de los recursos hídricos superficiales, tomando en cuenta los efectos del cambio climático en los municipios en estudio y de esta manera contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes. La metodología empleada consistió en identificar Zonas Potenciales de Recarga Hídrica (ZPRH) a través de metodología desarrollada por Matus (2007), también se estimó el balance hídrico de suelo con escenarios climáticos actuales y futuros (año 2050). Se realizó la valoración de la recarga del acuífero a través del método Recarga de Agua Subterránea (RAS). Entre los resultados se obtuvo que en el municipio de Murra predominan suelos de orden Alfisoles y en San Juan de Limay suelos de orden Alfisoles, Entisoles y Vertisoles. En ambos municipios se delimitaron zonas potenciales de recarga hídrica moderada con 71% (Murra) y 65.57% (San Juan de Limay) del área total municipal, en donde predominan pendientes de 15 - 45%. Las zonas potenciales de recarga hídrica se puede mejorar a través del aumento de la cobertura vegetal con la implementación de Sistemas Agroforestales, Sistemas Silvopastoriles y obras de conservación de suelos y agua. Según el balance hídrico para Murra con clima actual se da un déficit de agua desde el mes de febrero hasta mayo, en cambio según proyecciones de futuro en el año 2050, este déficit se agudizará. En San Juan de Limay se da un déficit de agua que inicia en diciembre y finaliza en abril, para el 2050 se espera un incremento en el déficit de agua desde el mes de febrero hasta abril, estableciendo para dicho año una disminución en la precipitación. Es evidente un aumento en la temperatura de 2°C en ambos municipios. La Recarga de Agua Subterránea bajo el mismo uso actual del suelo presenta una disminución en la infiltración y recarga del acuífero, en cambio con mejoras en el porcentaje de cobertura vegetal, la recarga se ve favorecida por la infiltración del agua en los suelos.

Palabras claves: Recarga hídrica, cobertura vegetal, balance hídrico, infiltración

SUMMARY

The study was conducted in the municipalities of Murra and San Juan de Limay, in order to generate current for the management of surface water resources basic information, taking into account the effects of climate change in the municipalities under study and thus help improve the quality of life of the inhabitants. The methodology used was to identify potential areas of Water recharge (ZPRH) through a methodology developed by Matus (2007), the soil water balance with current and future (2050) climate scenarios are also considered. The assessment of aquifer recharge was made through the method of Groundwater Recharge (RAS). Among the results was obtained in the municipality from Murra soils predominate in order Alfisols and San Juan de Limay order Alfisols floors, Entisols and Vertisols. 45% - in both municipalities potential areas of moderate water recharge to 71% (Murra) and 65.57% (San Juan de Limay) of the total municipal area, dominated slopes of 15 were defined. Potential water recharge areas can be improved by increasing the vegetation cover with the implementation of agroforestry systems, silvopastoral systems and soil conservation works and water. According to the water balance for current climate Murra with a water deficit occurs from February to May, according to projections of future change in 2050, this deficit will worsen. In San Juan de Limay a water deficit that starts in December and ends in April, 2050 an increase in the deficit of water from February to April, establishing for that year a decrease in precipitation is expected occurs. An increase in temperature of 2 ° C is evident in both municipalities. Groundwater Recharge under the same current land use has decreased infiltration and groundwater recharge, however with improvements in the percentage of vegetation cover, recharging is favored by water infiltration in the soil.

Keywords: Water recharge, vegetative cover, water balance, infiltration

I. INTRODUCCION

El istmo Centroamericano, con un área de 530.492 km² (CCAD 2002), según SG-SICA, citado por Castro (2009), posee una enorme riqueza de recursos hídricos superficiales y subterráneos, lo cual contribuye substancialmente al desarrollo económico y social, sin embargo, las acciones y esfuerzos que se han realizado, no han podido cubrir las demandas de agua potable, ni han permitido aprovechar el potencial hídrico en función de objetivos de desarrollo nacional, lo cual ha generado conflictos de uso, deterioro hídrico y degradación ambiental, además de la reacción inducida por un clima económico y comercial más competitivo, que trae consigo mayores demandas de agua en cantidad y calidad y acarrea necesariamente costos ambientales.

El agua es el medio principal a través del cual el cambio climático hará sentir sus efectos sobre las personas, los ecosistemas y las economías. Los patrones cambiantes de la precipitación y de los caudales de los ríos afectarán a todos los usuarios del agua (Sadoff y Muller, 2010). Según PREDVA, citado por Castro (2009), este problema del agua aún recibe una atención insuficiente, si se compara con la importancia de las amenazas recurrentes y crecientes, ocasionadas por la presión cada vez mayor sobre las cuencas hidrográficas.

Es de suma importancia el hecho que, probablemente, estos efectos del cambio climático afecten principalmente a las comunidades más pobres que actualmente no cuentan con las herramientas para enfrentarlos, y que tampoco podrán hacerlo en el futuro. Si bien no se puede predecir con absoluta certeza la índole y magnitud de los impactos, la naturaleza de largo plazo de la gestión de recursos hídricos indica que las respuestas deben comenzar ya. Afortunadamente, una mejor gestión de los recursos hídricos también ayudará en la gestión de la variabilidad y los impactos del cambio climático, aspectos de desarrollo fundamentales en los países más pobres del mundo en la actualidad (Sadoff y Muller, 2010).

Nicaragua es uno de los países de América Central más beneficiado en cuanto a recursos hídricos se refiere, contando con uno de los lagos más grandes del continente y con numerosas cuencas hidrográficas que drenan hacia el Atlántico y el Pacífico como también numerosos acuíferos que cubren toda la Región del Pacífico (MARENA, 2001). Sin embargo, la distribución espacial y temporal de las lluvias, la distribución natural de sus vertientes y acuíferos y el paulatino deterioro de sus fuentes de agua generado por el desarrollo de las ciudades, la industria y la actividad agrícola, ha significado una relativa reducción de sus disponibilidades de agua (MARENA, 2001).

El municipio de Murra se ha dedicado a la producción agropecuaria principalmente a la ganadería y el municipio de San Juan de Limay a la producción agrícola, en donde las prácticas agropecuarias y agrícolas desarrolladas a través del tiempo, han provocado un deterioro del ambiente, degradación de los recursos naturales y problemas sociales en estos municipios.

El estudio realizado en los municipios de Murra y San Juan de Limay permite identificar las fuentes de aguas, con el fin de determinar y caracterizar el estado de vulnerabilidad de las zonas potenciales de recarga hídrica y proponer alternativas para el manejo adecuado de las sub-cuencas adscritas a los municipios con el fin de prevenir los efectos del cambio climático, tema de mucho interés ya que en la actualidad es uno de los problemas que está afectando a nivel mundial los recursos naturales.

La contribución de este estudio es generar información básica actualizada que permita hacer una gestión de los recursos hídricos superficiales tomando en consideración los efectos del cambio climático y con ellos mejorar la calidad de vida de los pobladores de las sub-cuencas en los municipios de Murra y San Juan de Limay, ya que producto del deterioro de los suelos por los diferentes cambios drásticos de usos de la tierra, pasando de áreas boscosas a áreas con pastizales, todo estos han favorecido al escurrimiento superficial y por ende la limitación en cuanto a acceso y calidad del agua en las comunidades de estos municipios.

II. OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

Generar información básica actualizada para la gestión de los recursos hídricos superficiales, tomando en cuenta los efectos del cambio climático en los municipios de Murra y San Juan de Limay, para contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

2.2.Objetivos específicos

1. Identificar las zonas potenciales de recarga hídrica en las sub cuencas de los municipios para determinar áreas críticas susceptibles a disminuir su potencial de recarga.
2. Determinar la disponibilidad de agua actual y futura en las sub-cuencas de los municipios aplicando datos históricos de clima y modelos de clima futuro.
3. Proponer alternativas de manejo para prevenir los posibles efectos derivados del cambio climático en las sub-cuencas hidrográficas.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1.Descripción general de los municipios en estudio

3.1.1. Municipio de Murra

a) Localización y extensión

El municipio de Murra está situado en el departamento de Nueva Segovia, Nicaragua (ver figura 1); su cabecera municipal se encuentra ubicada a 296 km de la capital Managua, se sitúa en una posición geográfica entre las coordenadas 13°45' latitud norte y 86°01' de longitud oeste con una altura de 750 msnm, posee una extensión territorial de 428 km². Limita al norte con el municipio de Jalapa y la República de Honduras, al sur con el municipio de Quilalí, al este con el municipio de Wiwilí y al oeste con el municipio de El Jícaro (POSAF et al, 2007).

b) Características socioeconómicas

El municipio de Murra según el censo poblacional y de viviendas 2005, tiene una población de 14,847 habitantes, con una densidad poblacional de 34.6 habitantes/Km². El 20.3% son analfabetos, la mayor parte se encuentra ubicada en el área rural y en su mayoría son varones (POSAF et al, 2007). Las principales fuentes de ingreso para la población del municipio de acuerdo al uso actual de los suelos y en orden de importancia, se obtiene del sector agrícola cafetalero, pecuario y en menor proporción del sector forestal.

c) Características Biofísicas

Una buena parte del territorio municipal se encuentra por encima de los 500 msnm, mientras los macizos y lomeríos mesas se remontan 700 metros más arriba, donde prevalece un clima templado y seco. El clima es de tipo subtropical semi-húmedo con precipitaciones de 1500 a 2500 mm por año, con temperaturas que oscilan entre 22 °C y 24 °C (POSAF et al, 2007).

Existen un gran número de especies endémicas sobre todo en los bosques de altura (helechos, líquenes, musgos, orquídeas). Sin embargo, la alta diversidad de formas de vida (vegetal y animal) ha sido afectada y reducida en gran medida por la expansión de la actividad humana (agrícola) ya que en la actualidad menos del 10% de la superficie del Municipio está cubierto con áreas de bosques cerrados (POSAF et al, 2007).

La principal fuente hidrográfica la conforman las sub cuencas del Río Jícaro y la sub cuenca del Río Poteca. Los principales ríos que atraviesan el municipio de Murra son: Río Murra que es alimentado por las quebradas: Las Américas, La Rastra, San Rafael, y por los ríos: Tamis, San Pablo, Congojas y el Poteca, el cual es importante por su caudal y a la vez sirve de línea divisoria entre los países de Honduras y Nicaragua (POSAF et al; 2007).

Según POSAF et al., 2007, la profundidad de los suelos del municipio de Murra, va desde moderadamente profundo, poco profundo a superficiales con profundidades de 90 cm. a menos de 25 cm. Estos suelos presentan un grado de erosión que va desde moderada a fuerte. Los cerros más importantes son La Yegua que colinda con el municipio de Murra ubicado en la comarca La Pita y que a la vez colinda con el municipio de Jalapa, el Burbusco que se encuentra ubicado en la comarca de San Francisco, el cerro La Supa ubicado en la comarca Planes de Wanito, cerro el Chipote ubicado en la comarca de Gotera, cerro El Chachaguon ubicado en la comarca Chachagua.

3.1.2. Municipio de San Juan de Limay

a) Localización y extensión

El municipio de San Juan de Limay está situado en el departamento de Estelí (ver figura 1), se encuentra a una distancia de 189 km al norte de Managua, capital de la república y a 45 km de la cabecera departamental Estelí. Está ubicado entre las coordenadas 13° 04' 13° 18' de Latitud Norte y 86° 26' 86° 45' Longitud Oeste, con una altura de 251 msnm, posee una extensión territorial de 436.52 km².

Limita al norte con el municipio de Pueblo Nuevo, al sur con el municipio de Achuapa, al este con el municipio de Estelí y al oeste con el municipio de San Francisco del Norte y Cusmapa (SINAPRED, 2003).

b) Características socioeconómicas

La población estimada actual es de 13,512 habitantes, de los cuales el 31.8% es urbana y el 68.2% rural. Esta población está conformada mayoritariamente por personas mayores de 16 años, las que representan el 54% del total de población. Atendiendo a la estructura poblacional según sexo, se tiene, que el 50.30% de la misma está constituida por hombres y el 49.7% por mujeres.

La principal actividad económica del municipio es la agricultura, teniendo entre los más importantes los cultivos de consumo humano interno, tales como el sorgo, frijol y maíz (SINAPRED, 2003).

c) Características Biofísicas

El clima es de sabana tropical cálido seco de altura, con temperaturas que oscilan entre 24°C y 34°C. Es una de las zonas más secas y áridas del país con un índice de precipitación media anual de 800 - 1200 mm de agua. Su topografía es muy quebrada (90% del territorio municipal). La altura en la zona oscila entre 281 y 1400 m.s.n.m. Los suelos de este municipio son muy áridos. Se observa un mal uso de los suelos agrícolas y forestales por la actividad agropecuaria extensiva, siendo notoria la baja productividad en todos los cultivos agrícolas. El sector agropecuario es muy pequeño (SINAPRED, 2003).

El casco urbano cuenta con agua potable por conexión domiciliar, abastecidos por 2 pozos artesianos. En el área rural las comunidades se abastecen de agua potable de pozos comunales. Algunas Comunidades consumen agua proveniente de fuentes naturales (criques) y quebradas (SINAPRED, 2003).

Entre los principales Ríos de San Juan de Limay están: El Río Negro, este río es fronterizo con los Municipios de San Francisco del Norte, teniendo su origen en la República de Honduras, desembocando en éste el Río Los Quesos, que nace en la parte alta de las comunidades de los Roblitos y Naranjo (SINAPRED, 2003).

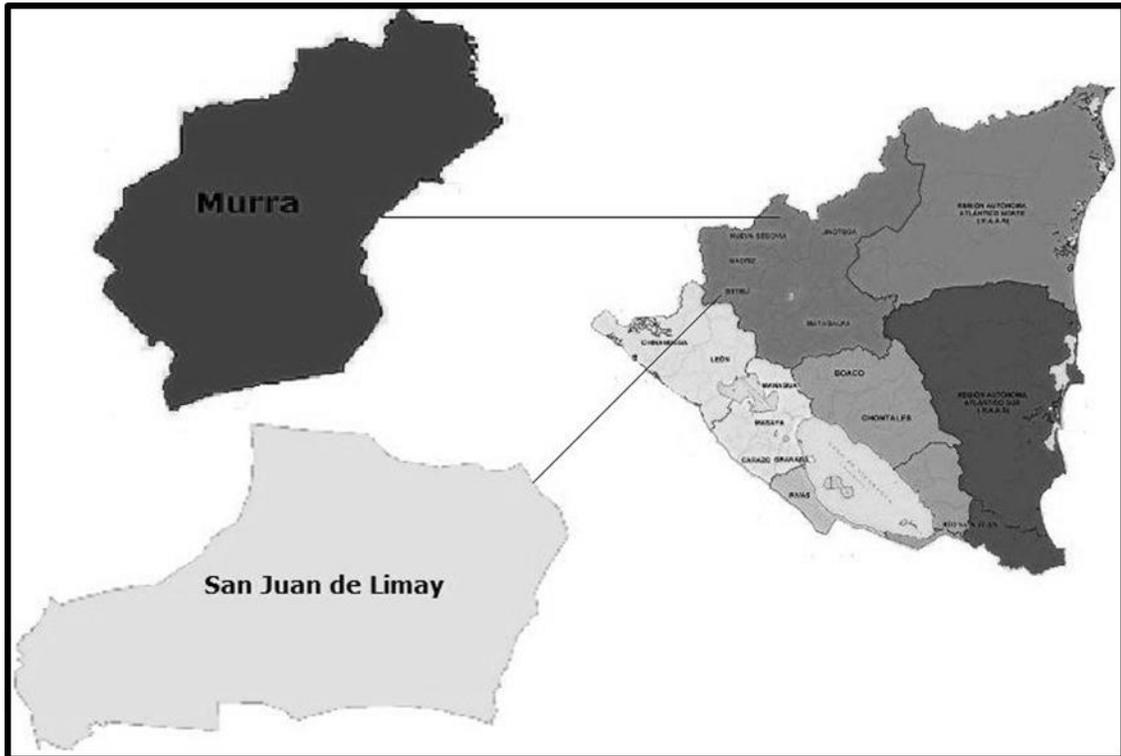


Figura 1. Mapa de ubicación de sitios de estudio en los municipios de Murra y San Juan de Limay, Nicaragua.

3.2. Proceso metodológico

La zona de recarga (o área de recarga) es la parte de la cuenca hidrográfica en la cual, por las condiciones de clima, geología y topografía, una gran parte de las precipitaciones se infiltran en el suelo, llegando a recargar los acuíferos en las partes más bajas de la cuenca.

Principales características de una zona de recarga desde el punto de vista:

- Del clima, son zonas con precipitación media anual alta, evaporación media o baja y humedad elevada;
- De la geología, son suelos permeables o medianamente permeables, y
- De la topografía, son configuraciones planas o levemente onduladas.

La recarga de un acuífero puede darse naturalmente debido a la precipitación, a las aguas superficiales, es decir, a través de ríos y lagos, o por medio de transferencias desde otras unidades hidrogeológicas o acuíferos; pero también puede darse de manera artificial producto de actividades como la irrigación, fugas de redes de abastecimiento o por infiltraciones de embalses y depósitos (Balek, 1988; Custodio, 1997; Simmers, 1990; Lerner, 1990; Samper, 1997).

Lerner (1990), propone una clasificación sobre las fuentes de recarga:

- a) Recarga directa o recarga difusa, proveniente del agua de lluvia,
- b) Recarga concentrada o indirecta, producto de cauces permanentes, estacionales y efímeros,
- c) Flujos laterales, procedentes de otros acuíferos,
- d) Retorno de riegos, excesos de riegos o las pérdidas en los canales de distribución,
- e) Recarga Urbana, producto de fugas de redes de abastecimiento y redes de alcantarillado.

En este estudio se utilizó la metodología desarrollada por Matus (2007), que consiste en la aplicación de una metodología participativa para identificar las zonas con potencial de recarga hídrica, en subcuencas hidrográficas (ver anexo I). En la figura 2, se presenta la metodología utilizada en el desarrollo de esta investigación.

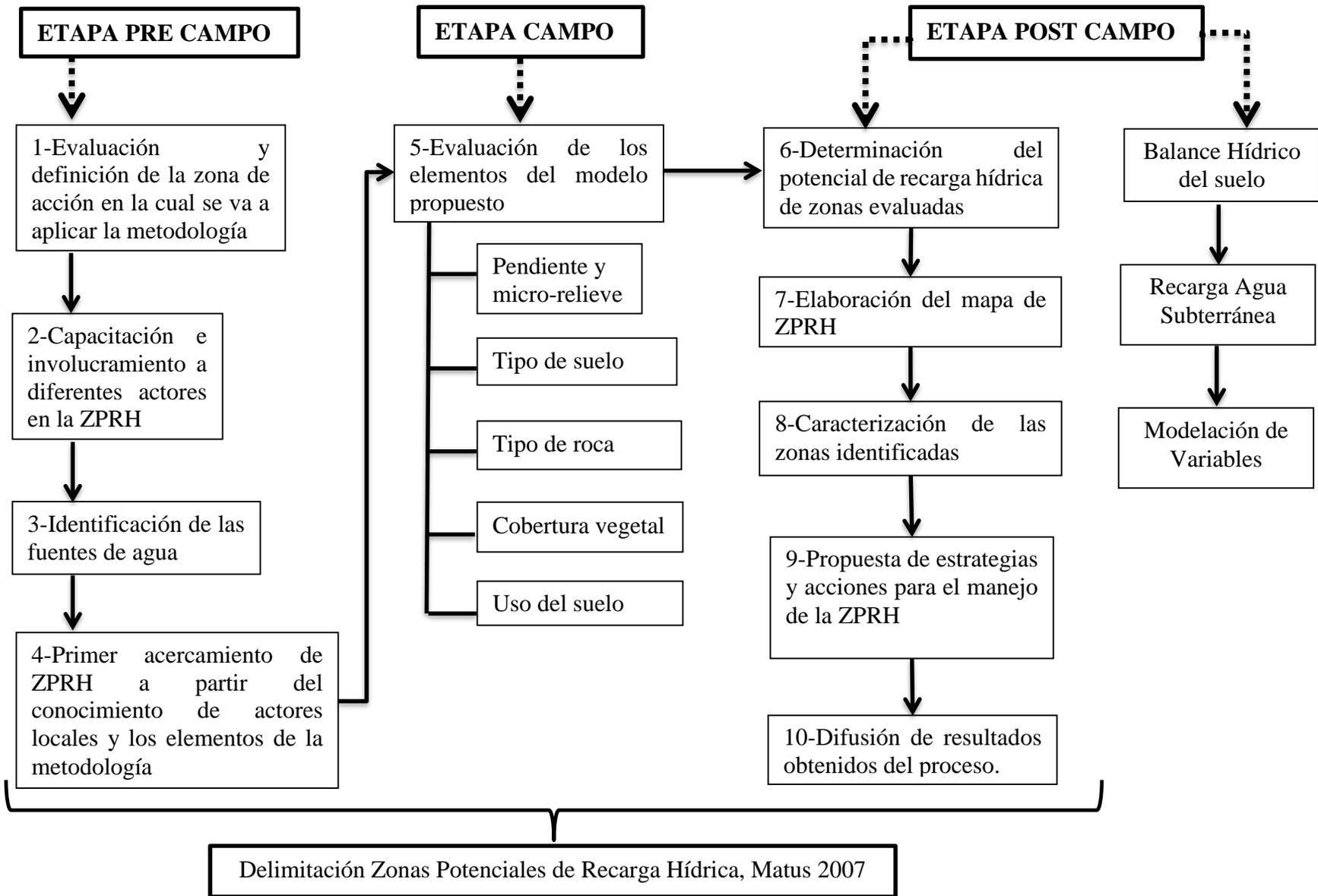


Figura 2. Diseño Metodológico

La metodología para identificar Zonas Potenciales de Recarga Hídrica, la desarrolló como parte de su tesis de Maestría en el CATIE Costa Rica, con aplicación en la sub-cuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua (Tesis Mag. Sc. 183 p.). Puede aplicarse tanto a escala municipal, cuenca hidrográfica según sea la unidad básica de planificación.

Descripción de etapas del proceso metodológico

3.2.1. Etapa I: Pre-campo

- Paso 1.-Evaluación y definición de la zona de acción para aplicar la metodología.

Como primer paso se evaluó y definió la zona en la cual se aplicó la metodología para Identificar las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica (ZPRH). Por lo que se evaluó la posibilidad y/o viabilidad de aplicar la metodología en los municipios de Murra, Nueva Segovia y San Juan de Limay, Estelí. Para esto fue necesario evaluar las características biofísicas y socioeconómicas de cada municipio. Esta evaluación permitió determinar los sitios prioritarios donde se deben implementar medidas correctivas de manejo, ordenamiento o gestión, con el propósito de mejorar la disponibilidad de agua y la calidad de la misma.

- Paso 2.- Capacitación e involucramiento a diferentes actores en la ZPRH

Se involucraron a los diferentes actores locales en la aplicación de la metodología, ya que ellos mejor que nadie conocen su territorio, a través de talleres de capacitación y presentación de la metodología propuesta para la identificación de las zonas potenciales de recarga hídrica.

Lo que se buscaba en este paso de la metodología, es que existiera una participación interactiva de los diferentes actores, comités o cualquier otro tipo de organización que estuviera presente en la comunidad, para que se diera este proceso de enseñanza – aplicación – aprendizaje y que fueran ellos los que tomaran la iniciativa en la identificación de las zonas de recarga hídrica, así como en la gestión y manejo de los recursos hídricos, es decir que fueran ellos mismos los agentes de cambio dentro de su comunidad, con miras al empoderamiento y el auto desarrollo comunitario. Así mismo como lo plateó Matus en su tesis.

- Paso 3.- Identificación de las fuentes de agua

Con mapas topográficos escala 1:50000, con actores locales (líderes comunales y técnicos) se ubicaron las fuentes de agua en el municipio.

En este estudio se contó con información valiosa de las fuentes de agua y sus comunidades, generados por el Sistema de Información de Agua y Saneamiento Rural (SIASAR) del Nuevo FISE, el cual contiene en sus bases datos cada sistema/fuente de agua geo referenciados.

- Paso 4.- Primer acercamiento de ZPRH

Este paso consiste en la identificación de la información base. Para este estudio esta información consistió en:

- a) Base de datos de sistemas y fuentes de agua a nivel de comunidades del municipio del SIASAR-FISE, año 2013
- b) Mapa de suelos de MAGFOR, año 2011,
- c) Mapa de Uso Actual del MAGFOR, año 2011,
- d) Mapa Geológico de Catastro año 1970,
- e) Mapa de Pendiente generado a partir de Modelo de Elevación Digital (DEM) con resolución de 30 metros.
- f) Imágenes de satélite rapid eye (5 metros de resolución) facilitadas por el SINIA-MARENA
- g) Información climática (precipitación y temperaturas) del INETER,

Con el equipo técnico compuesto por: MARENA, ANA, Nuevo FISE se valoró ese primer acercamiento sobre las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica.

3.2.2. Etapa II: campo

- Paso 5.- Evaluación de los elementos del modelo propuesto

La pendiente y micro relieve, Tipo de suelos, Tipo de roca, Cobertura y Uso del suelo, son los principales elementos del modelo que se analizaron con información base y además se comprobaron en el campo, determinando in situ sus propiedades e indicadores, y tomando muestras de suelos que fueron analizadas en laboratorios para la clasificación taxonómica definitiva de los mismos.

La ponderación utilizada en la evaluación de cada elemento en la metodología se encuentra entre valores de 1 a 5, según las diferentes situaciones que se puedan encontrar dentro de cada elemento evaluado y tratando de homogenizar las categorías de puntuación a implementar. De esta forma, el valor 1 es la puntuación más baja dentro de cada elemento por presentar las características menos favorables para que ocurra la recarga hídrica y 5 la puntuación más alta dentro de cada elemento por presentar las características más favorables para la recarga hídrica (Matus, 2007).

En este estudio se aplicaron los valores de ponderación que Matus 2007 validó en la metodología para identificar las ZPRH. En toda la etapa de campo en este estudio fue muy significativa y muy activa la participación de técnicos de las alcaldías junto con los extensionistas y productores locales que permitió determinar o evaluar cada uno de los elementos del modelo propuesto, que a la vez se logró validar la metodología e integrándose en un Sistema de Información Geográfica (Arc Gis v. 10), para obtener todos los mapas temáticos hasta obtener el mapa de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica.

Se describe a continuación la metodología utilizada para determinar cada uno de los elementos del modelo:

- Pendiente del terreno

En relieves escarpados, la escorrentía superficial es muy rápida, por lo que la infiltración de agua en el suelo disminuye, se aceleran los procesos erosivos en los suelos; afectando de forma negativa la recarga del acuífero. Sin embargo, relieves planos, semiplanos y cóncavos favorecen el proceso de infiltración y recarga hídrica al permitir la percolación profunda. La pendiente es muy importante para el análisis e identificación de las ZPRH, ya que está relacionada directamente con la escorrentía superficial.

En pendientes pronunciadas se da un aumento en la velocidad de la escorrentía superficial, erosionando al suelo y limitando la capacidad de recarga; mientras que en pendientes suaves, la velocidad del escurrimiento superficial es más lenta, el agua permanece más tiempo en el suelo favoreciendo el proceso de infiltración.

Para determinar la pendiente y el micro relieve se hizo un recorrido por el área de estudio con el fin de visualizar la forma del micro relieve y de medir la pendiente con un equipo clinómetro. De esta forma se comprobó la pendiente del terreno, que se calculó a partir del Modelo de Elevación del Terreno, utilizando ARC GIS 10. En el cuadro 1 se presenta el valor para determinar las posibilidades de recarga hídrica según la pendiente y micro relieve.

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

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

Fuente: Matus, 2007

- **Suelos**

- a) *Descripción de los suelos*

1. Recopilación y análisis de la información secundaria

El primer paso para la actualización de los suelos consistió en la recopilación y análisis de la información secundaria con el fin de tener un conocimiento general del área de estudio. Para esto se utilizó la información más relevante del Mapa de suelos del MAGFOR del año 2011.

2. Caracterización de los suelos presentes en los municipios

Para la actualización de la información de los suelos en los municipios, se definieron transectos con técnicos de la alcaldía, para la verificación de campo. En los transectos, mediante observaciones y calicatas se determinaron las características internas de los suelos y se realizaron en diferentes paisajes para seleccionar los perfiles típicos de los municipios. Se tomaron muestras de suelos y se llevaron al laboratorio, para la clasificación definitiva. Los resultados sirvieron para comprobar las unidades de suelos clasificados en campo.

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

Externas: relieve, drenaje, pendiente, pedregosidad, erosión, permeabilidad, uso actual.

Internas: subdivisión de horizontes, textura, estructura, color, consistencia, raíces y poros.

El perfil es una secuencia natural de capas u horizontes, que se extiende desde la superficie hasta la roca o material madre; la mayoría de los suelos tienen tres capas principales llamadas horizontes, los cuales se nombran mediante letras mayúsculas: A, B, C, R.

3. Nomenclatura de suelos

La descripción de los suelos de un territorio se hace con el propósito de conocer sus restricciones y potencialidades, para ello se requiere clasificarlos de acuerdo a un sistema reconocido. Clasificar un suelo va unido a la necesidad de conocer su localización y la superficie que ocupa, es decir, hacer la cartografía de suelos para utilizarla con facilidad, a fin de planificar su uso y manejo.

En el presente estudio se utilizó la metodología de Soil Taxonomy 2010, que establece 6 niveles jerárquicos, de homogeneidad creciente entre los suelos incluidos en cada uno de ellos; estos niveles son los siguientes: *Orden, Sub-orden, Grupo, Sub-grupo, Familia y Serie*, en cada uno de los cuales el nombre atribuido a un suelo resulta auto explicativo. De acuerdo al nivel del estudio realizado en este municipio, los datos recabados permitieron clasificar los suelos hasta el nivel de "Sub-grupo taxonómico".

b) Ponderación de capacidad de recarga según el tipo de suelos

En la identificación de ZPRH, el estudio del suelo es importante porque refleja su textura, porosidad, permeabilidad y compactación. Así, entre mayor sea la porosidad, el tamaño de las partículas, mayor será la capacidad de infiltración. Las zonas de recarga hídrica deben ser muy permeables para asegurar una alta capacidad de infiltración; es decir que en suelos con textura gruesa, porosos (permeables), se dan buenos niveles de recarga hídrica. En suelos de textura fina (arcillosos, pesados) y compactados impiden o dificultan la recarga hídrica. Para encontrar las ZPRH hay que evaluar en el campo, junto con los actores locales, dos elementos que influyen en la permeabilidad del suelo: a) la textura y b) la capacidad de infiltración.

c) Textura del suelo

El suelo está constituido por partículas de muy diferentes tamaños. Textura es la proporción en la que se encuentran distribuidas las diferentes partículas elementales que pueden conformar un sustrato. Según sea el tamaño, porosidad o absorción del agua en la partícula del suelo o sustrato, puede clasificarse en 3 grupos básicos que son: la arena, el limo y las arcillas. La ponderación de la capacidad de recarga en los diferentes tipos de texturas se presenta en el cuadro 2.

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

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

Fuente: Matus, 2007

La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa. En el campo se determinó la textura del suelo por el método del tacto según la metodología de Porta et al, 2005 (ver figura 3) y se procedió de la siguiente manera:

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

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

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

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

- Sin cohesión ni adherencia en húmedo, granos visibles: **arenosa**.
- Ligera cohesión en húmedo, puede amasarse una bola cuando está suficientemente húmedo, no se adhiere a los dedos: **arenosa franca**.

- Se puede hacer el cilindro de 3 mm de diámetro: ir a 4.

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

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

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

- Se puede hacer el cilindro de 1 mm de diámetro: ir a 5.

5.- Intentar hacer un cilindro de 3 mm de diámetro:

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

- En húmedo: muy adherente, une los dedos muy fuertemente, se puede formar una bola que es difícil de deformar, superficie brillante, pero tacto abrasivo y áspero: **arcillo – arenosa.**
- En húmedo: fácil de moldear en una bola; aunque contiene arena no es abrasivo al tacto, insuficiente contenido de limo para ser sedoso al tacto; insuficiente arcilla para ser adherente o tener un aspecto brillante: **franca** (p.p.).
- Posible: **franco-arcillo-arenosa** (p.p.).
- Posible: **franco-arenosa** (p.p.).

- Se puede hacer el cilindro de 3 mm de diámetro: ir a 6.

6.- Intentar hacer un cilindro de 1 mm de diámetro:

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

- En húmedo: tacto muy suave, sedoso, untuoso, no plástico; al deslizar la muestra entre los dedos la superficie aparece débilmente brillante: **limosa**
- En húmedo: tacto suave, sedoso, fuertemente cohesivo: **franco-limosa.**

- En húmedo: adherente, muy suave, une los dedos, resiste la deformación, superficie brillante. En seco, tacto polvos de talco: **franco-arcillo-limosa**.
- Se puede hacer el cilindro de 1 mm de diámetro, predomina la arcilla:
 - En húmedo: es adherente, une fuertemente los dedos, resiste la deformación, superficie de aspecto brillante: **franco-arcillosa**.
 - Muy adherente, une los dedos muy fuertemente, una bola es muy difícil de deformar, superficie de aspecto brillante: **arcillo-limosa**.
 - En húmedo extremadamente adherente, une los dedos muy frecuentemente; muy plástico; una bola es muy difícil de deformar con la mano, adquiere una superficie brillante cuando se hace deslizar entre los dedos: **arcillosa**.

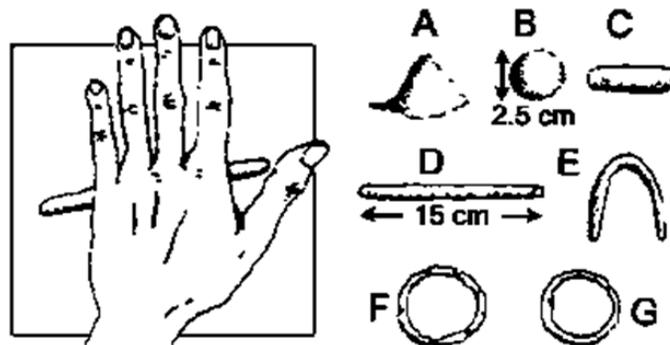


Figura 3. Determinación en campo de textura del suelo, fuente Ilaco (1985)

d) Infiltración de agua en el suelo

La velocidad de infiltración es una medida de la rapidez que el agua penetra en el suelo. El agua que penetra demasiado lenta puede provocar anegamiento en terrenos planos o erosión por escurrimiento en campos en pendiente. La textura, o porcentaje de arena, limo y arcilla, afecta el régimen de infiltración. Usualmente, suelos arenosos presentan regímenes de infiltración veloces (Hillel, 1982).

La infiltración decrece cuando el tamaño o cantidad de espacios porosos son aminorados por condiciones tales como destrucción de la estructura, taponamiento de poros por partículas, o movimientos más lentos de aguas más profundas cuando llegan a subsuelos más densos (Donahue et al., 1997). En el cuadro 3 se muestran las velocidades de infiltración, y las clases de infiltración pertinentes.

Estas clases son las clases de permeabilidad históricamente usadas en el reconocimiento edafológico del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (Soil Survey). Las clases son estimadas a partir de propiedades del suelo y se refieren a una velocidad de infiltración estable.

Cuadro 3. Velocidades y Clases de Infiltración

Velocidad de infiltración (centímetro por minutos)	Velocidad de infiltración (centímetros por hora)	Clases de infiltración
<1.18	> 50.80	Muy rápido
1.18 – 3.94	15.24 – 50.80	Rápido
3.94 – 11.81	50.80 – 15.24	Moderadamente rápido
11.81 – 39.37	15.24 – 50.08	Moderado
39.37 – 118.11	5.08 – 1.52	Moderadamente lento
118.11 – 393.70	1.52 – 0.51	Lento
393.70 – 15,748.03	0.51 – 0.0038	Muy lento
> 15,748.03	< 0.0038	Impermeable

Fuente: USDA, 1993.

Las pruebas de infiltración se realizaron en diferentes usos del suelo y durante 10 minutos, las lecturas (en centímetros) se efectuaron cada minuto, así se pudo determinar la cantidad de agua que infiltraba en ese tiempo determinado. Los criterios que se tomaron en cuenta para la realización de cada una de las pruebas fueron el uso del suelo y el tiempo.

Materiales necesarios para la medida de infiltración

- Cilindro de 6 pulgadas de diámetro
- envoltura plástica
- botella plástica o cilindro graduado de 500 mL.
- agua destilada
- cronómetro

Pasos a seguir para realizar la prueba de infiltración del suelo

1.- Afirmary el Suelo.

Con el cilindro de 6 cm de diámetro emplazado en su sitio, con los dedos y con mucho cuidado, se afirmó el suelo suavemente alrededor de los bordes internos del cilindro para prevenir filtraciones adicionales. Evitar disturbar el resto de la superficie del suelo dentro del cilindro.

2.- Cubrir el cilindro con una envoltura de plástico.

Se cubrió con una lámina de plástico, el cilindro y la superficie del suelo dentro del cilindro. Este procedimiento evita disturbar la superficie del suelo al agregar el agua.

3.- Agregar Agua:

- Se llenó la botella plástica, o el cilindro marcado, hasta la marca de 444 ml, con agua.
- Se vertieron los 444 ml de agua (1 pulgada =2.54 cm de agua), en el cilindro recubierto con un envoltura de plástico.

4.- Remover plástico y registrar el tiempo:

- Se sacó la cobertura de plástico tirando con cuidado hacia fuera, dejando el agua dentro del cilindro. Inmediatamente se anotó el tiempo.
- Se registró el tiempo (en minutos) que requiere 1 pulgada (2.54 cm) de agua para penetrar en el suelo.
- Se detuvo el cronometro justo cuando la superficie se puso brillante.
- Se anotó este tiempo (en minutos) en la hoja de trabajo de los datos de suelo.

El contenido de humedad del suelo va a afectar la velocidad de infiltración; por esto, esencialmente se efectúan dos ensayos de infiltración (sí el suelo está seco). La primera pulgada moja el suelo, y la segunda pulgada da una mejor estimación de la velocidad de infiltración del suelo.

- **Tipo de roca**

El análisis y evaluación del tipo de roca permite determinar si la recarga es sub-superficial (recarga hídrica) o profunda de aguas subterráneas (acuífero). Se puede tener una zona con buenas características climáticas, de pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal y buen uso del suelo que favorezcan la recarga del acuífero, pero si existe una capa de material rocoso o arcilla impermeable que no permite el paso del agua hacia las capas profundas del suelo, no habrá recarga de las aguas subterráneas sino que se formará un flujo de agua sub-superficial, con movimiento horizontal, que saldrá a la superficie a través de un manantial o alimentará a un río (INAB, 2003).

Al igual que con el tipo de suelo, las características de las rocas que determinan su capacidad de recarga son la porosidad y la permeabilidad. Las rocas duras con poros finos no favorecen la recarga; por el contrario, las rocas suaves o permeables, con macro-poros, fallas o fracturas sí la favorecen. El análisis y evaluación del tipo de roca se hizo en campo con la participación, el conocimiento y experiencia de los actores locales. En el cuadro 4 se presenta la ponderación de su capacidad de recarga hídrica según el tipo de roca.

Las áreas de descarga natural de aguas subterráneas están localizadas en ciertas zonas donde el nivel freático aflora a la superficie del terreno. En zonas de rocas meteorizadas (descompuestas), alternando con capas de rocas frescas o poco meteorizadas, fracturadas, favorecen la formación de acuíferos colgados que, al ser cortados por las quebradas, dan origen a los numerosos manantiales (ojos de agua) que brotan en las zonas altas del área a diferentes alturas topográficas.

Cuadro 4. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el tipo de roca

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

Fuente: Matus, 2007

- **Uso Actual de la Tierra**

- *Procesamiento de las imágenes de satélite*

Para la determinación del uso del suelo se emplearon imágenes de satélite Rapid Eye de resolución espacial de 5 m de los años 2011 y 2012, teniendo como referencia de información secundaria el Mapa de uso actual de la tierra del año 2011 del MAGFOR. La clasificación se realizó utilizando el método supervisado con el software ERDAS IMAGINE 2010.

Este método consistió en la selección de áreas representativas de cada cobertura del suelo para obtener su valor espectral, conocidas como campos de entrenamiento, en donde se conoce su localización UTM y tipo de cobertura, los que luego son utilizados para identificar las firmas espectrales de los tipos de utilización de la tierra en imágenes de satélite multibanda. Uno de los primeros pasos para el análisis es la Corrección Geométrica (Geo-referenciación) y Radiométrica.

Para cada tipo de uso de la tierra se obtiene una firma espectral, que sirve para identificar en el resto de la imagen los usos similares y el mapeo del territorio completo. Una vez que se prepara el mapa preliminar, se comprueban las áreas que han quedado sin clasificar y se ajusta a los tipos de uso identificados.

La comprobación de campo y el levantamiento de puntos GPS de los “campos de entrenamiento”, se hizo acompañado de los técnicos de las alcaldías municipales donde se realizó el estudio. La georeferenciación de las imágenes se basó en el sistema de coordenadas local *UTM WGS 84, Zona 16N*.

Las imágenes de satélite rapid eyes no cubrían la parte norte fronteriza con Honduras, por lo que se utilizaron imágenes Landsat de 30 metros de resolución para completar el mapa. Se utilizó el criterio de máxima verosimilitud para construir la imagen espectral que permitió clasificar las imágenes según las siguientes coberturas: 1) pastizal o uso extensivo, 2) bosque latifoliado cerrado y abierto, 3) cuerpos de agua, 4) áreas urbanas, 5) suelo sin vegetación, 6) tacotales y 7) café bajo sombra.

- *Usos del suelo*

El uso del suelo es el componente con mayor influencia de la actividad humana y por ende el que más cambia. Los cambios de uso del territorio marcan un deterioro de los recursos naturales principalmente el suelo influyendo mucho en la escorrentía superficial, provocando una disminución en la recarga del acuífero, además que expone a los suelos a la erosión hídrica como eólica, así como la degradación física, química y biológica de los mismos. Es importante mantener o establecer los usos que, por sus características, favorecen la infiltración del agua, y evitar los usos que deterioran los suelos. En el cuadro 5 se presenta una clasificación del potencial de diferentes usos para la recarga hídrica.

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

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

Fuente: Matus, 2007

- **Cobertura vegetal permanente**

Es toda vegetación natural correspondiente a un área o territorio, que incluye principalmente: bosques, matorrales, sabanas, vegetación de agua dulce, terrenos con escasa vegetación y áreas agropecuarias en uso. Cobertura Boscosa está conformada por especies con tallo y tronco leñoso; que se encuentran tanto en el bosque tropical lluvioso como el tropical seco.

La cobertura del suelo es otro elemento considerado en la metodología porque es un recurso natural que protege al suelo, influye en la infiltración del agua, y permite al agua permanecer más tiempo en el suelo, disminuye la velocidad de la escorrentía, disminuye los riesgo de la erosión, el impacto de la gota de lluvia y la resequedad causada por los rayos del sol. Todo esto contribuye a conservar las características del suelo que favorecen la recarga hídrica. La cobertura vegetal puede facilitar la infiltración del agua aún en suelos duros y arcillosos.

La presencia de varios estratos de cobertura vegetal favorece la recarga hídrica y ayuda a conservar las características del suelo que también favorecen la recarga. Al hablar de estratos se consideran básicamente tres: los árboles, los arbustos y las hierbas. Todos ellos garantizan una mejor cubierta vegetal, mayor cantidad de materia orgánica, mayor retención del agua y mayor infiltración. La evaluación de la cobertura vegetal se puede hacer en el campo por medio de un recorrido que nos permita determinar los diferentes usos permanentes del suelo en la zona con potencial de recarga hídrica y los estratos presentes; para ello se hace uso de la clasificación que se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Usos de la tierra y Estratos

Usos de la tierra	Tipo de estrato	Numero de estratos
Bosque latofoliado Cerrado	Árboles, Arbustos, hierbas	3
Bosque latofoliado Abierto	Árboles, hierbas	2
Café bajo sombra	Árboles, arbustos(café)	2
Tacotal	Arbustos, hierbas	2
Pasto más arboles	árboles, hierbas	2
Pastizales	Hierba	1
Cultivos anuales	Cultivo	1
Centros urbanos	Impermeable	0

Fuente: Matus, 2007

El porcentaje de cobertura vegetal va estar en función del tipo y el número de estratos presentes en determinada área, es decir del uso de la tierra, por ende la posibilidad de recarga puede ser muy alta a muy baja. En el cuadro 7 se presentan los valores ponderados para los diferentes porcentajes de cobertura vegetal permanente, que posibilitan la recarga del acuífero.

Cuadro 7. Ponderación de la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura

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

Fuente: Matus, 2007

El mapa preliminar se obtuvo con la interpretación de imágenes de satélite rapid eye (resolución 5 metros), posteriormente con el muestreo de campo y con la descripción de las comunidades o asociaciones vegetales se elaboró el mapa final de formaciones vegetales del área de estudio.

3.2.3. Etapa III: Post-Campo

- Paso 6.- Determinación del potencial de recarga de las zonas evaluadas

Según Matus 2007, para determinar **la posibilidad de recarga hídrica** de una zona dada, una vez que se evalúan las características de la zona considerando los elementos de la metodología y las matrices diseñadas para tal efecto (cuadros de evaluación). La determinación del potencial de recarga se obtuvo utilizando el siguiente modelo:

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

Dónde:

Pend: Pendiente y micro-relieve
Ts: Tipo de suelo
Tr: Tipo de roca
Cve: Cobertura vegetal permanente
Us: Usos del suelo

Fuente: Matus, 2007

Al aplicar el modelo se obtiene un resultado que corresponde a un valor dentro de un rango de posibilidades de recarga hídrica, el cual se detalla en el cuadro 8. La asignación de pesos relativos a cada elemento se hace en función de la importancia de ese elemento en el proceso de infiltración del agua; o sea que los criterios que más favorecen la infiltración del agua en el suelo son los de mayor importancia.

Cuadro 8. Potencial de recarga hídrica según el modelo propuesto

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

Fuente: Matus, 2007

Una vez que se identificaron los elementos que integran el modelo, se procedió a darle asignación de pesos relativos o ponderación a cada elemento, en función de la importancia que cada uno representa en el proceso de infiltración del agua, es decir, qué elemento favorece más la infiltración y darle mayor peso.

En este estudio se utilizaron los valores de pesos relativos obtenidos por Matus (2007) que obtuvo mediante el método análisis multicriterio, que utilizó CATIE (2006) en la ponderación de indicadores y análisis multicriterio. La ponderación se basó en la experiencia e información de extensionistas de la zona para asignarle valor a cada elemento. El método permite efectuar un análisis de los diferentes puntos de vista de los extensionistas con relación a la importancia cuantitativa de cada criterio, en función de su influencia en la infiltración.

Matus utilizó simultáneamente dos métodos sencillos para el análisis multicriterio: a) la clasificación según la importancia; b) el rateo (distribuir, repartir proporcionalmente). A continuación se explica el procedimiento aplicado para cada método.

La clasificación consiste en ordenar todos los elementos en una lista por orden de importancia, donde el más importante tiene la clasificación más alta y el menos importante la más baja. Por ejemplo, si hay tres criterios/elementos, el más importante tendrá valor de 3, el siguiente 2 y el menos importante un valor de 1.

La técnica del rateo, consiste en que cada extensionista asigne una puntuación/calificación entre 0 y 100 a los elementos de la metodología. La suma de todos los elementos debe ser 100. Por ejemplo, siempre con los tres elementos, al más importante 50, al siguiente 40 y al último 10.

- Paso 7.- Se elaboró el mapa de la zona potencial de recarga hídrica identificada y clasificada para los territorios en estudio.
- Paso 8.- Se caracterizaron las zonas de recarga hídrica, que contenían los resultados del análisis y evaluación, más algunos elementos que aportaron los actores locales o que no se hubieran evaluado en la metodología.
- Paso 9.- Propuesta de estrategias y acciones para el manejo de la ZPRH

Se elaboró una propuesta de estrategias y acciones en pro de ordenar y mejorar el uso y manejo de dichas zona en función de garantizar la sostenibilidad de los flujos de recarga de los acuíferos y la calidad adecuada para el consumo humano, previniendo y manejando las posibles fuentes de contaminación que se puedan generar dentro de estas áreas.

- Paso 10. Difusión de resultados obtenidos del proceso.

Se dieron a conocer los resultados y recomendaciones obtenidas del proceso de aplicación de la metodología a los comunitarios, extensionistas, organismos e instituciones locales; para la gestión de las zonas potenciales de recarga hídrica en función de unir esfuerzos y garantizar la continuidad y calidad del recurso hídrico en el territorio.

3.3. Estimación del Clima y Balance Hídrico de Suelo con escenarios climáticos actuales y futuros

El agua, aunque se encuentra en movimiento continuo, es cuantificable y debido a los requerimientos actuales del hombre, es necesario conocer con exactitud ese movimiento y definirlo, para aprovechar de forma racional los recursos hídricos y que no se modifiquen de forma irreversible, las fases que intervienen en el ciclo del agua. Conocer el régimen hídrico de una región tiene valiosas aplicaciones en diversas áreas. En ciencias agronómicas, con el objeto de minimizar riesgos en los procesos de producción sirve de base para la zonificación de cultivos, caracterización de sequías, determinación de épocas de siembra, programación de riego e identificación de necesidades de drenaje (Ferguson 1996; Lozada & César 2003; McCabe & Markstrom 2007).

El balance hídrico es la evaluación cuantitativa de la economía hídrica en un lugar y tiempo determinado (Villón, 2004). La evaluación de los recursos hídricos requiere una correcta estimación del balance hidrológico de la repartición de la precipitación entre evapotranspiración, escorrentía y recarga de los acuíferos (Faustino, 2006).

Según Pumain, citado por Barrera y Amador (2008) el balance hídrico se establece para un lugar y un período dado, por comparación entre los aportes y las pérdidas de agua en ese lugar y para ese período. Se tienen también en cuenta la constitución de reservas y las extracciones ulteriores sobre esas reservas. Las aportaciones de agua se efectúan gracias a las precipitaciones. Las pérdidas se deben esencialmente a la combinación de la evaporación y la transpiración de las plantas, lo cual se designa bajo el término evapotranspiración. Las dos magnitudes se evalúan en cantidad de agua por unidad de superficie, pero se traducen generalmente en alturas de agua; la unidad más utilizada es el milímetro.

El conocimiento del balance hídrico da una aproximación de las disponibilidades de agua en un lugar o área. También permite conocer las deficiencias y excesos de agua y es de aplicación para las clasificaciones climáticas, para definir la hidrología de una zona y para la planificación hidrológica.

En el balance de agua por Thornthwaite, considera que todos los suelos hasta 1 metro de profundidad, tienen la capacidad de almacenar, como máximo, 100 mm de agua útil, y se puede utilizar este dato, sino se cuenta con información de los suelos. Pero no todos los suelos son iguales ni tienen la profundidad de 1 metro, sino que considera, el tipo de suelo y su profundidad radicular, por lo que se determina la capacidad de almacenaje de agua de los suelos. Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración potencial media mensual calculada a partir del método de Thornthwaite, se puede determinar el balance hídrico del agua en el suelo a lo largo del año.

A partir de datos meteorológicos disponibles, y para cada una de las situaciones del municipio, se calcularon los balances hídricos, para diferentes hipótesis de capacidad de campo de suelo. Los elementos que intervienen en dicho cálculo y que es preciso determinar son los siguientes:

a) **Capacidad de Retención de Agua Disponible:**

La capacidad de retención de agua disponible (CRAD), es el intervalo de humedad disponible que se define como el agua del suelo que puede ser absorbida a un ritmo adecuado para permitir el crecimiento normal de las plantas.

Se suele calcular como la diferencia entre los valores de la capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente, profundidad efectiva, textura y densidad aparente del suelo:

$$\text{CRAD} = H \times Da \times (\text{CC} - \text{PMP}) / 100$$

Dónde:

H = Profundidad del suelo (cm) a la que llegan las raíces

Da = Densidad aparente del suelo (gr/cm^3)

CC = Capacidad de Campo (%)

PMP = Punto de Marchitez Permanente (%)

Para aplicar esta fórmula, es indispensable determinar cada uno de los componentes que intervienen.

- b) Pluviometría media mensual (P), obtenidas a partir de registros de la zona.
- c) Cálculo de la Evapotranspiración a través del Método Thornthwaite

Se hizo lo siguiente:

1. Calcular la evapotranspiración mensual e , en mm por mes de 30 días de 12 horas de duración.

$$e = 16 \left(10 \frac{t}{I} \right)^a$$

Dónde:

e = evapotranspiración mensual en mm por mes de 30 días, y 12 horas de duración

t = temperatura media mensual en °C

$I = \sum i$ = índice térmico anual

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

Índice térmico mensual

$$a = 0.6751 \times 10^{-6} I^3 - 0.771 \times 10^{-4} I^2 + 0.01792 I + 0.49239$$

a = exponente que varía con el índice anual de calor de la localidad

Los valores obtenidos de e deben ser ajustados a la longitud del día y el número de días en el mes. Debido a dicho ajuste, los valores de e obtenidos deben ser multiplicados por el factor de corrección y dependen de la latitud y el mes.

- d) Pérdidas o adiciones potenciales de la humedad del suelo (P-ETP), los valores positivos corresponden a adiciones potenciales y los negativos a pérdidas potenciales, ambos relativos al contenido de humedad en el suelo. Los meses con valores positivos constituyen el periodo húmedo y aquellos con valores negativos, el periodo seco.
- e) Pérdida potencial acumulada (p.p.a.), para cada mes se obtiene como suma de las pérdidas potenciales existentes en dicho mes y los anteriores.
- f) Agua almacenada en el suelo (RES), es la cantidad de agua capilar contenida por el suelo, que depende de la capacidad de campo y de las pérdidas potenciales acumuladas. Cambios de la humedad acumulada en el suelo (Δ RES), para cada mes se obtiene por la diferencia entre la humedad que contiene al final del mismo y la de su inmediato anterior.
- g) Evapotranspiración real (ETR), para los meses en que las precipitaciones superan a la evapotranspiración potencial, su valor es igual al de ésta, más las pérdidas de agua almacenadas en el suelo.

- h) Déficit de humedad (D), es igual a la diferencia entre la evapotranspiración potencial y real.
- i) Exceso de humedad (S), su valor es la diferencia $(P - ETP) - \Delta RES$, sólo tiene existencia en los meses en que $P - ETP$ sea positivo y además el suelo alcance su capacidad de campo, pues en caso contrario la diferencia pasa a engrosar el contenido en humedad del suelo.
- j) Escorrentía total (R), se considera que la escorrentía de cada mes es igual al 50 % de la suma de la aportación mensual más lo que queda de los meses anteriores.

3.4. Valoración de la recarga del acuífero

La Recarga de Agua Subterránea, es un método científico, teórico que sirve como herramienta para tomar decisiones en la protección y el manejo sostenible del recurso hídrico, como también en el ordenamiento territorial. Del balance hídrico del suelo, se obtiene la evapotranspiración real que junto con la precipitación permite determinar el Balance Climático del suelo.

La valoración de la recarga del acuífero se hizo a través del método Recarga de Agua Subterránea (RAS), cuya estimación se basa en el balance climático multiplicado por un coeficiente de infiltración según la metodología desarrollada por Schosinky y Losilla (2000). Este valor obtenido se multiplicó por el área de suelo que hay en cada zona de recarga o área de los municipios, determinando la cantidad de agua que infiltra y que puede llegar a recargar el acuífero. La ecuación utilizada para determinar la recarga de agua subterránea fue:

$$R = BC * C$$

Dónde:

R = Recarga acuífera

BC = Balance climático

C = Coeficiente de infiltración

El balance climático permite obtener la información de la cantidad de agua que está disponible en el acuífero.

$$BC = P - ETP_{real}$$

Donde:

BC = Balance Climático

P = Precipitación (mm)

ETP real = Evapotranspiración real (mm)

$$C = k_{fc} + k_p + k_v$$

Donde:

C = Coeficiente de infiltración

K_{fc} = Coeficiente del tipo del suelo

K_p = Coeficiente de pendiente

K_v = Coeficiente del uso del suelo

Se describen a continuación los parámetros para calcular el Coeficiente de infiltración (C)

a) Cálculo del *k_{fc}*

Refleja la permeabilidad del suelo. Rocas impermeables o suelos arcillosos impiden la recarga; al contrario, suelos recientes, no compactados y arenosos facilitan la infiltración. En el cuadro 9 se presenta los valores de los *K_{fc}* según el tipo de suelo.

Cuadro 9. Coeficientes según el tipo del suelo para Recarga Agua Subterránea

Tipo de Suelo	K_{fc}
Suelos arcillosos, latosoles de altura, zonas urbanas, suelos o rocas compactas e impermeables.	0,10
Suelos de combinación de limo y arcilla, litosoles y regosoles de valle, zonas con fallas tectónicas.	0,15
Suelos arenosos, recientes, suelos de cauce de ríos, suelos no muy compactos, zonas con muchas fallas.	0.20

b) Cálculo de k_p

Es un factor sumamente importante, ya que se relaciona directamente con la escorrentía de agua superficial que no llega al acuífero. A través de un mapa topográfico se asigna a cada zona de estudio un coeficiente de pendiente K_p . El cuadro 10 muestra los valores de K_p según el tipo de pendiente.

Cuadro 10. Coeficientes de pendientes para Recarga Agua Subterránea

Pendiente	K_p
Muy plano	0,40
1 – 15%	0,15
15 – 30%	0,10
30 – 50%	0,07
50 – 70%	0,05
> 70%	0,01

c) Cálculo de k_v

Es un factor importante y el más cambiante en el cálculo de la recarga. En la obtención del coeficiente se inicia con la determinación de la evapotranspiración sobre los suelos con diferentes usos. Un uso inadecuado del suelo puede reducir la recarga acuífera hasta un 50%. En el cuadro 11 presenta valores de K_v para algunos tipos de usos de suelos.

Cuadro 11. Coeficientes de uso del suelo para Recarga Agua Subterránea

Uso del Suelo	K_v	Uso del Suelo	K_v
Vegetación espinosa	0,30	Hortalizas	0,15
Tejido urbano, zonas comerciales	0,30	Cultivos anuales	0,15
Cultivo de piña	0,30	Bosque de coníferas	0,15
Árboles frutales	0,20	Tierras sin bosque	0,15
Bosque de galería	0,20	Zonas verdes urbana	0,15
Bosque latí foliado	0,20	Pastos cultivados	0,10
Plantaciones de bosques mono específicos	0,20	Caña de azúcar	0,10
Sistemas agroforestales	0,20	Lagos, lagunas	0,00
Vegetación arbustiva baja	0,20	Praderas pantanosas	0,05

3.5. Análisis de Datos Climáticos

El análisis de datos climáticos actual y futuro (2050) permitió determinar el comportamiento del clima actual y clima futuro, permitiéndonos predecir el déficit de precipitación y cambios de temperatura para el año 2050. Con estos datos se realizaron los balances hídricos ya que se utilizan datos pluviométricos y también se realiza la valoración de la recarga del acuífero a través del balance hídricos.

a) Clima actual

Para datos del clima actual, se utilizó la base de datos históricos del clima de INETER. Para las estaciones en que había registros de varios años, los promedios se calcularon para el período 1963-1990. Además se utilizaron los registros para las estaciones que había al menos 10 años de datos. En algunos casos el plazo se amplió para el período 1950-2000 para incluir los registros de las zonas donde había disponibles pocos datos recientes o predominantemente recientes. Las variables incluidas son la precipitación total mensual, y la temperatura media mensual, mínima y máxima.

La base de datos consiste de los registros de precipitación a partir de 150 localidades con estaciones pluviométricas, la temperatura mínima, media y máxima se obtuvieron de 18 localidades, con estaciones meteorológicas completas (estaciones principales), debido a que los municipios tienen variaciones en el relieve que afectan la distribución de las precipitaciones y de las temperaturas.

Los datos son generados mediante la interpolación de la media de los datos climáticos mensuales de las estaciones meteorológicas por una malla de resolución de 30 segundos de arco (aproximadamente "1 km " de resolución en el ecuador).

b) Clima Futuro

b1) Modelos de circulación global

Para poder predecir el futuro del clima, se necesitan herramientas para medir cómo responde la Tierra a los cambios; entre estas se tienen los Modelos de Clima Global. Un Modelo de Circulación Global (GCM) es un modelo informático que calcula y predice los patrones climáticos que habrán en un número de años en el futuro.

Los GCMs utilizan las ecuaciones de movimiento como un Modelo Numérico de Predicción del Clima (Numerical Weather Prediction, NWP), con el propósito de simular numéricamente los cambios en el clima como resultado de cambios lentos en algunas condiciones de frontera o alrededor (por ejemplo, la constante solar) o parámetros físicos (tales como la concentración de gases de efecto invernadero).

El modelo se centra en cada celda y la transferencia de energía entre las cuadrículas. Una vez que se calcula la simulación se puede determinar una serie de patrones climáticos, a partir de las corrientes oceánicas y el viento a los patrones de las precipitaciones y las tasas de evaporación que afectan, por ejemplo, los niveles del lago y el crecimiento de las plantas agrícolas (balance hídrico). Los GCMs se hacen en una serie de laboratorios de computación especializados de todo el mundo. Para el presente informe se utilizaron en el análisis los datos de estos laboratorios.

Cientos de investigadores del clima usan los modelos de clima global para comprender mejor los efectos a largo plazo de los cambios globales tales como los crecientes gases de efecto invernadero o la disminución del hielo marino en el Ártico. Los modelos se usan para simular condiciones sobre cientos de años, y así poder predecir cómo cambiará el clima de nuestro planeta.

b2) Generación de escenarios del clima futuro

El Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) se basó en los resultados de 21 modelos climáticos globales (GCMs), los datos que están disponibles a través de una interfaz del IPCC, o directamente de las instituciones que desarrollaron cada uno de los modelos. La resolución espacial de los resultados de los modelos es inapropiada para el análisis de los impactos en la agricultura como en casi todos los casos, la medida de las cuadrículas es más de 100 km de lado. Esto es especialmente un problema en paisajes heterogéneos, tales como zonas de alta montaña, donde, en algunos lugares, una celda puede cubrir todo la amplitud del rango.

La reducción de escala es por tanto, necesaria para proporcionar superficies de mayor resolución de los climas futuros esperados para que los impactos probables del cambio climático en la agricultura sean pronosticados con mayor precisión. Correr el modelo podría tomar cientos de horas en una supercomputadora. Los resultados del modelo, típicamente de muchos gigabytes, son analizados y se comparan con los resultados de otros modelos, así como con observaciones y mediciones.

En este estudio se utilizó un método simple de reducción de escala (llamado método delta), basado en la suma de las anomalías interpoladas a las superficies de alta resolución mensuales para clima de la línea base de INETER. El método, básicamente, produce una superficie suavizada (interpolación) de los cambios en los climas (deltas o anomalías) y luego se aplica esta superficie interpolada al clima de referencia (estaciones de línea base de INETER). El método supone que los cambios en los climas sólo son relevantes a escala gruesa, y que las relaciones entre las variables se mantienen hacia el futuro (Ramírez y Jarvis, 2010).

3.6. Propuesta de estrategias de manejo de los recursos naturales

Para elaborar propuesta de alternativas de manejo para prevenir los posibles efectos derivados del cambio climático en las sub-cuencas hidrográficas de los municipios de Murra y San Juan de Limay, se realizaron en base a la problemática existente en los recursos naturales (suelo, agua y bosque) de los dos municipios en estudio.

Esta problemática reflejó los cambios de uso que han realizado los productores en el territorio, que han venido convirtiendo áreas boscosas a áreas de pastizales o potreros, o cultivos anuales favoreciendo las pérdidas de suelos por erosión hídrica, pérdida de materia orgánica, compactación, pérdida de la fertilidad, disminución de la capacidad de retención del agua y por tanto aumento del déficit de agua, influyendo en su disponibilidad (calidad y cantidad).

Elaborar la propuesta de alternativas permitirá que en las sub cuencas de ambos municipios sean menos vulnerables a los efectos de la variabilidad climática y por ende al cambio climático, contribuyendo de esta forma a la sostenibilidad de los recursos naturales. Además de proteger los recursos hídricos, implementándose técnicas apropiadas de recuperación y/o conservación de suelos y agua, para mejorar la productividad del suelo que permita aumentar el rendimiento de los cultivos y mejorar el nivel de vida de la población.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación práctica de los elementos de las Zonas potenciales de Recarga Hídrica

4.1.1. Pendiente y relieve

En cuanto a la pendiente y condiciones del terreno en el municipio de Murra y San Juan de Limay, indican que las pendientes más predominantes son las que están comprendidas en el rango de 15-45% (ondulado o cóncavo), las cuales representan el 67.78 % (290.76 km²) para el municipio de Murra y para el municipio de San Juan de Limay el 57.02% (248.9 km²) del área total de cada municipio, lo que implica una posibilidad de recarga hídrica moderada en ambos municipios.

Los terrenos con pendiente fuertemente escarpada >65% implican una posibilidad de recarga hídrica muy baja, que para el municipio de Murra esta representa el 2.43% (10.43 km²) del área total, en cambio para San Juan de Limay representa el 2.08% (9.07 km²), estas pendientes favorecen la escorrentía superficial y por lo tanto contribuyen a acelerar los procesos erosivos del suelo.

Las pendientes escarpadas (45-65%) indican una posibilidad de recarga baja las cuales constituyen el 11.63% (49.91 km²) en Murra y 8.61% (37.59 km²) para San Juan de Limay del área total de cada municipio.

Las pendientes comprendidas entre los rangos de 6-15% (moderadamente ondulado o cóncavo) representan en Murra el 14.40% (61.78 km²) y con un área de 19.18% (83.72 km²) en San Juan de Limay, indicando una posibilidad de recarga hídrica alta ya que estas pendientes facilitan la infiltración del agua de lluvia en el suelo, recargando los acuíferos.

Los terrenos con pendientes de 0-6% (planos a casi planos, con o sin rugosidad) constituyen una posibilidad de recarga hídrica muy alta y estos en el municipio de Murra representan el 3.75% (16.8 km²) del área total municipal y para San Juan de Limay el 13.11% (57.23 km²) de su área total. (Ver cuadro 12). En las figuras 4 y 5 se muestra la distribución de las pendientes en los municipios de Murra y San Juan de Limay.

Cuadro 12. Posibilidad de recarga según el tipo de pendiente y micro-relieve predominante en los municipios de Murra y San Juan de Limay.

Municipios			Murra		San Juan de Limay	
Pendiente %	Posibilidad de recarga	Ponderación	Área km ²	%	Área km ²	%
>65	Muy Baja	1	10.43	2.43	9.07	2.08
45 – 65	Baja	2	49.91	11.63	37.59	8.61
15 – 45	Moderada	3	290.76	67.78	248.92	57.02
6 – 15	Alta	4	61.78	14.4	83.72	19.18
0 – 6	Muy Alta	5	16.08	3.75	57.23	13.11
	Total		428.96	100.00	436.53	100.00

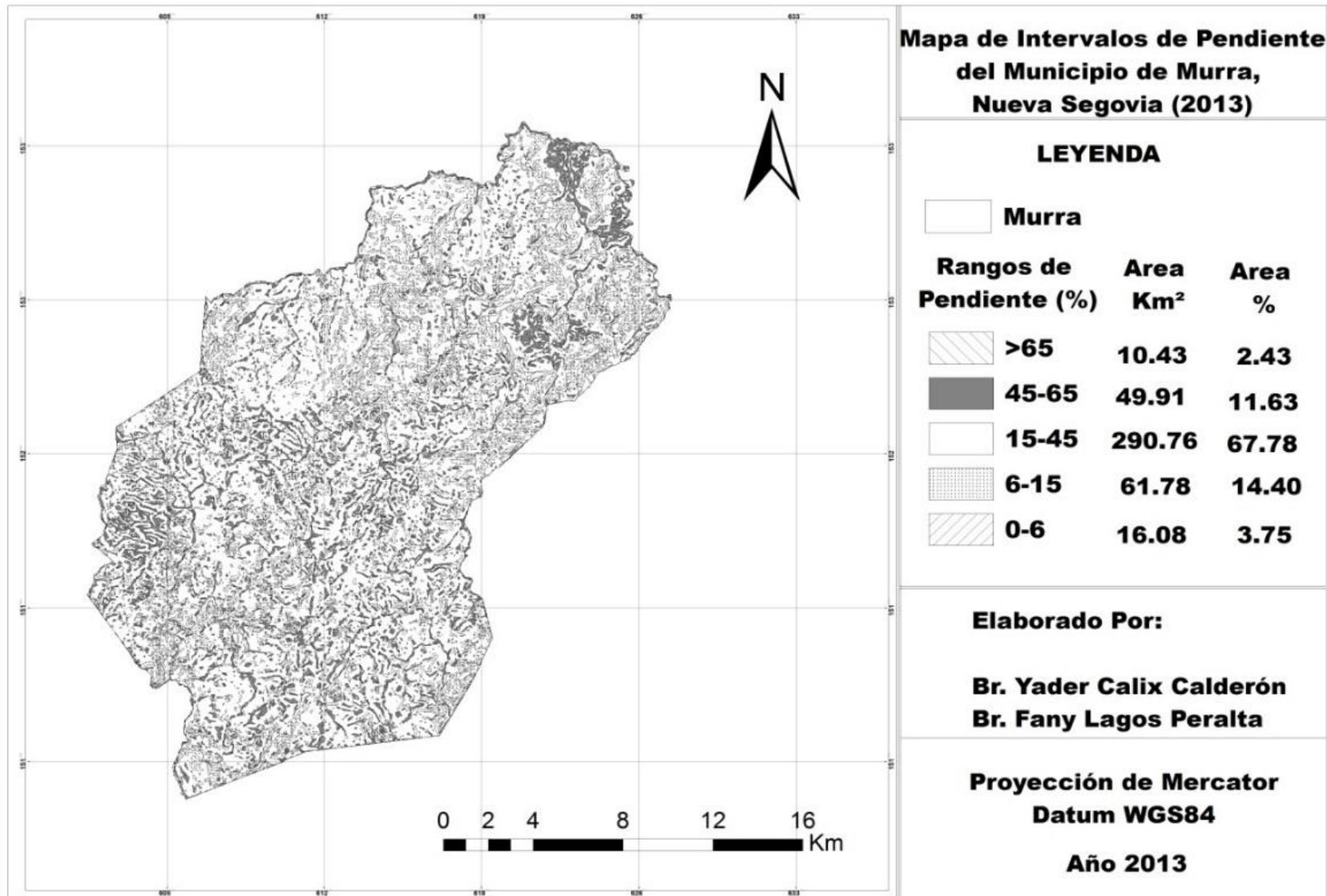


Figura 4. Mapa de intervalos de pendiente del municipio de Murra, Nueva Segovia

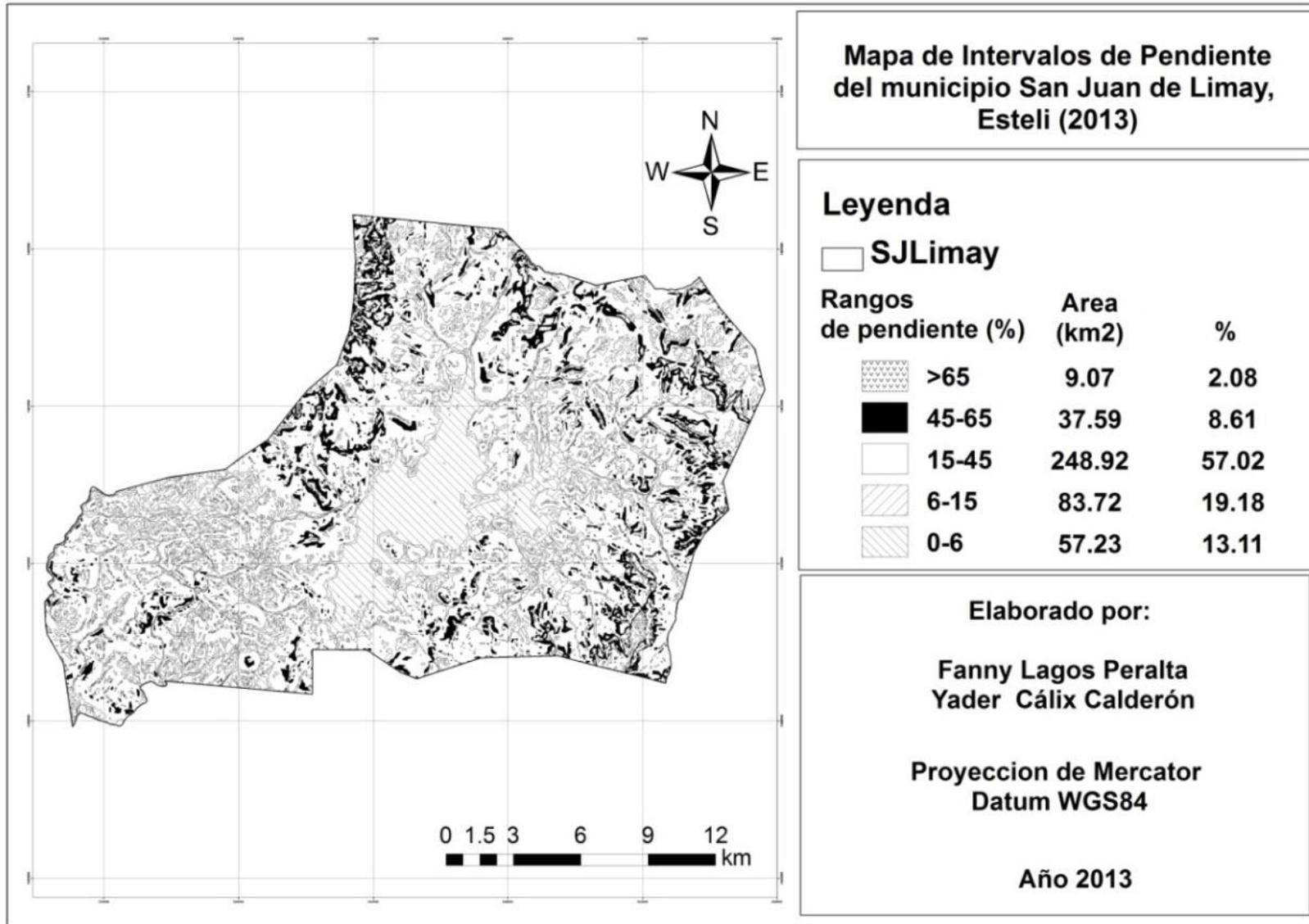


Figura 5. Mapa de Intervalos de pendiente del municipio de San Juan de Limay, Estelí

4.1.2. Tipo de Suelos

En el estudio realizado en estos municipios los resultados se presentan a nivel de orden de suelos, a continuación se describe cada orden de suelo presente:

✓ Orden Alfisol

El municipio de Murra presenta en todo su territorio suelos de Orden Alfisol (428.92 km²), son suelos maduros bien desarrollados, con horizontes superficiales con colores claros y oscuros; presenta una fertilidad de baja a media (saturación de bases mayor de 35%) que conservan reservas considerables de minerales primarios; especificando que cuenta con un horizonte argílico (Bt) arcillosos enriquecidos por iluviación.

No obstante debe de tener en consideración que estos suelos son muy propensos a erosionarse debido a que presenta un subsuelo formado por esquistos que son rocas impermeables las cuales no permiten la infiltración de agua hacia las capas más profundas, asociadas con el porcentaje de pendiente que favorecen al desequilibrio de laderas provocando deslizamientos de tierra.

Dentro del orden Alfisol en este municipio se identificaron 3 sub-grupos taxonómicos de suelo los cuales muestran una textura franco arcilloso por lo consiguiente la recarga hídrica es baja exceptuando el sub-grupo mollic hapludalfs el cual presenta una moderada posibilidad de recarga hídrica debido a que posee una textura franco arcillosa arenosa. En el cuadro 13 se presentan las áreas que ocupan los sub-grupos de suelos en el municipio de Murra.

Cuadro 13. Áreas ocupadas por sub-grupos de suelos en el municipio de Murra

Sub-grupo de suelos	Murra		
	Km ²	Hectáreas	%
Mollic Hapludalfs	255.25	25524.75	59.51
Typic Kandiudalfs	0.83	83.00	0.19
Typic Kanhapludalfs	24.81	2480.75	5.78
Typic Kandiudalfs erosionado	148.03	14803.25	34.51
Total	428.92	42892.00	100

En el municipio de San Juan de Limay los suelos de orden Alfisol, ocupan un área de 201.49 km² (46.16 %) del área total municipal, demuestran posibilidad de recarga alta ya que posee una textura franco arcillosa y un buen porcentaje de cobertura vegetal debido a que su uso actual es de bosque latifoliado abierto. También encontramos suelos de orden Entisol con un área de 101.7 km², equivalente a 23.29% del área total del municipio y suelos de orden Vertisol con un área de 133.34 km² que corresponde a 30.55% del territorio del municipio. En el cuadro 14 se presentan las áreas que ocupan los sub-grupos de suelos en el municipio de San Juan de Limay.

Este tipo de suelos Alfisoles son aptos para sistemas agroforestales y silvopastoriles. En elevaciones arriba de 800 metros son aptos para café bajo sombra, pero con obras de conservación de suelos y agua, con el propósito de conservar y/o aumentar su fertilidad y reducir la erosión; sin embargo están siendo usados en su mayor área con pastos y tacotales.

✓ Orden Entisol

Son suelos muy poco desarrollados (es el orden de suelos con más baja evolución), cuyas propiedades están ampliamente determinadas (heredadas) por el material original. Son suelos sin evidencias (o muy pocas) de horizontes edáficos, ya sea por corresponder a suelos recientes, saturación de agua permanente, erosión intensa, estar en clima árido o sobre roca muy resistente. Muchos Entisoles tienen un epipedión óchrico y algunos un epipedion antrópico; suelen ser arenosos y muy poco potentes.

En el municipio de San Juan de Limay ocupan un área de 101.7 km², equivalente a 23.29% del área total del municipio, presentando una posibilidad de recarga baja ya que posee un bajo porcentaje de cobertura vegetal debido a que su uso actual es de pastos, cultivos anuales y tacotales. Estos suelos son aptos para sistemas silvopastoriles (pasto con árboles), sistema agroforestal, forestales, protección de flora y fauna, protección de áreas de recarga de acuíferos.

✓ Orden Vertisol

Son suelos negros, arcillosos pesados, profundos a moderadamente profundos, pobremente drenados, con permeabilidad muy lenta, capacidad de humedad disponible moderadamente alta y una zona radicular moderadamente profunda. Se han derivado de materiales madres básicos como cenizas volcánicas, toba y basalto, depositados en áreas planas a ligeramente onduladas, pero con problemas de drenaje y alternancia de periodos secos y húmedos.

Suelos con un elevado contenido en arcillas expansibles y que en algún momento del año se secan y se agrietan hasta 50 cm de profundidad. Se expanden cuando están húmedos y se contraen cuando están secos. Causan ruptura de raíces y estrés a las plantas.

En el municipio de San Juan de Limay ocupan un área de 133.34 km² que corresponde a 30.55% de territorio del municipio, mostrando posibilidad de recarga muy baja puesto que son suelos sin vegetación y su porcentaje de pendiente es elevado esto favorece a la pérdida de agua por escorrentía superficial. Dentro de este orden se clasificó a nivel de sub-grupo taxonómico: Typic Haplusterts.

Cuadro 14. Sub-grupo taxonómico presente en los suelos del municipio de San Juan de Limay

Sub-grupo de suelos	Km²	Hectáreas	%
Alfisolos			
Inceptic Haplustalfs	201.49	20149.25	46.16
Entisolos			
Lithic Ustorthents	91.12	9111.5	20.87
Typic Ustorthents	10.58	1057.5	2.42
Vertisol			
Typic Haplusterts	133.34	13333.5	30.55

En el cuadro 15 se muestra la posibilidad de recarga hídrica en cada orden de suelo presente en los municipios de Murra y San Juan de Limay. Para el municipio de Murra las características de estos suelos indican una posibilidad de recarga moderada y baja en donde los suelos son del orden Alfisol.

En el municipio de San Juan de Limay predominan suelos del orden Alfisol con una posibilidad de recarga alta, los suelos Entisol tiene una posibilidad de recarga baja y los suelos del orden Vertisol con una posibilidad de recarga muy baja.

Cuadro 15. Posibilidad de recarga hídrica según el tipo de suelo presente en los municipios de Murra y San Juan de Limay.

Municipios		Murra		San Juan de Limay	
Orden suelos	Posibilidad de recarga	km²	%	km²	%
Alfisol	Alta			201.49	46.16
Alfisol	Moderada	255.25	59.51		
Alfisol	Baja	173.67	40.48		
Entisol	Baja			101.7	23.29
Vertisol	Muy baja			133.34	30.55
Total		428.92	100	436.53	100

En las figuras 6 y 7 se presentan la distribución de suelos en los municipios de Murra y San Juan de Limay.

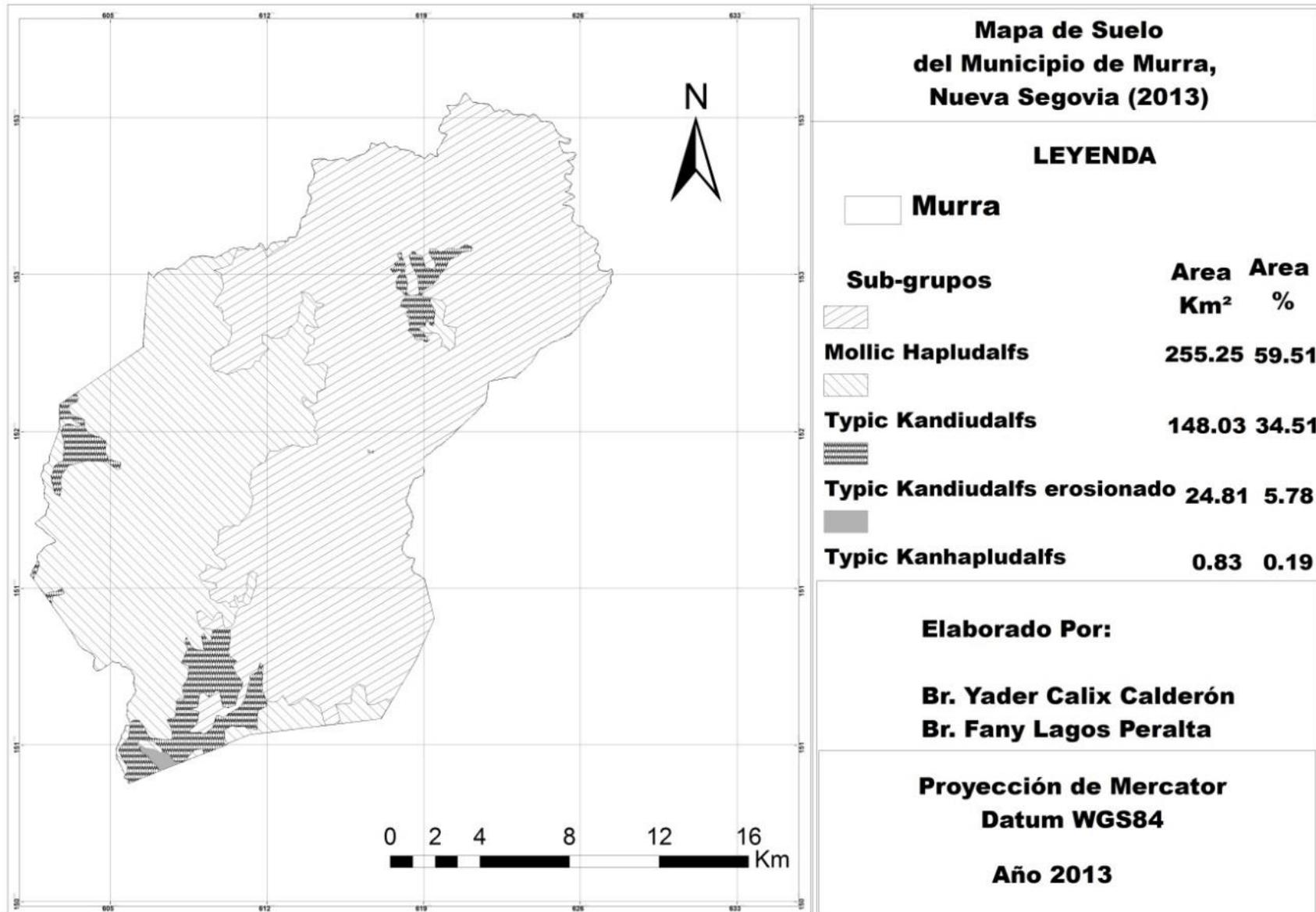


Figura 6. Mapa de suelos del municipio de Murra, Nueva Segovia

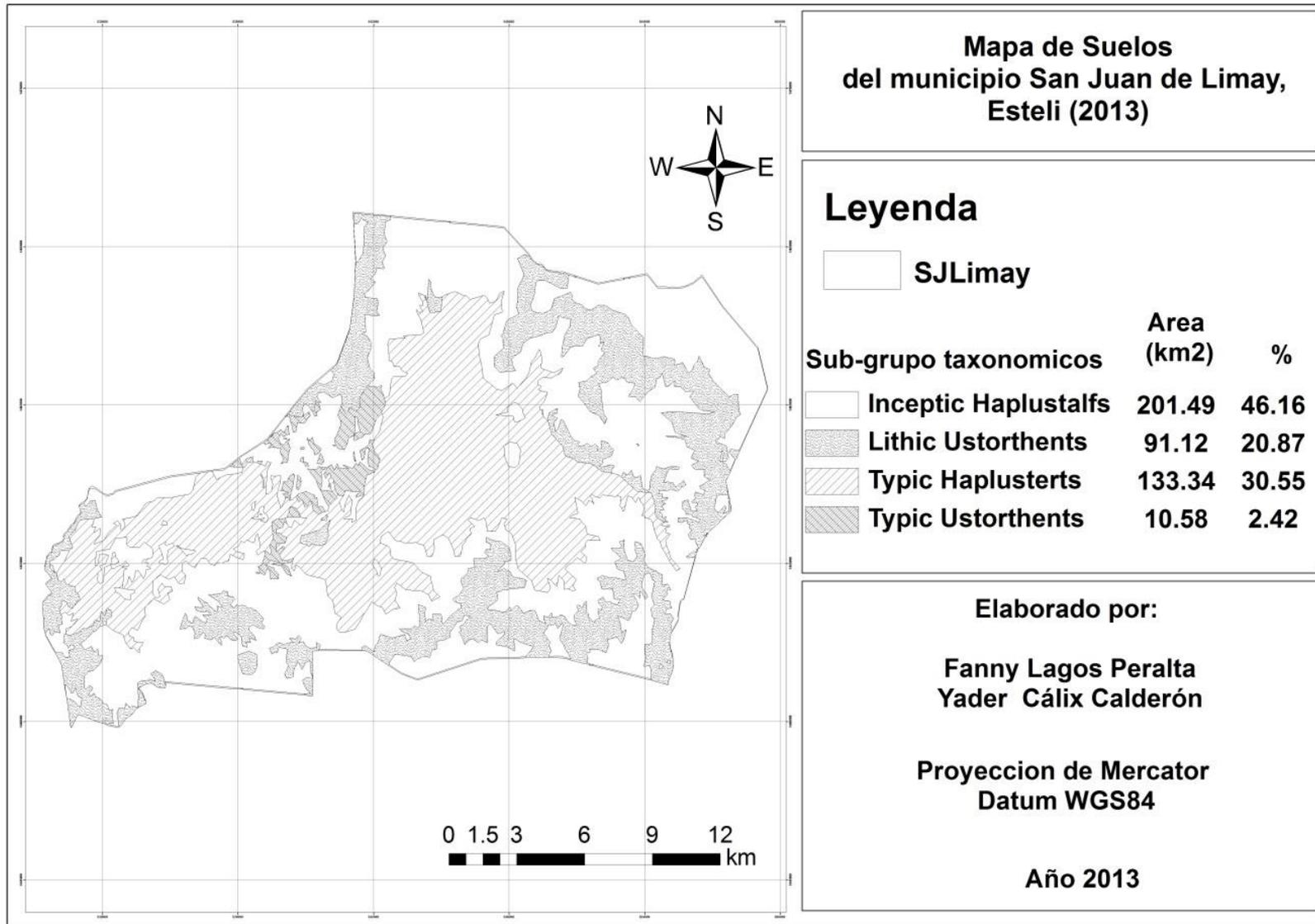


Figura 7. Mapa de suelos del municipio de San Juan de Limay, Estelí

a) Pruebas de infiltración en los suelos de los municipios

Se efectuaron 10 pruebas de infiltración en los perfiles de suelos distintivos en el municipio de Murra, y 7 en el municipio de San Juan de Limay, con diferentes usos del suelo como: bosque latifoliado, café con sombra, cultivos anuales, pasto y tacotal. En el bosque latifoliado en el municipio de Murra el agua infiltraba en el suelo a razón de 9.5 cm/min, la cual indica una velocidad de infiltración moderadamente rápida; esto debido a la cobertura vegetal que favorece en la filtración de agua en el suelo.

En las áreas dedicadas a café con sombra el agua infiltrada en el suelos fue de 5.25 cm/min para Murra y en San Juan de Limay al inicio el agua infiltraba 3cm/2min, llegando a infiltrarse 6cm/5min, quiere decir que por cada minuto se infiltraba un 1cm; indicando una velocidad de infiltración moderadamente rápida en ambos casos.

Un mecanismo esencial que ayuda la infiltración del agua es la materia orgánica ya que conserva la porosidad del suelo durante largos periodos; éstos dependen del estado de descomposición en que se encuentre.

En cambio la infiltración del agua en el suelo con uso de pasto en el municipio de Murra es la que se realizó en mayor tiempo (infiltración lenta), este fue de 0.5cm/5min y para San Juan de Limay el agua infiltraba 1cm/5min; esto se debe principalmente al sobrepastoreo de los suelos con pastos naturales, lo cual contribuye a la compactación del suelo y por lo tanto impide la infiltración del agua en el mismo, otro factor que incidió en estos resultados en San Juan de Limay es que estos suelos son del orden vertisoles, que son impermeables por el contenido de arcilla y por ende con problemas de drenaje.

En las áreas de uso de cultivos anuales en el municipio de Murra se determinó una infiltración de 0.9 cm/min la cual se puede clasificar como modernamente lenta esto a raíz de la rotación de cultivos que tienen estos suelos sin aplicar métodos de conservar o aumentar el contenido de materia orgánica la cual beneficia a los microorganismos en el suelo que crean grietas y ayudan considerablemente que el agua se infiltre con mayor rapidez.

Esto significa, que en el caso de frutales, una buena práctica agrícola sería la incorporación de materia vegetal, como restos de poda, hojas o cualquier tipo de biomasa o cobertura que proteja al suelo, incluyendo los rastrojos de los cultivos.

Al realizar la prueba en las áreas destinadas a tacotal en San Juan de Limay, fue posible observar que al inicio el agua infiltraba alrededor de 2.5cm/min, teniendo una estabilidad a los 4 minutos llegando a infiltrar 5cm/5min, por lo que la infiltración fue de 1cm/min, indicando que la velocidad de infiltración de agua en el suelo en este uso es rápida, según la clasificación que se presenta en el cuadro 3 planteada en la metodología.

La infiltración influye en la posibilidad de recarga hídrica de los acuíferos, ya está directamente ligada al uso y manejo de los suelos, por ejemplo en suelos con uso de pasto sufren degradación física (compactación por sobrepastoreo), la infiltración del agua es casi nula, incidiendo por tanto en el aumento de la escorrentía superficial. Sin embargo en suelos con uso con café bajo sombra, tacotal y/o bosque, constantemente aportan materia orgánica a los suelos, favoreciendo la actividad biológica, que mejora su estructura, lo que permite una buena infiltración y por ende la recarga del acuífero.

4.1.3. Tipo de Roca

En base a verificación en el campo, del tipo de roca que tienen los municipios (mapa geológico e información secundaria), se determinó el tipo de roca presente en cada municipio y se presentan en el cuadro 16.

El municipio de Murra por encontrarse ubicado en la provincia geológica denominada Tierras Altas del Interior (Stoiber & William, 1965; Darce, 1990), predominan las rocas metamórficas del grupo Nueva Segovia, cuya edad aproximada es de 13 millones de años, productos del vulcanismo continental del Terciario.

Se considera que las formaciones geológicas del paleozoico, tienen un medio geológico compacto que localmente tienen zonas de fisuras, grietas y pequeñas capas de rocas descompuestas o porosas, que confieren acuíferos útiles para el abastecimiento de agua potable a pequeñas comunidades locales.

Este municipio pertenece al grupo metamórfico e intrusivo del Paleozoico, donde se localizan acuíferos pobres con baja producción de agua y está constituido principalmente de esquistos sericíticos, esquistos sericíticos coloníticos y grafitosos impermeables.

Los esquistos (Es), son rocas, normalmente han sufrido metamorfismo más intenso, presentan foliación algo deformada y los fósiles que pudiera haber en la roca original desaparecen durante el proceso metamórfico. Este tipo de roca se sitúa en el 100% del área del municipio (ver figura 8), mostrando posibilidad de recarga baja debido a que esta formación geológica se traduce como un basamento impermeable hidrogeológico dado que presenta una transmisividad nula (Quinteros, 2006).

Por el contrario en el municipio de San Juan de Limay se encuentran diferentes formaciones geológicas (ver figura 9) a las que se le atribuyen un potencial hidráulico cuantitativo y cualitativo; expresado en una clasificación de permeabilidad y transmisividad, según sea el medio geológico cuaternario, terciario, metamórfico e intrusivo.

Se considera que las formaciones geológicas Matagalpa-Coyol de la provincia central no disponen de acuíferos extensos y continuos; sin embargo, localmente las zonas de fisuras, grietas y pequeñas capas de rocas descompuestas o porosas, pueden constituir acuíferos útiles para el abastecimiento de agua potable a pequeñas comunidades locales.

En este municipio se presenta un 12.21 % de guijarros, arenas, los suelos arenosos, arcillas no pesadas, son muy permeables, muy suaves, de agregados gruesos, con macro-poros interconectados que facilitan la infiltración del agua en el suelo y por tanto la posibilidad de recarga de los acuíferos es muy alta.

Mientras tanto las ignimbritas, tobas y brechas dasíticas, lavas basálticas y Grano dioritas, se encuentra en un 13.28 % del área del municipio y son rocas un poco duras, moderadamente compactadas, constituidas por partículas finas un poco permeables por la presencia de fracturas interconectadas entre sí, por lo que la infiltración en este tipo de roca es más lenta por consiguiente la posibilidad de recarga es baja.

La cantidad de flujo subterráneo existente, tanto espacial como temporal (época seca y lluviosa), depende de las distintas condiciones morfológicas, geológicas, hidrogeológicas y climáticas. Tal es así, que la cantidad de escorrentía subterránea determina el caudal de los ríos en los períodos de sequía y su carácter permanente, temporal o efímero. Sin embargo, en los valles, los ríos tienen un comportamiento influyente para los acuíferos.

Cuadro 16. Tipo de roca que se encuentran en los municipios de Murra y San Juan de Limay

Municipios	Posibilidad de recarga	Murra		San Juan de Limay	
		Km ²	%	Km ²	%
Esquistos sericíticos, coloníticos y grafitosos	Muy Baja	428.89	100		
Ig-TOBbd-Lba, G2	Baja			57.97	13.28
lb-ab-ad-r-TOB-Btrd-ag	Moderada			251.54	57.62
G-A-SA-AR	Muy Alta			53.32	12.21
TOBrr-L-Lbab-TOBaad-ATOB-Baa-Ig	Muy Alta			73.71	16.88
Total		428.89	100	436.54	100

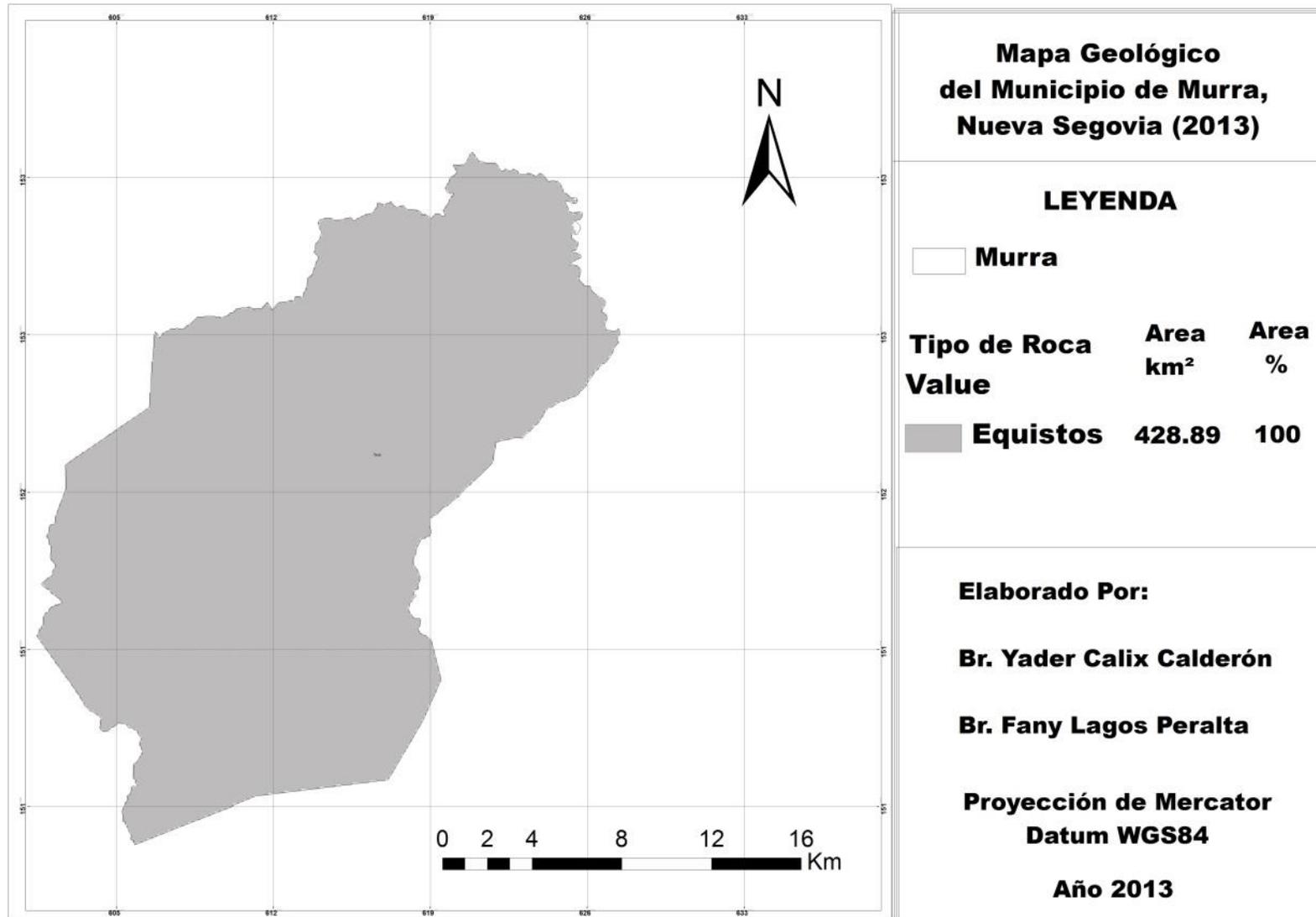


Figura 8. Mapa Geológico del municipio de Murra, Nueva Segovia

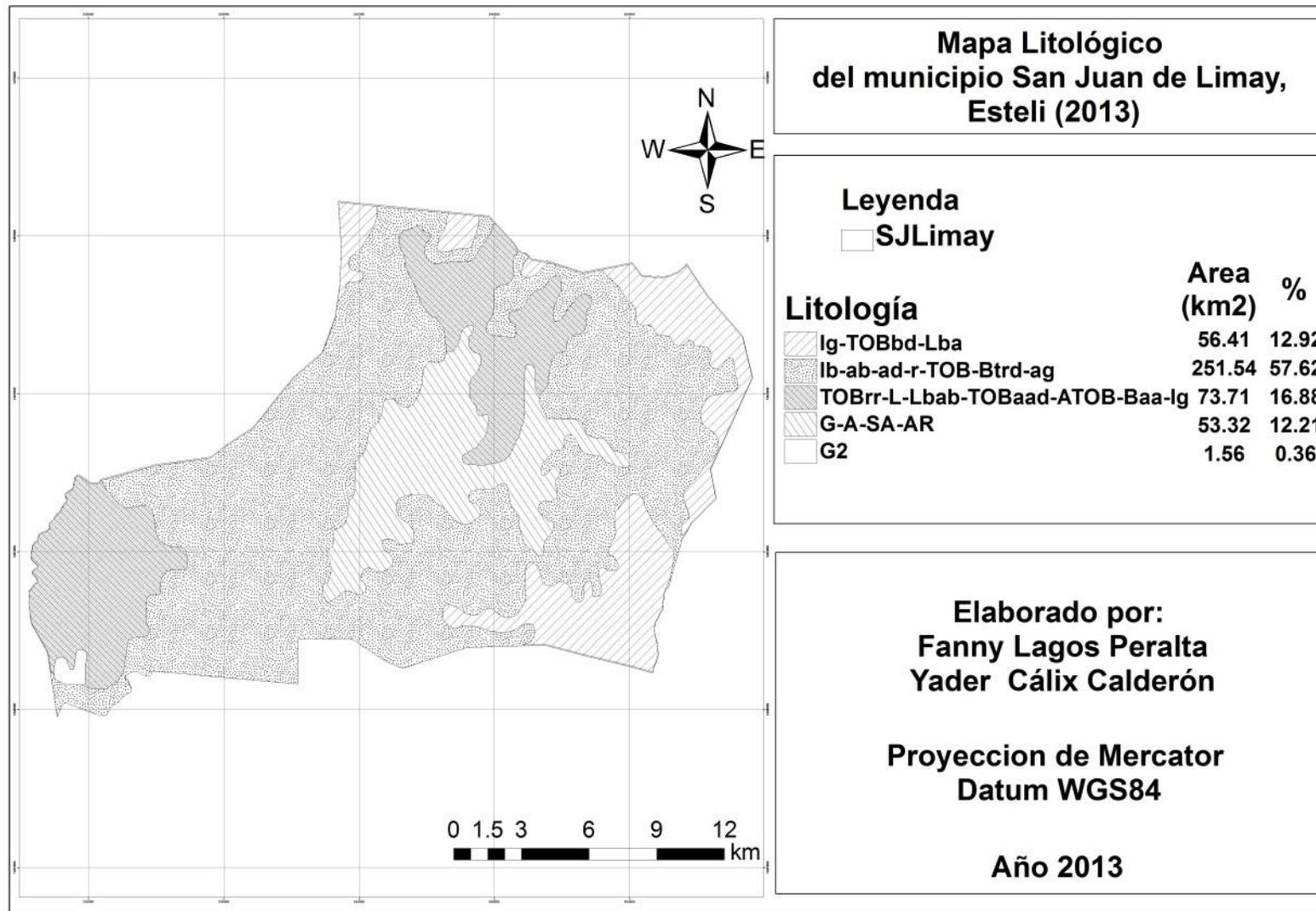


Figura 9. Mapa Geológico del municipio de San Juan de Limay, Estelí

4.1.4. Uso actual del suelo

Los mapas de uso actual de los municipios de Murra y San Juan de Limay generados para el año 2013 con información satelital verificada en campo, muestran que el municipio de Murra presenta 10 tipos de uso: Bosque Latifoliado Cerrado (0.91% del área total), Bosque Latifoliado Abierto (4.77%), Café con sombra (11.84%), Tacotal (25.39%), Matorrales/Malezas (5.38%), Cultivos Anuales (2.12%), Pastizales (49.41%), Agua (0.11%), Suelos sin vegetación (0.02%) y Urbano (0.05%).

En cambio el municipio de San Juan de Limay presenta 11 tipos de uso agrupados por categorías de usos de la tierra: bosques (15.77%), ganadería (30.17%), agrícola (37.78%) y otros usos (16.3%) (Ver cuadro 17). Estos grupos de vegetación se encuentran en diferentes estados de intervención por las actividades que desarrollan los pobladores del lugar para poder subsistir.

Los pastizales es el uso que más predomina en el municipio de Murra con un valor de 49.41% equivalente a 211.77 km², la mayor parte de estos potreros son destinados a la ganadería extensiva con pasto naturales de bajo nivel de proteínas, por ende obliga a que el ganado busque otras áreas en busca de alimentos esto origina que suelo de vocación forestal sean utilizados como potreros por ende hay una fuerte degradación de los suelos que se manifiesta con la erosión hídrica y el perjuicio de su fertilidad, consecuencia de la sobreutilización a la que están siendo sometidos. Mientras que en San Juan de Limay el uso que más predomina son los tacotales y pastizales (64.06%), los pastizales corresponden a potreros de ganadería extensiva, pastos mejorados, pastos con árboles dispersos y pastos con manejo.

Para el municipio de Murra, el cultivo del café es una importante actividad económica (11.8%) de zonas altas con sombra conformada por árboles de porte mediano y alto, de copas de buena cobertura, donde el factor climático y los suelos juegan un papel muy importante en lo que se refiere a bajas temperaturas y suelos profundos. En las áreas de cultivos anuales predominan los granos básicos principalmente de maíz, frijol que se siembran en asociación.

En los municipios de Murra y San Juan de Limay los bosques latifoliados cerrados presenta muy poca extensión ya que ha sido altamente intervenido; actualmente, el bosque latifoliado se encuentra en las zonas de mayor pendiente (mayores a 30%) con una vegetación característica de ecosistemas de sub-trópico seco; con temperatura media anual inferior a los 24° C y lluvias menores a los 1200 mm anuales (subtropical seco). El bosque latifoliado abierto es un bosque fuertemente intervenido que se encuentran dispersos en ambos municipios conformados por árboles latifoliados que tienen entre 5 y 10 metros de altura y cobertura de copas de árboles entre 50 y 70%.

A continuación se describen brevemente cada categoría de vegetación:

➤ Bosques:

Son sistemas ecológicos con un mínimo de cobertura de copas de árboles, generalmente asociados con flora y fauna silvestre y condiciones naturales del suelo, con altura mínima de los árboles de 5 metros en edad madura. Está constituida por remanentes de bosques de pinos y latifoliados.

Para el municipio de Murra representan el 31.7% (133.18 km²) del área total, en San Juan de Limay ocupan un área 216.58 km² que representan el 49.66% del área total del municipio.

En esta categoría se incluye:

- Bosque latifoliado abierto (Bla)

Árboles mayores de 12 metros y cobertura de copas de árboles entre 40 y 70%. Ocupa una extensión territorial de 20.45 km², que representan el 4.77% del área total del municipio de Murra. Para el municipio de San Juan de Limay estos ocupan una extensión territorial de 52.37 km² (12.01%).

- Bosque latifoliado cerrado (Blc)

Árboles menores de 12 metros de altura y cobertura de copas de árboles entre 70 y 100%. En el municipio de Murra ocupan una extensión territorial de 3.90 km², que representan el 0.91% y para San Juan de Limay ocupan el 10.67 km² (2.45%) del área total de cada municipio.

- Tacotal (Tac)

Formación vegetal dominada de árboles, arbustos, hierbas, lianas, surgidos por regeneración natural o un pequeño bosque normalmente sin manejo o regeneración natural de la vegetación luego del abandono agrícola o de la tala de bosques. Representa el 25.39% (108.83 km²) para Murra y en San Juan de Limay ocupan un área de 147.8 km² (338.9%).

- Bosque de pino o coníferas

Bosque en el que más del 70% de la cubierta arbórea consiste en especies de coníferas. Son áreas de bosque dominadas por pino en diferentes estados de madurez. En el municipio de San Juan de Limay ocupan una extensión territorial de 5.70 km², que representan el 1.31% del área total del municipio. En Murra por tener áreas muy pequeñas y por efecto de escala no fue posible la representación en el mapa de uso actual.

➤ Ganadería

Es una actividad del sector primario encargada de la cría y la domesticación de animales para el consumo humano. La crianza de animales domésticos, como ganado porcino y bovino, representan un importante rubro para la economía de las familias; en Murra simboliza el mayor porcentaje con un 49.41% (211.77 km²) y en San Juan de Limay representan el 30.17% (131.63 km²).

En esta categoría se incluye:

- Pasto con manejo (Pm)

Pastizales que tienen mantenimiento (chapeo), puede tener alguna maleza ocasional. Representa el mayor porcentaje de esta categoría con un 26.52% (113.67 km²) en Murra. En San Juan de Limay representan el 11.39% (49.70 km²) del área total del municipio.

- Pasto con maleza (Pmal)

Son pastizales que no tienen mantenimiento (chapeo), presentan malezas de todo tipo y alguna vegetación con matorrales que crecen en hábitats frecuentemente disturbados por la actividad humana. Constituye el 21.10% que equivalen a 90.42 km² para Murra y el 18.27% (79.72 km²) para San Juan de Limay.

- Pastizales (Pas)

Es una superficie que presenta el suelo cubierto de pasto en gran abundancia, que por lo general crece de forma silvestre sin que ninguna persona le de forma o lo mantenga controlado, en el municipio de Murra representa el 1.60% que equivale a 6.84 km².

- Pasto con árboles (Par)

Son pastizales asociados con vegetación arbórea que no llega a formar un bosque. La distancia entre arboles es variada, pero en ningún lado llega a formar masas compactas, en el municipio de Murra ocupa un 0.20% equivalente a 0.85 km² y un 0.51% (2.21 km²) para San Juan de Limay.

➤ Agrícola

El sector agrícola es una actividad productora o primaria que obtiene materias primas de origen vegetal a través del cultivo. Se trata de una de las actividades económicas más importantes del medio rural. En Murra representa un porcentaje de 13.96% (59.82 km²) y en San Juan de Limay 3.89% (16.95 km²) del área total de cada municipio

- Cultivos anuales (Can)

Son todos aquellos que su ciclo de vida es menor o igual a un año. Existen cultivos que son permanentes pero su producción se da cada año a la que se le conoce como temporada de producción; en estos cultivos lo más predominantes y más demandados son el maíz, frijol y arroz. En Murra representan el 2.12% (9.10 km²) y en San Juan de Limay ocupan una extensión territorial de 16.95 km², representando el 3.89% del área total.

- Café con sombra (Cs)

Es una asociación de café con árboles, que generalmente es café de zonas altas con sombra conformada por árboles de porte mediano y alto, de copas de buena cobertura, donde el factor climático y los suelos juegan un papel muy importante en lo que se refiere a bajas temperaturas y suelos profundos. Representa el 11.84% (50.73 km²).

➤ Otros usos del suelo

- Áreas urbanas (Aurb)

Son áreas pobladas por comunidades valles, asentamiento y municipios, entre otros. El municipio de Murra se caracteriza por ser un municipio pequeño en cuanto a infraestructura o zona urbana, representa el 0.05 % (0.20 km²) y San Juan de Limay representa el 0.29% (1.25 km²).

- Suelo sin vegetación (Ssv)

Son áreas de forma natural no poseen ningún tipo de vegetación en la superficie. Representa el 0.02% (0.10 km²), en Murra y 0.74% (3.21 km²) para San Juan de Limay.

- Cuerpo de agua (Cag)

Es una masa o extensión de agua, tal como un lago, mar u océano que cubre parte de la tierra. Algunos cuerpos de agua son artificiales, como los estanques, aunque la mayoría son naturales. En Murra representan el 0.11% (0.46 km²) del área total del municipio y en San Juan de Limay ocupan una extensión territorial de 0.11% (0.50 km²).

- Matorrales y vegetación arbustiva (Mat).

Áreas donde existe combinación de vegetación matorralosa con arbustos y malezas. Representa el 5.38% (23.05 km²) para el municipio de Murra y para San Juan de Limay ocupan una extensión territorial de 65.66 km², representando el 15.05% del área total del municipio. En las figuras 10 y 11 se presentan el uso actual del suelo de los municipios de Murra y San Juan de Limay.

En el cuadro 17 se presenta las categorías de usos de la tierra en los municipios de Murra y San Juan de Limay.

Cuadro 17. Categorías de uso del suelo existentes en los municipios de Murra y San Juan de Limay.

Municipios	Posibilidad de recarga	Murra		San Juan de Limay	
		Km ²	%	Km ²	%
Bosque Latifoliado Cerrado	Muy alta	3.90	0.91	10.67	2.45
Bosque de Pino	Muy alta	-		5.70	1.31
Bosque Latifoliado Abierto	Alta	20.45	4.77	52.37	12.01
Café con sombra	Alta	50.73	11.84	-	-
Tacotales	Alta	108.83	25.39	147.84	33.89
Vegetación arbustiva	Moderada	23.05	5.38	35.08	8.04
Matorrales/Malezas	Moderada			30.58	7.01
Pastizales	Moderada	211.77	49.41	131.63	30.17
Cultivos Anuales	Baja	9.10	2.12	16.95	3.89
Agua		0.46	0.11	0.50	0.11
Suelos sin vegetación	Muy baja	0.10	0.02	3.21	0.74
Urbano	Muy baja	0.20	0.05	1.25	0.29
Total		428.59	100	435.78	100

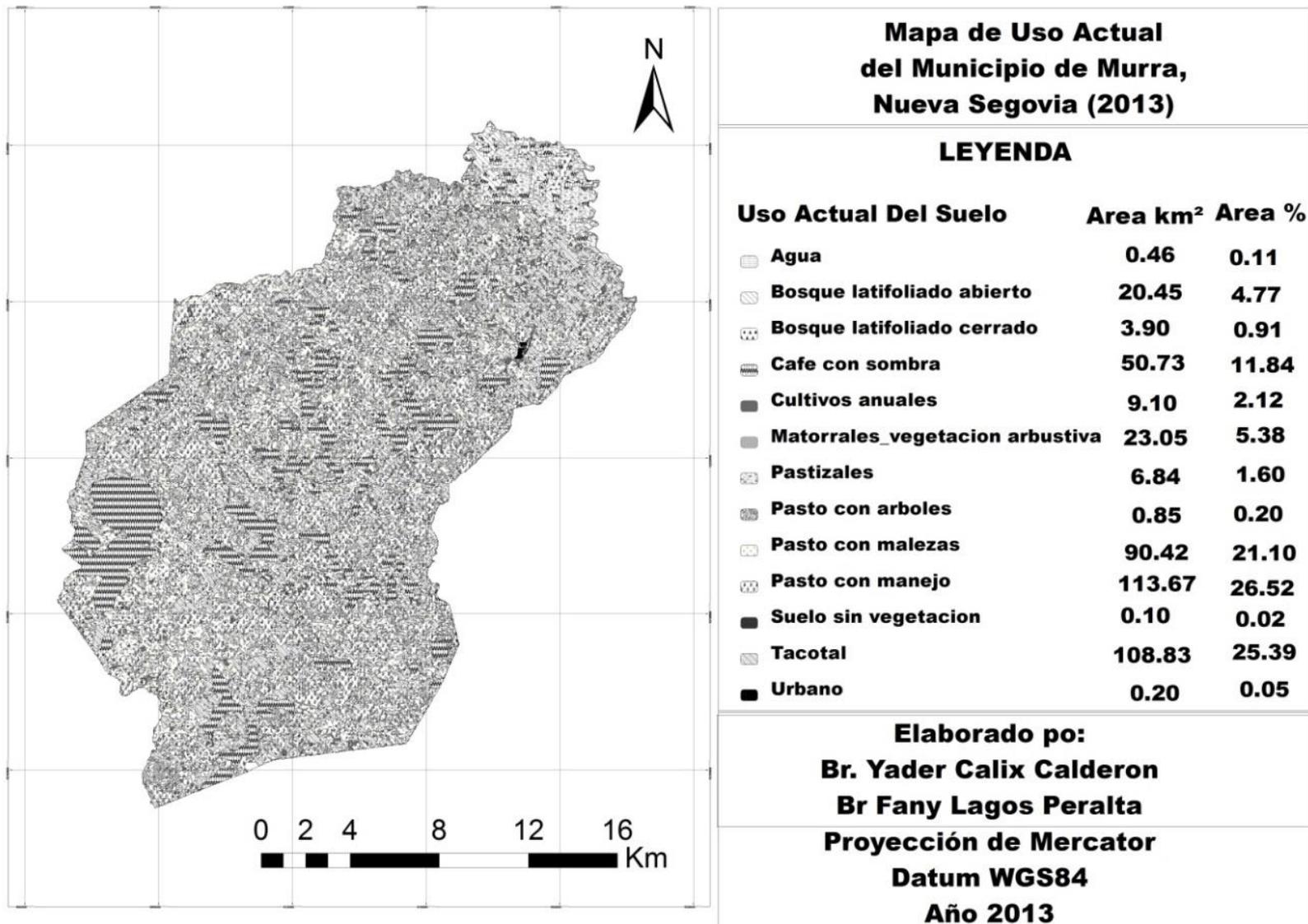


Figura 10. Mapa de uso actual del suelo del municipio de Murra, Nueva Segovia

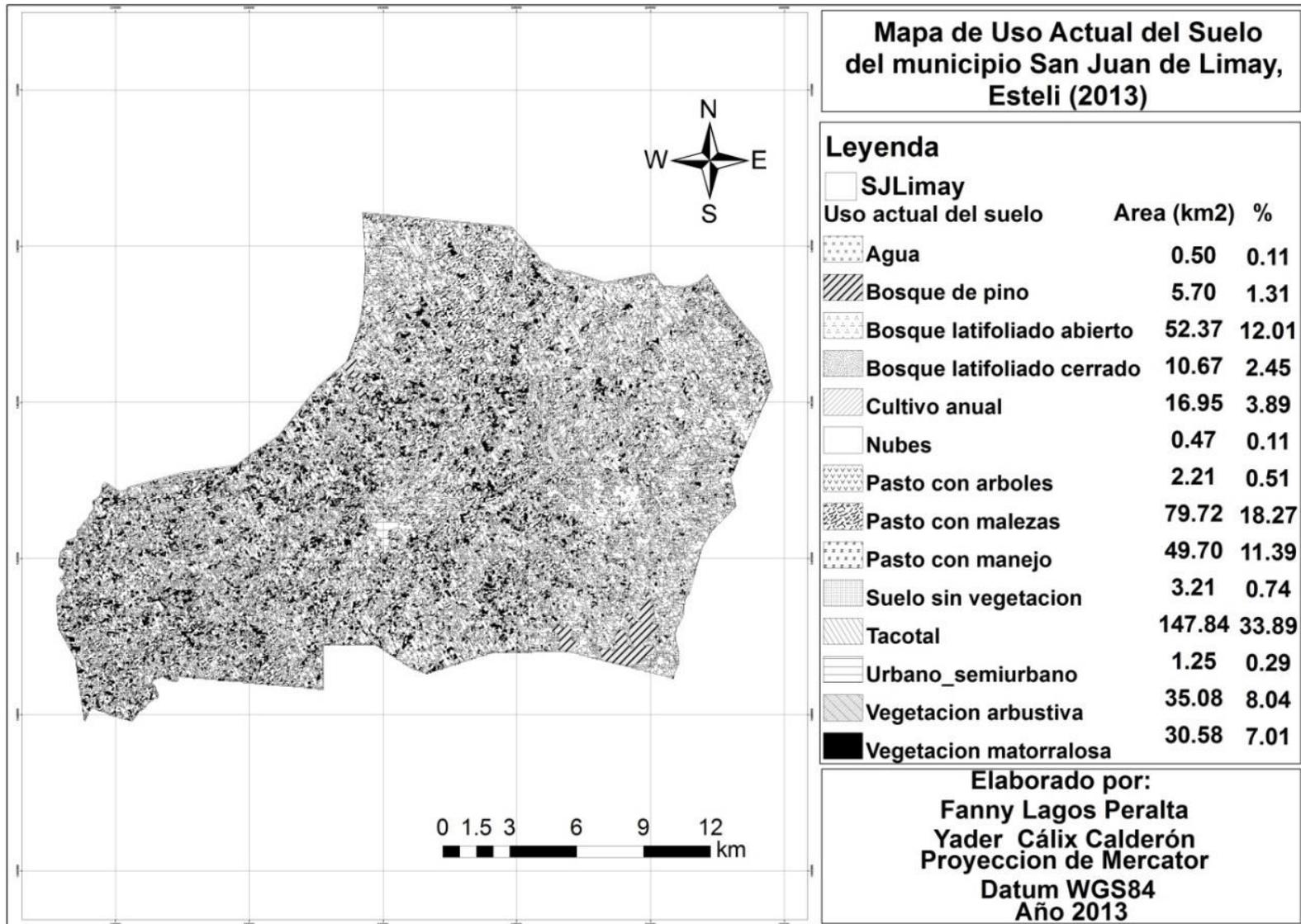


Figura 11. Mapa de uso actual del suelo del municipio San Juan de Limay, Estelí

4.1.5. Cobertura vegetal permanente

La cobertura vegetal permanente influye en la infiltración del agua, ya que permite un mayor contacto con el suelo, disminuye la velocidad de la escorrentía, la erosión, el impacto de la gota de lluvia y la resequedad causada por los rayos del sol. Todo esto contribuye a conservar las características del suelo que favorecen la recarga hídrica, siendo la principal función de la cobertura la de protección al suelo y por tanto evitar la degradación de estos.

En el cuadro 18, se puede observar que el mayor porcentaje de cobertura vegetal que predominan en los dos municipios oscila entre 50-70%, para el municipio de Murra representa el 82.30% que equivale a 352.74 km² y en San Juan de Limay ocupan el 82.49% (359.86 km²) del área total, lo que significa una moderada posibilidad de recarga del acuífero y esto se debe a la cobertura presente en esta área la cual corresponde a tacotal, pasto con malezas, pasto con manejo, vegetación matorralosa y arbustiva y cultivo anual.

La cobertura entre el rango de 70-80% demuestra que las posibilidades de recarga del acuífero son altas ocupando el 16.61% (71.18 km²) para Murra. En cambio en San Juan de Limay representa el 12.51% (54.58 km²) del área total encontrando bosque latifoliado abierto y pasto con árboles. También se encontró un área de 0.91% (3.90 km²) para Murra y de 3.75% (16.37 km²) en San Juan de Limay con una posibilidad de recarga muy alta en donde se puede encontrar bosque latifoliado cerrado y bosque de pino ya que la cobertura es mayor del 80%.

Con una posibilidad de recarga muy baja con cobertura menor al 30% se determinó un área pequeña para el municipio de Murra y San Juan de Limay con 0.18% (0.76 km²) y 1.14% (4.96 km²), respectivamente. Son pocas las áreas que tienen un potencial bajo, sin embargo en el municipio de Murra se puede mejorar la cobertura vegetal ya que se encontraron importante áreas con regeneración natural. En las figuras 12 y 13 se presenta la posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal permanente en los municipios de Murra y San Juan de Limay.

Cuadro 18. Posibilidad de recarga hídrica según el porcentaje de cobertura vegetal permanente en los municipios de Murra y San Juan de Limay.

Municipios		Murra		San Juan de Limay	
Cobertura Vegetal	Posibilidad de recarga	km ²	%	km ²	%
<30%	Muy baja	0.76	0.18	4.96	1.14
30 – 50%	Baja	-	-	-	-
50-70%	Moderada	352.74	82.30	359.86	82.49
70 – 80%	Alta	71.18	16.61	54.58	12.51
> 80%	Muy alta	3.90	0.91	16.37	3.75
		428.58	100	435.77	100

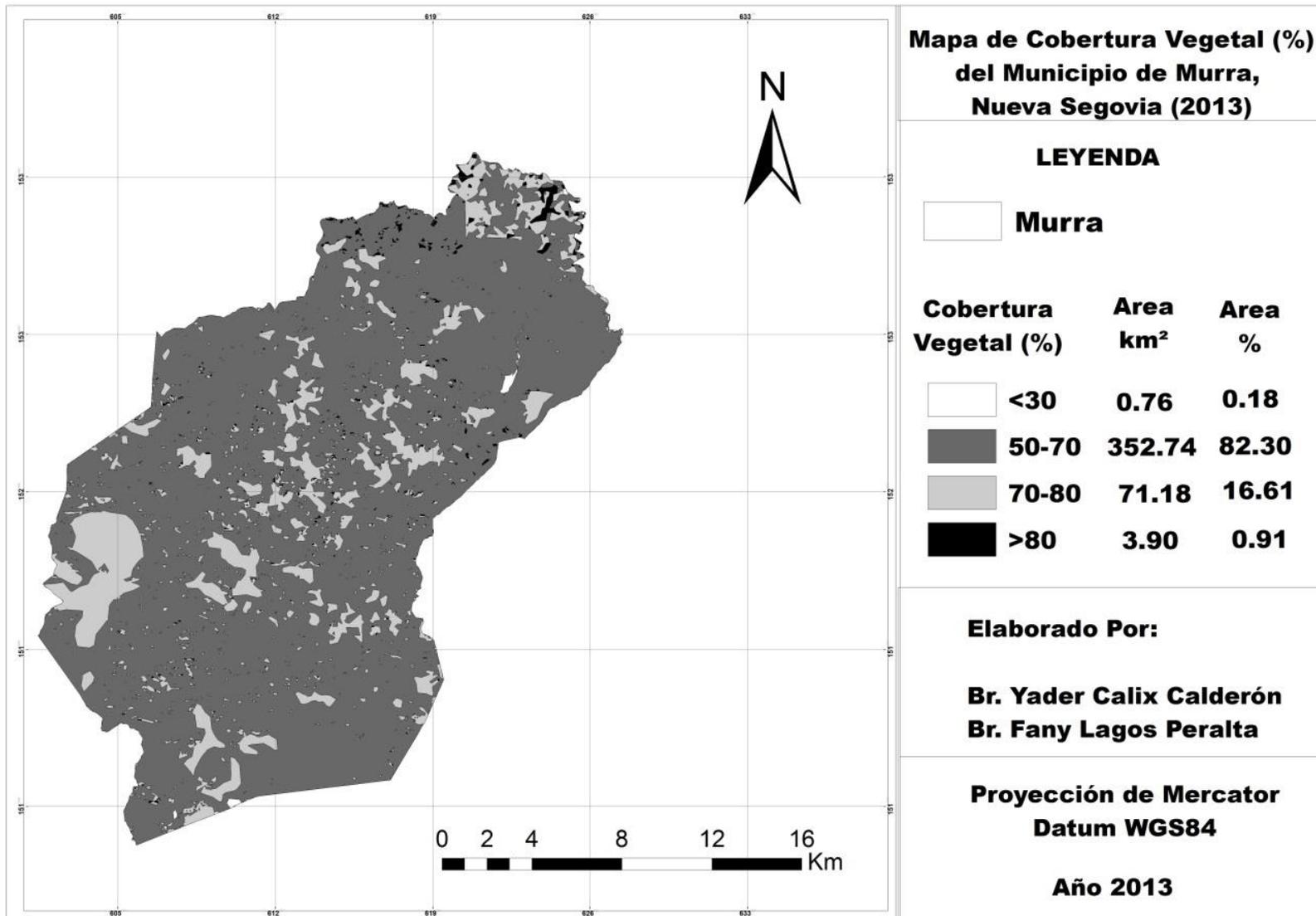


Figura 12. Mapa de cobertura vegetal (%) del municipio de Murra, Nueva Segovia

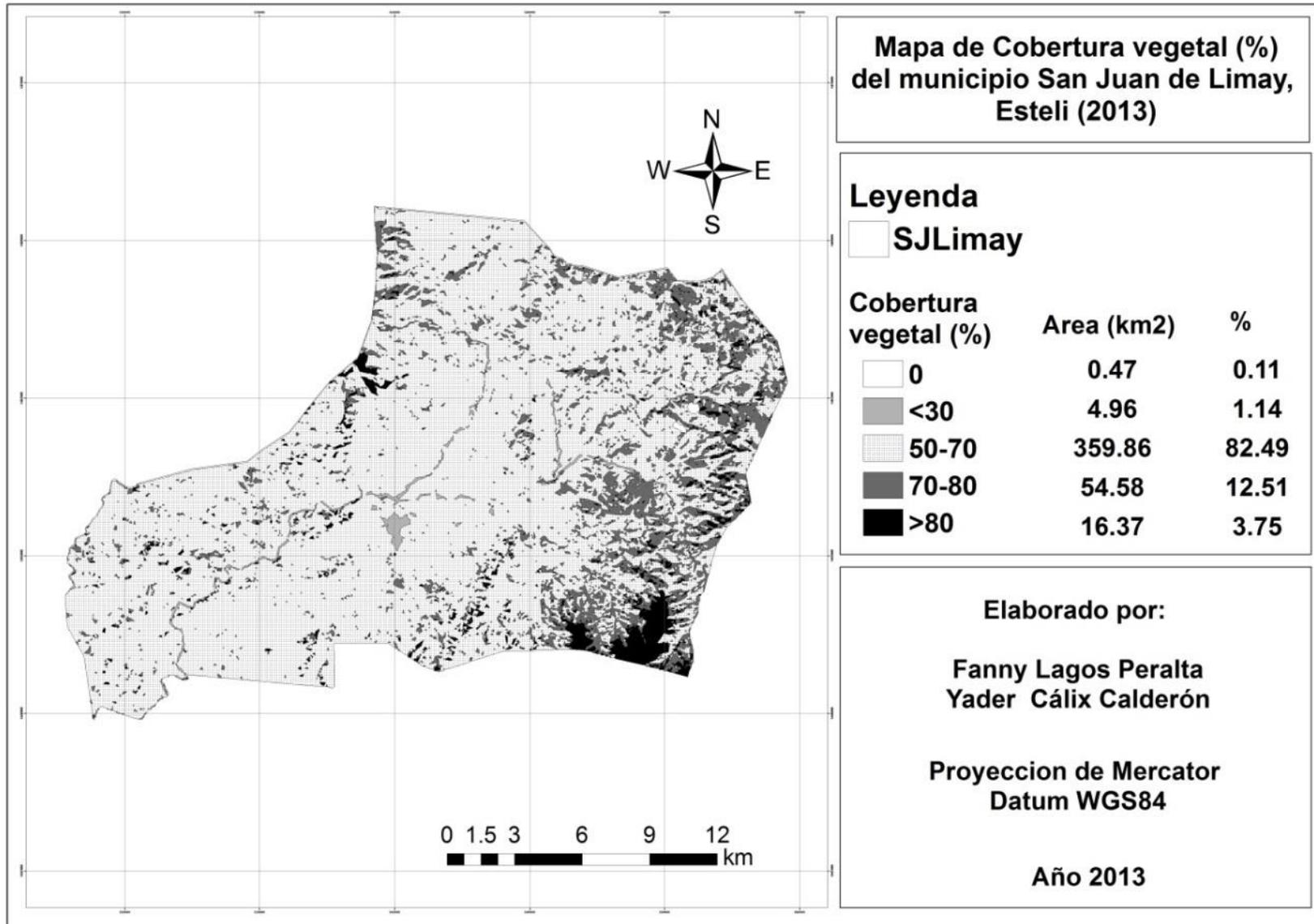


Figura 13. Mapa de cobertura vegetal (%) del municipio de San Juan de Limay, Estelí

4.2. Zonas Potenciales de Recarga Hídrica

Se categorizaron como ZPRH aquellas zonas de las sub-cuencas/microcuencas que lo comprenden, donde por las condiciones climáticas, uso de suelo, geología y topografía, una gran parte de las precipitaciones se infiltran en el suelo, llegando a recargar los acuíferos en las partes más bajas de la cuenca. En el cuadro 19 y 20 se presentan las áreas que ocupan las zonas potenciales de recarga hídrica y los factores que influyen en la recarga en los municipios de Murra y San Juan de Limay.

Cuadro 19. Áreas que ocupan las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica en los municipios de Murra y San Juan de Limay.

Municipios		Murra		San Juan de Limay	
Potencial de recarga	Ponderación	km ²	%	km ²	%
Muy baja	1	2.17	0.51	1.30	0.30
Baja	2	105.89	24.76	74.30	17.11
Moderada	3	305.87	71.53	284.78	65.57
Alta	4	13.59	3.18	72.18	16.62
Muy Alta	5	0.13	0.03	1.76	0.40
Total		427.65	100.00	434.32	100.00

Los resultados muestran que el potencial de recarga hídrica que más predomina en los dos municipios es moderada y representa para el municipio de Murra el 71.53% equivalente a 305.87 km² del área total y 65.57% (284.78 km²) del área total de San Juan de Limay. En ambos municipios prevalecen las pendientes de 15 a 45 % que favorecen el escurrimiento superficial, así como suelos de textura franco arcillosos, con moderada capacidad de infiltración (0.3 – 2 cm/h) y un uso del suelo que corresponde a arbustos, matorrales, maleza y pastizal presentando una cobertura vegetal del 50-70%.

En el municipio de Murra encontramos rocas impermeables con una vocación de suelos que ha sido cambiada por influencia humana, de bosque natural a pastizales. En cambio en San Juan de Limay encontramos rocas moderadamente permeables, semi-suaves, con regular conexión entre poros.

Esta ZPRH moderada significa que aunque varios de los factores evaluados favorecen la infiltración; existe la posibilidad de mejorarla a ZPRH alta; a través de la implementación de sistemas agroforestales, silvopastoriles y obras de conservación de suelo y agua.

Los sitios de muy baja y baja posibilidad de recarga hídrica representan para el municipio de Murra, el 25.27% (108.06 km²) y para San Juan de Limay representan el 17.41% (75.6 km²) del área total.

Se consideran zonas muy vulnerables debido a que poseen una cobertura vegetal menor a 30% y entre 30-50%, por haber uso agropecuario con manejo intensivo y terrenos cultivados sin ninguna obra de conservación de suelo y agua en suelos franco arcillosos compactados con moderadamente lenta a muy lenta capacidad de infiltración (0,13-2cm/h a menos de 0,13cm/h).

Aún con las condiciones biofísicas limitantes, estas áreas tienen la capacidad de cambiar sus condición de recarga baja a moderada, mediante la implementación de buenas prácticas que mejoren la cobertura vegetal con sistemas agroforestales y/o silvopastoriles.

Las zonas de alto a muy alto potencial de recarga hídrica representan para el municipio de Murra y San Juan de Limay el 3.21% (13.72 km²) y el 17.02% (73.94 km²) del área total, respectivamente. Presentan condiciones favorables como suelos francos arcillosos y arenosos que tienen una rápida (12,7-25cm/h) a muy rápida capacidad de infiltración (25cm/h), rocas permeables a muy permeables, suaves, constituidas por cristales o agregados medianos a gruesos con macro poros interconectados, pendientes menores a 6%. Es muy importante la conservación de los bosques que predominan en esta zona ya que representan el 70 a 80% de la cobertura vegetal contribuyendo a la recarga del acuífero, encontrando bosque latifoliado cerrado, bosque latifoliado abierto, tacotal, entre otros.

En las figuras 14 y 15 presentan los mapas de las zonas potenciales de recarga hídrica de los municipios de Murra y San Juan de Limay.

Cuadro 20. Síntesis de evaluación de las zonas potenciales de recarga hídrica por factores en el municipio de Murra y San Juan de Limay.

Factores ZPRH	Superficie ZPRH (km ²) Murra					Superficie ZPRH (km ²) San Juan de Limay				
	Muy Baja (1)	Baja (2)	Moderada (3)	Alta (4)	Muy Alta (5)	Muy baja (1)	Baja (2)	Moderada (3)	Alta (4)	Muy Alta (5)
• Pendiente	10.43	49.91	290.76	61.78	16.08	9.07	37.59	248.92	83.72	57.23
% pendientes	>65	45 – 65	15 – 45	6 – 15	0 – 6	>65	45-65	15-45	6-15	0-6
• Roca	0	428.8				0	57.97	325.25	0	53.32
• Suelos	24.81	148.86	255.25	0	0	224.46	10.58	0	201.49	0
Textura	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Franco Arcillo arenoso			Suelos arcillosos	Suelos franco arcillosos		Suelos francos (arena, limo, arcilla)	
• Cobertura	0.76	0	352.74	71.18	3.90	4.96	0	359.86	54.58	16.37
% cobertura vegetal	<30%	30 – 50	50-70%	70 – 80%	> 80%	<30%	30-50%	50-70%	70-80%	>80%
• Uso del suelo	0.30	9.10	234.82	180.01	3.90	4.96	16.95	197.29	200.21	16.37
	Suelos sin vegetación	Cultivos anuales	Vegetación arbustiva y Matorrales/ malezas Pastizales	Bosque latifoliado abierto, café con sombra y Tacotales	Bosque latifoliado o cerrado	Suelos sin vegetación	Cultivos anuales	Vegetación arbustiva y matorrales/ malezas Pastizales	Bosque latifoliado abierto y Tacotales	Bosque latifoliado cerrado y Bosque de pino
Ponderación Total ZPRH	2.17	105.89	305.87	13.59	0.13	1.30	74.30	284.78	72.18	1.76
% Ponderación ZPRH	0.51	24.76	71.53	3.18	0.03	0.30	17.11	65.57	16.62	0.40

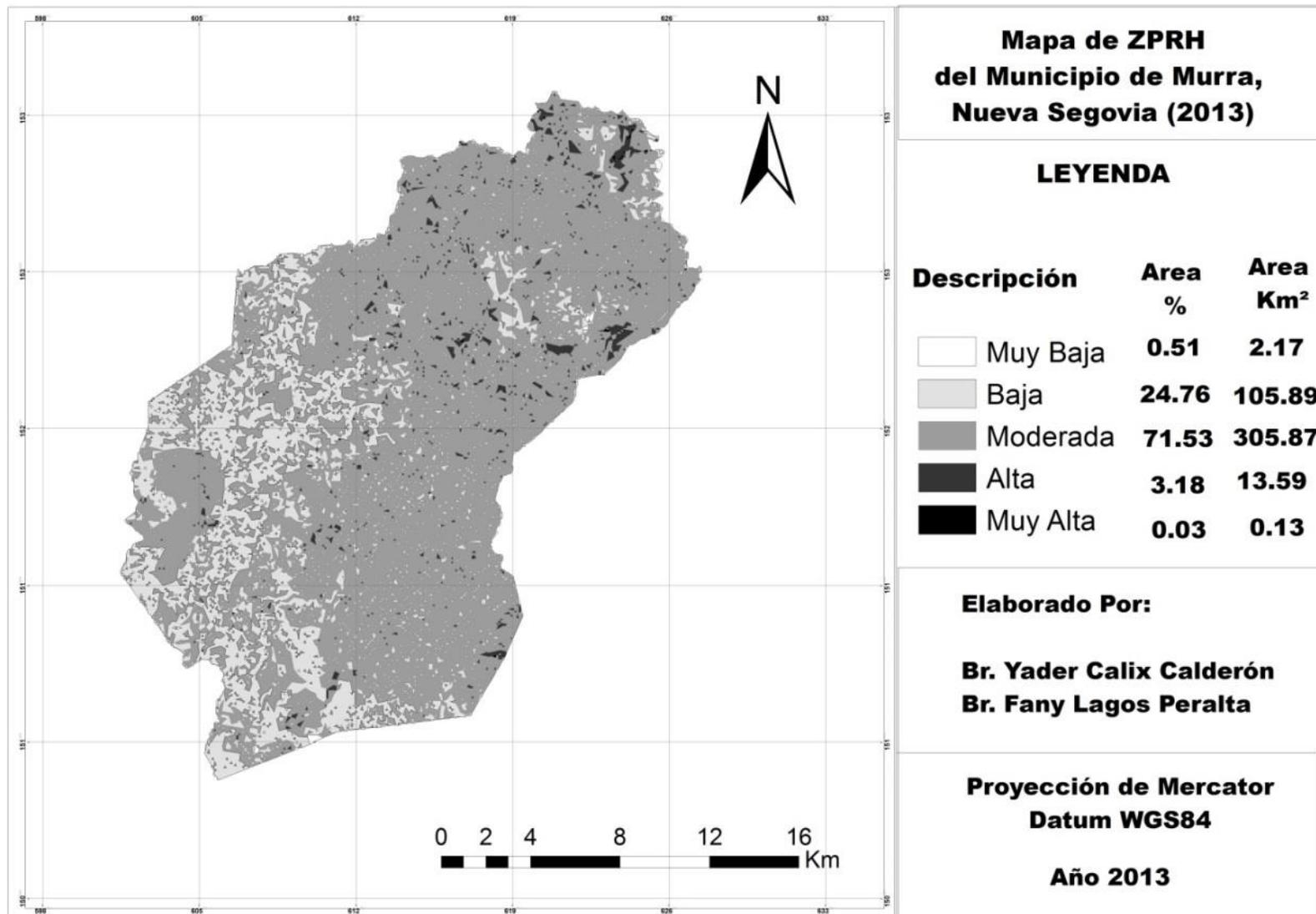


Figura 14. Mapa de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica del municipio de Murra, Nueva Segovia

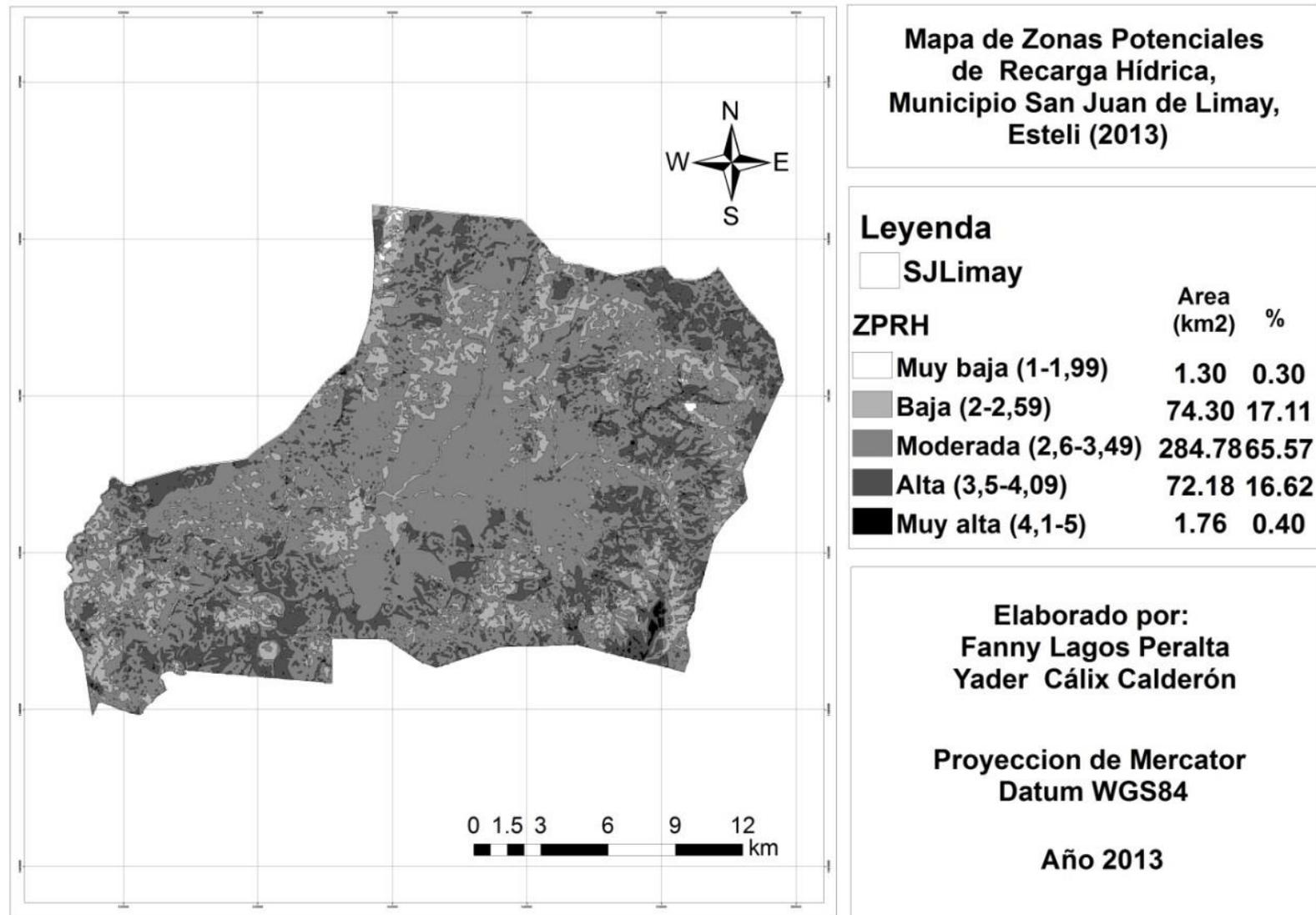


Figura 15. Mapa de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica del municipio San Juan de Limay, Estelí

4.3. Balance hídrico de los suelos más representativos con datos climáticos actuales y futuro en los municipios de Murra y San Juan de Limay

Los balances hídricos realizados en los suelos de los municipios de Murra y San Juan de Limay con datos climatológicos actuales y a futuro (2050) reflejan los meses de ganancia de agua por lluvia así como las pérdidas por evaporación, escorrentía y la variación de la reserva de agua existente en el suelo, así como también la capacidad de retención de agua disponible.

4.3.1. Balance hídrico en los suelos del municipio de Murra

Para realizar el balance hídrico con clima actual en los suelos del municipio de Murra se utilizó una base de datos del clima que comprende los años hidrológicos (1963-2010) de la estación meteorológica del municipio de Murra cuyos promedios de precipitaciones y temperaturas para ese periodo es de 1450 mm y 22.3°C.

a) Balance hídrico realizado en los suelos de orden Alfisol con datos climáticos actuales

El balance hídrico realizado en los suelos de orden alfisol con datos climáticos actuales presenta una Capacidad de Retención de Agua Disponible (CRAD) que es de 113.4 mm. Un déficit de agua de 215.78mm/año y un exceso de agua de 591.65mm/año. También se da en estos suelos un déficit de agua el cual incrementa en los meses de Febrero hasta Mayo; este déficit inicia una vez que las precipitaciones son pocas (ver anexo III). Una vez que inician las precipitaciones en el mes de mayo comienzan las reservas de agua en el suelo por lo que el déficit es muy bajo, manteniéndose así hasta finales del mes de noviembre.

El almacenamiento (reserva más excedentes de agua) se corresponden a la época lluviosa (Mayo a Noviembre); en estos meses la precipitación está por encima de la evapotranspiración real. La utilización de la reserva del suelo por las plantas inicia en diciembre y culmina en abril. En estos suelos los excesos se dan en los meses de junio hasta noviembre.

b) Balance hídrico realizado en los suelos de orden alfisol con datos climáticos futuro

Los resultados del balance hídrico con datos climáticos a futuro para el suelo de orden Alfisol se espera para ese año el déficit de agua sea de 225.54 mm/año y un exceso de agua de 382.05mm/año. El déficit de agua incrementara desde el mes de febrero hasta el mes de abril, disminuyendo cuando inicia la época lluviosa (mayo). Los excedentes se comienzan a dar desde el mes de julio hasta el mes de noviembre. En cuanto a las precipitaciones estas se encuentran por encima de la evapotranspiración real (ver anexo III).

4.3.2. Balance hídrico en los suelos del municipio de San Juan de Limay

En el municipio de San Juan de Limay, se utilizaron los datos climatológicos que comprende los años 1970-2006 de la estación meteorológica del municipio, cuyos promedios de precipitaciones y temperatura para ese período es de 1,212.8 mm y 22.4 grados centígrados.

a) Balance hídrico realizado en los suelos de orden Alfisol con datos climatológicos actuales

El balance hídrico realizado con datos climáticos actuales para este tipo de suelo presenta un CRAD de 193.14 mm, un exceso de 369.1 mm y también se da un déficit de 199.58 mm, incrementándose desde el mes de diciembre hasta el mes de abril este déficit se origina una vez que las precipitaciones disminuyen. Al iniciar las precipitaciones en el mes de mayo, comienza las reservas de agua en el suelo por lo que el déficit es muy bajo, manteniéndose así hasta finales del mes de noviembre (ver anexo III). El almacenamiento de las reserva de agua corresponde a la época lluviosa en los meses comprendido de mayo hasta noviembre en estos meses la precipitación está por encima de la evapotranspiración.

b) Balance hídrico realizado en los suelos de orden Alfisol con datos climatológicos a futuro

Según las proyecciones realizadas con ayuda de los 19 modelos GCM, Modelos de Clima Global por sus siglas en inglés al realizar el balance hídrico con datos climáticos a futuro en el suelo Alfisol se muestra diferencia en cuanto al déficit de agua ya que para este año será de 335.11 mm/año.

Este déficit se incrementa desde el mes de febrero hasta el mes de abril, disminuyendo drásticamente una vez que inicia la estación húmeda del mes de Mayo al mes de Noviembre y el exceso de agua de 260.1 mm/año. También las precipitaciones disminuirán pero a su vez esta se encuentra por encima de la evapotranspiración real, teniendo excedentes de agua en este caso desde el mes de mayo hasta el mes de noviembre, a partir del mes de Diciembre se da inicio a la utilización de la reserva de agua en el suelo por la vegetación ya que las precipitaciones son pocas (ver anexo III).

c) Balance hídrico realizado en los suelos de orden Entisol con datos climatológicos actuales

El balance hídrico realizado en el orden de suelo Entisol con datos climatológicos actuales, presenta un CRAD de 99.3 mm, un exceso de 190.9 mm/año y un déficit de 262.95 mm/año. Los máximos excedentes de agua se dan en los meses de mayo, junio, septiembre y octubre; este excedente se origina debido a que en estos meses se registraron las mayores precipitaciones.

Se presenta un déficit de agua que inicia a partir del mes de diciembre hasta el mes de abril que corresponden a la época de verano y se reduce muy significativamente con el inicio de las precipitaciones del mes de mayo. Las reservas de agua y los excedentes se originan a partir de la época lluviosa comprendida entre los meses de mayo a noviembre debido a que la precipitación es mayor que la evapotranspiración real. En enero se da inicio a la utilización de la reserva de agua en el suelo por la vegetación debido a que el período lluvioso prácticamente ha finalizado (ver anexo III).

d) Balance hídrico realizado en los suelos de orden Entisol con datos climatológicos a futuro

El balance hídrico realizado con datos climatológicos a futuro en el suelo de orden Entisol indica que habrá un déficit de agua de 448.70mm/año esté más elevado del que se posee en la actualidad, sobre todo en los meses de precipitación mínima; este déficit inicia desde el mes de noviembre hasta el mes de abril. También se presentara un exceso de 113.81mm/año, este excedente se dará en el mes de octubre.

El aumento en la temperatura y una disminución en las precipitaciones tiene un efecto directo sobre la evapotranspiración potencial (salidas) la cual se prevé que en el año 2050 sea mayor en un 13% promedio anual, alcanzando los mayores valores en el mes de mayo con un aumento de 24.73 mm de la ETP futura con respecto al clima actual. Por tanto la planificación municipal de la adaptación al cambio climático debe estar orientada a la protección de las fuentes de agua, mejorar la cobertura vegetal y la sensibilización de la población en temas ambientales y de gestión de los recursos hídricos (ver anexo III).

e) Balance hídrico realizado en los suelos de orden Vertisol con datos climatológicos actuales

El balance hídrico realizado con datos climáticos actuales en los suelos de orden Vertisol presenta un CRAD de 91.1 mm, un excedente de 345 mm/año y un déficit de agua de 274.17 mm/año el cual da inicio a partir del mes de diciembre hasta el mes de abril cuando las precipitaciones son menores. Al iniciar la época de lluvia (mayo) comienza la reserva de agua en el suelo manteniéndose así hasta el mes de noviembre. Estos meses de precipitación se encuentran por encima de la evapotranspiración real por ende la pérdida de agua por esta vía es menor favoreciendo la recarga de los acuíferos (ver anexo III).

f) Balance hídrico realizado en los suelos de orden Vertisol con datos climatológicos a futuro

Al realizar el balance con datos climatológicos a futuro (2050) se prevé que en los suelos Vertisoles habrá una diferencia en cuanto al déficit de agua ya que para este año será de 376.14 mm/año, este déficit se incrementa significativamente desde el mes de febrero hasta el mes de abril, disminuyendo drásticamente una vez que inicia la estación humedad (Mayo-Noviembre), en los meses de Mayo y Octubre se pronostica que aumentara la precipitación en comparación con el año actual (15.5 mm-21 mm).

Presenta un exceso de agua de 334.3 mm/año, también las precipitaciones disminuirán pero a su vez esta se encuentra por encima de la evapotranspiración real, teniendo excedentes de agua en este caso desde el mes de mayo hasta el mes de noviembre, a partir del mes de Diciembre se da inicio a la utilización de la reserva de agua en el suelo por la vegetación ya que las precipitaciones son pocas (ver anexo III).

4.4. Valoración de la Recarga de Agua Subterránea en el municipio de Murra y San Juan de Limay

Según el método Recarga de Agua Subterránea (RAS) para el municipio de Murra donde se presentan suelos Alfisoles en su totalidad, con el clima actual y bajo el uso actual del suelo (potreros), se infiltra y recarga el acuífero con 81.21 MMC. En cambio para el año 2050 se proyecta que de continuar con el mismo uso actual del suelo la RAS sería de 52.44 MMC, es decir que esta disminuye en un 22% (ver cuadro 21).

La valoración de la recarga de agua subterránea del municipio de San Juan de Limay en suelos Alfisoles, con el clima actual y el tipo de uso actual del suelo (Pasto), se infiltra y recarga el acuífero subterráneo (RAS) con 15.63 MMC. En el 2050, se concibe que de prolongar el mismo uso del suelo la recarga del acuífero sería de 14.15 MMC. En los suelos Entisol con el clima actual y su uso (Potreros) la recarga del acuífero es de 16.72 MMC; en cambio para el clima futuro del año 2050 el RAS sería de 15.96 MMC. Para los suelos Vertisoles con clima actual y su uso (Cultivos anuales) muestra un RAS de 18.80 MMC de continuar con el mismo uso del suelo se determinó que para el año 2050 se muestra un RAS de 15.60 MMC.

En los tres tipos de suelos presentes en el municipio se manifiesta disminución en la infiltración conservando el mismo uso actual de los suelos. Sin embargo, aplicando métodos de conservación y mejoramiento de retención de agua como son: los Sistemas Silvopastoriles, la variación y asociación de cultivos mejoraría el nivel de RAS bajo las condiciones de clima; por ende es de gran importancia realizar e implementar medidas en la actualidad.

Cuadro 21. Resumen de proyección de variables climáticas bajo escenarios de clima actual y futuro de los Municipios de Murra y San Juan de Limay

Municipio		Murra		San Juan de Limay					
Suelos		Alfisol		Alfisol		Entisol		Vertisol	
Clima	Unidad de medida	Clima actual	Clima futuro (2050)	Clima actual	Clima futuro (2050)	Clima actual	Clima futuro (2050)	Clima actual	Clima futuro (2050)
Temperatura	Grados C	22.3	23.9	22.4	24.0	22.4	24.0	22.4	24.0
Precipitación	Milímetros (mm)	1450	1400.5	1212.8	1169.8	1212.8	1169.8	1212.8	1169.8
Recarga Acuífera Subterránea (RAS) con Uso Actual de la Tierra	Millones de metros Cúbicos (MMC)	81.21	52.44	15.63	14.15	16.72	15.96	18.80	15.60
Evapotranspiración Real (ETR)	Milímetros	858.35	1018.46	925.56	909.68	821.3	796.08	810.04	835.51

Volumen de Recarga de Agua Subterránea clima actual y futuro se realizó para los suelos Alfisoles de los municipios de Murra (área 428.92km²) y suelos Alfisoles, Entisoles y Vertisol (área 201.49, 101.70 y 133.34km²) de San Juan de Limay.

4.5. Modelación de variables en los municipios de Murra y San Juan de Limay

En el cuadro 22 se muestra el comportamiento del clima actual y el clima futuro para el municipio de Murra y San Juan de Limay. Estos datos se analizaron para determinar la cantidad de precipitación que el municipio tendrá de déficit en un futuro y el cambio de temperatura.

Para el municipio de Murra se pronostica que la precipitación tendrá un déficit de 49.5 mm con respecto al clima actual, ya que en la actualidad se presenta una precipitación de 1450mm/año y para el año 2050 se prevé que la precipitación disminuya a 1400.5mm/año. De acuerdo a los datos de temperatura se puede notar un aumento de 2° en los meses de mayo y junio. Comprobando con esto que mayo ha sido el mes más caliente del año (24.3°C) y será más caliente en el 2050 ya que se pronostica alcance los 26.2°C

Para el municipio de San Juan de Limay la precipitación anual para el futuro reducirá en 43mm, mostrando su mayor déficit en los meses de octubre (31 mm) y septiembre (23 mm).

Debido a que esto causaría afectación a la actividad agrícola ya que en estos meses se establece la segunda siembra del año (postrera), esto establece la urgencia de tomar medidas de adaptación ante el cambio climático. En cambio en los meses de Octubre y Noviembre se muestra un aumento de precipitación; con eventos que se presumiría estarían asociados a la ocurrencia de un fenómeno natural como huracanes o al aumento en las intensidades de lluvia.

Al observar los datos de temperatura se puede percibir un aumento de 2 grados en los meses de Mayo y Junio. Generalmente el mes Mayo ha sido el mes con mayor temperatura del año (24.2 grados) y será más caliente en el 2050 en que se prevé que alcance unos 26.17 grados, esto puede afectar a algunos cultivos perennes como el café, con afectaciones de estrés térmico ya que la temperatura optima máxima para café es 23 grados, al alcanzar los 24 grados algunas medidas de adaptación pudieran funcionar; sin embargo al alcanzar los 26 grados, la inviabilidad del cultivo puede ser una realidad; además que algunas plagas (ejemplo la roya) pueden verse estimuladas en esos niveles de temperatura.

Cuadro 22. Diferencia del clima actual y clima futuro 2050 del municipio de Murra y San Juan de Limay

Murra		E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	Total
Actual	Precipita	55	24	20	36	119	214	218	200	218	187	93	67	1450
Clima 2050	Precipita	50	23	21	25	132	209	217	167	185	199	111	64	1400.5
Actual	T °C	20.65	21.36	22.91	24.11	24.25	22.85	22	22.4	22.35	22.11	21.65	20.91	22.3
Clima 2050	T °C	22.26	23.21	24.71	25.96	26.25	24.85	23.7	23.91	23.85	23.4	22.95	22.06	23.9
Limay														
Actual	Precipita	5	5.5	14	48	225	206	94	155	207	188	55.5	10	1212.8
Clima 2050	Precipita	3	3.5	13	36	241	182	92.5	125	184	209	76	7	1169.8
Actual	T °C	20.85	21.57	22.95	24.16	24.27	23.04	22.35	22.47	22.37	22.26	21.82	21	22.4
Clima 2050	T °C	22.26	23.23	24.7	25.96	26.17	24.94	23.75	23.99	23.82	23.46	23.12	22.3	24.0

4.6. Alternativas de uso y manejo sostenible de las Zonas Potenciales de Recarga Hídrica en los municipios de Murra y San Juan de Limay

La situación que enfrentan los recursos naturales y en especial el recurso hídrico es una problemática diversa y muy compleja ya que está relacionada a diversos factores socio-culturales y socio-económicos.

En base a esta problemática identificada en los municipios, surge la necesidad de formular estrategias y acciones para el manejo adecuado de las zonas de recarga hídrica, en función de mantener, mejorar y recuperar las características de dichas zonas que favorecen la infiltración con el objetivo de prevenir los posibles efectos derivados del cambio climático en estas zonas (ver cuadro 23).

Es importante recalcar que la implementación de estas estrategias y acciones se deben de realizar mediante un proceso participativo con el objetivo de mitigar los problemas y necesidades en cada territorio así como proponer y desarrollar alternativas de solución más apropiadas para cada territorio en particular consensuadas con los actores involucrados.

Cuadro 23. Estrategias y alternativas para el manejo sostenible de las zonas potenciales de recarga hídrica en los municipios de Murra y San Juan de Limay

Estrategias	Alternativas y líneas de acción
Promover la diversificación productiva y fuentes de ingresos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fortalecer el conocimiento local sobre el manejo de los recursos naturales ▪ Apoyar a productores que generan externalidades o beneficios ambientales ▪ Incentivar el desarrollo de iniciativas que valoricen los servicios ambientales del medio rural ▪ Incentivo a la creación de micro y pequeñas empresas rurales.
Mejorar la estructura, organización y operatividad de las instituciones del sector público y privado para un manejo sostenible de los recursos naturales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fortalecer las capacidades de los gobiernos municipales con el fin de una gestión sostenible e integral de los recursos naturales y el ambiente ▪ Desarrollar mecanismos para la aplicación de las leyes establecidas para la conservación y protección de los recursos naturales y el ambiente ▪ Fomentar la asociación entre el gobierno municipal con empresarios, ONG´s y autoridades locales para maximizar beneficios.

Cuadro 23. Continuación...

<p>Promover una ganadería sostenible</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Potenciar e incentivar la reforestación, incluyendo arboles dispersos en las áreas de pastoreo con el fin de fomentar el uso de especies arbóreas en la alimentación del ganado en época seca. ▪ Establecimiento de bancos forrajeros para mejorar la alimentación del ganado y reducir la demanda de pastoreo ▪ Regular el pastoreo de ganado, especialmente en áreas con mayor pendiente. ▪ Implementar la rotación de potreros evitando el sobrepastoreo. ▪ Incorporar sistemas de pastura de corte para la alimentación en verano. ▪ Promover el semi estabulamiento del ganado
<p>Manejo sostenible del recurso bosque</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Promover la conservación y preservación de los ecosistemas naturales ▪ Fomentar el manejo de rodales semilleros de latifoliadas y coníferas a fin de preservar y asegurar su existencia ▪ Restaurar el bosque de galería ▪ Controlar la deforestación en áreas con altas pendientes y en la ribera de los ríos, susceptibles a la degradación ▪ Manejo de la regeneración natural ▪ Incentivos para reforestar en las partes altas y en la ribera de los ríos del municipio ▪ Fomentar la conservación de especies nativas
<p>Manejo y aprovechamiento sostenible del recurso suelo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Establecer sistemas agroforestales y silvopastoriles para evitar la degradación de los suelos. ▪ Fomentar el manejo de la regeneración natural en laderas que son susceptibles a la erosión ▪ Promover el uso de prácticas de conservación de suelos: curvas de nivel, cultivos en contorno, entre otras ▪ Promover las buenas practicas relacionadas con sistemas de producción sostenible: mecánicas y biológicas, la fertilización orgánica, diversificación productiva, entre otras ▪ Incorporación de rastrojo y abonos orgánicos en las parcelas ▪ Implementar la asociación y rotación de cultivos ▪ Promover la aplicación de principios de agricultura sostenible a través de la producción de cultivos en áreas que presentan las condiciones necesarias para su desarrollo

Cuadro 23. Continuación...

Estrategias	Alternativas y líneas de acción
Gestión Integral del Recurso Hídrico	<ul style="list-style-type: none">▪ Sistematizar, validar y difundir prácticas de almacenamiento y aprovechamiento de agua▪ Implementar practicas sencillas para cosechar y aprovechar el agua de lluvia▪ Perforación de pozos y sistemas de riegos artesanales▪ Promover el manejo de una capa arable que infiltre y retenga más agua de lluvia▪ Realizar e implementar planes de manejo para una mejor gestión del recurso hídrico▪ Controlar las actividades que contaminan las aguas que están relacionadas con el uso de pesticidas, fertilizantes y agroquímicos▪ Promover acciones de restauración de los márgenes de los ríos y arroyos▪ Proteger y reforestar con especies nativas las áreas de recarga del acuífero, que abastecen de agua a la población

V. CONCLUSIONES

El desarrollo de la actividad agrícola y pecuaria ha reducido las áreas de cobertura vegetal lo cual favorece el escurrimiento superficial y acelera algunos procesos erosivos, reduciendo las zonas potenciales de recarga hídrica, al disminuir la capacidad de infiltración de agua en el suelo y por tanto la recarga del acuífero.

La delimitación de zonas potenciales de recarga hídrica en los municipios de Murra y San Juan de Limay, generó información básica actualizada como mapas de pendiente a partir de modelo digital del terreno, mapa actualizado de suelos, mapa actualizado del uso de la tierra a partir de imágenes de satélite rapid eyes 2012, mapa de porcentaje de cobertura medido en campo, datos de climas históricos y proyecciones de clima futuro para el año 2050, que contribuyó a determinar áreas vulnerables a déficit hídrico.

Para ambos municipios se determinó que la zonas potencial de recarga hídrica es moderada, pero esta podría mejorarse a una posibilidad de recarga alta a través de la implementación de estrategias y líneas de acción que permitan una mayor infiltración del agua en el suelo y por ende la recarga del acuífero.

Según los balances hídricos realizados a los suelos en estos municipios presentan un déficit de agua de 215.78 mm/año utilizando datos climáticos actuales, en tanto se prevé que se agudizará hasta en 225.54 mm/año para el futuro.

En cuanto a la recarga de agua subterránea para ambos municipios en los diferentes tipos de suelos se concibe que de continuar con el mismo uso actual del suelo se manifiesta una disminución en la infiltración, ya que según las proyecciones de clima futuro para el año 2050, en el municipio de Murra se verán afectada en un 22% de seguir con el uso de pastizales y cultivos anuales. Mientras en el municipio de San Juan de Limay se reducirá en un 16%. Sin embargo es posible aplicar métodos de conservación de suelos y agua y establecer sistemas agroforestales y silvopastoriles para mejorar el volumen de la recarga subterránea.

El comportamiento del clima futuro (2050) con respecto al clima actual para ambos municipios pronostica una disminución en las precipitaciones de 49.5 (Murra) y 43 mm/año (San Juan Limay) y un aumento de 2°C en la temperatura principalmente en los meses de mayo y junio. Las variaciones de temperaturas y precipitaciones en estos municipios se deben a efectos del cambio climático, que tendrá consecuencias negativas trascendentales, es por eso necesario diseñar estrategias de mitigación o adaptación al cambio previsto.

La propuesta de estrategias y líneas de acción para el manejo y protección de las zonas potenciales de recarga hídrica en los municipios, han surgido de la problemática identificada, del análisis de estudios y propuestas de desarrollo y de actores locales del municipio.

Estas propuestas están ligadas fundamentalmente a mejorar la cobertura vegetal con la puesta en marcha de usos de suelos que favorezcan la infiltración y con ello la recarga del acuífero tales como:

- Promover el manejo y aprovechamiento sostenible del recurso suelo, acorde a su capacidad de uso.
- Impulsar un plan de capacitación y sensibilización ambiental para grupos de jóvenes, en función de la protección y/o conservación de las zonas con potencial de recarga hídrica.
- Fomentar una ganadería sostenible, mediante la adopción de prácticas productivas conservacionistas y Sistema Agroforestales y Sistemas Silvopastoriles.
- Fomentar el Manejo de la regeneración natural y Manejo sostenible de los bosques latifoliados.
- Fomentar la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad (flora y fauna), mediante estrategias de conectividad del bosque y conservación de ecosistemas frágiles.

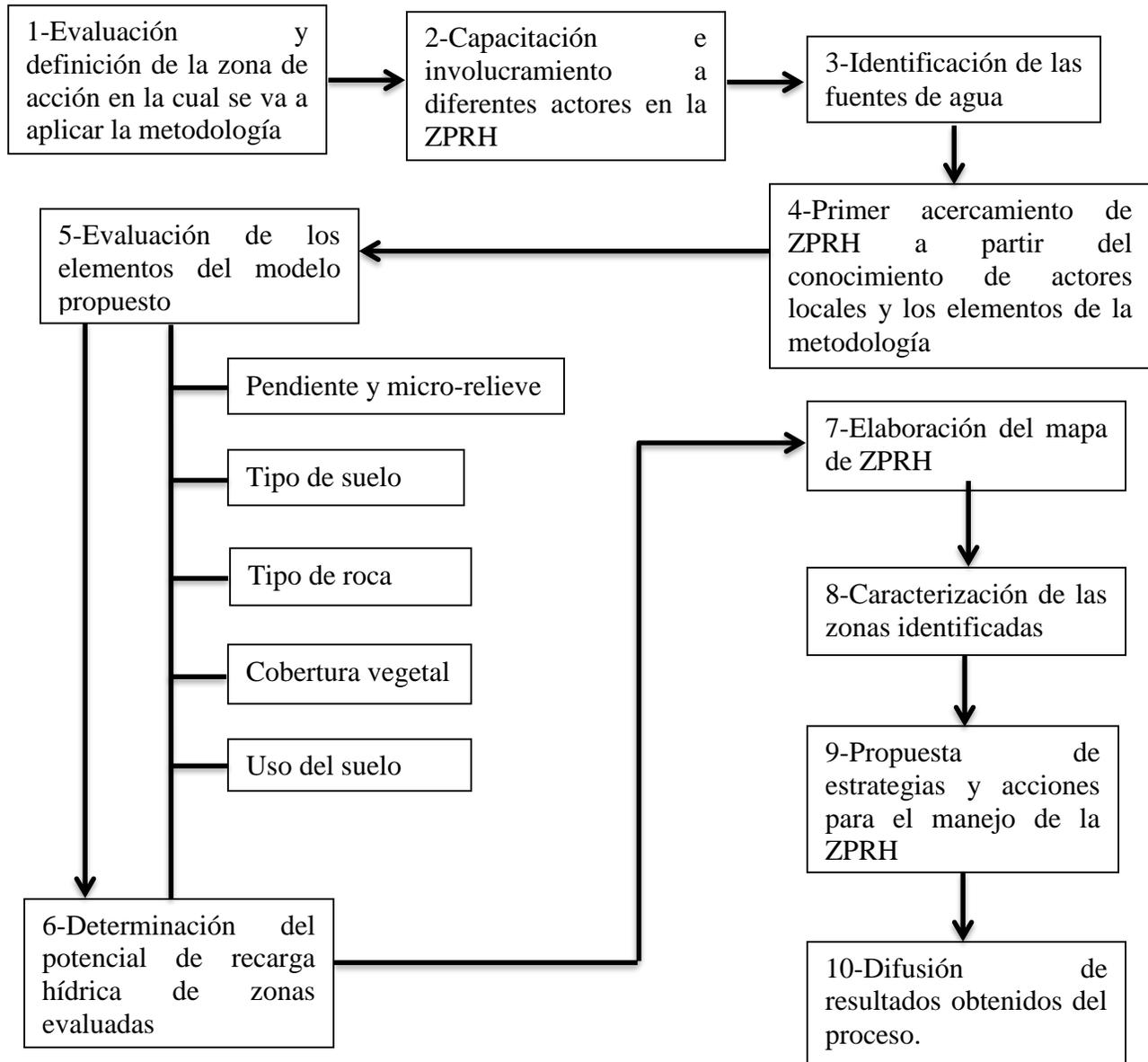
VI. LITERATURA CITADA

- Barrera Rivera, YM; Amador Andino, MV. 2008.** Estado de los suelos y recursos hídricos superficiales del municipio la Conquista, Carazo, Nicaragua. Tesis Ing. RNR. Managua, NI, UNA, FARENA. 145P.
- Balek, 1988; Custodio, 1997; Simmers, 1990; Lerner, 1990; Samper, 1997.** Estimación de la recarga en una zona tropical mediante un modelo iterativo. 20p
- Castro Brenes, J.E. 2009.** Análisis de vulnerabilidad de fuentes de agua de consumo humano y de las zonas potenciales de recarga hídrica en la microcuenca La Concordia, Jinotega, Nicaragua. Turrialba, CR. CATIE, Tesis Mag. Sc. 187 p.
- CATIE. 2006.** Uso de principios, criterios e indicadores para monitorear y evaluar las acciones y efectos de políticas en el manejo de los recursos naturales. Turrialba, CR. 70 p.
- CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo). 2002.** Naturaleza, gente y bienestar: Mesoamérica en cifras. San José, CR. OdD-UCR, CCAD, BM. 39 p.
- Donahue, R.L., R.W. Miller, J.C. shickluna. 1997.** Soils: An introduction to soil and plant growth. Prentice Hill, Englewood, New Jersey.
- Faustino, J. 2006.** Notas de clase para el curso identificación, evaluación y manejo de zonas de recarga hídrica. San Salvador, ES, CATIE. 113 p.
- Ferguson, B. 1996** Estimation of Direct Runoff in the Thornthwaite Water Balance. Professional Geographers 48(3): 263-271.
- Hillel, D. 1982.** Introduction to soil physics. Academic Press. New York, U.S.A. 364p.
- Iaco, B.V. 1985.** Agricultural compendium for rural development in the tropics and subtropics. 2ed. Amsterdam, Elsevier. 738 pp.
- INAB (Instituto Nacional de Bosques). 2003.** Metodología para la determinación de áreas críticas de recarga hídrica natural. Manual Técnico. Guatemala, GT. 106 p
- Lozada GBI, César SP (2003)** Diferencias entre las deficiencias y excedentes hídricos estimados a partir del balance hídrico climático normal y secuencial de las localidades de Bramon, Venezuela, y Piracicaba, Brazil. Revista Brasileira de Agro meteorología 11(1): 195-198
- MARENA (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales). 2001.** Informe del estado ambiental en Nicaragua (En línea). Managua, NI. Consultado 20 de jun. 2014. Disponible en: www.centrogeo.org.mx/unep/documentos/Nicaragua/NICARAGUA.pdf
- Matus Silva, O.D. 2007.** Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa, Nicaragua. Turrialba, CR. CATIE, Tesis Mag. Sc. 228 p.

- McCabe G, Markstrom S (2007).** A monthly water-balance model driven by a graphical user interface. Reston, Virginia 6 pp.
- Porta, J., López, M., Roquero, C. 2005.** Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3 ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 960p.
- POSAF (Programa Socioambiental y Desarrollo Forestal, NI); MARENA (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, NI); INAFOR (Instituto Nacional Forestal, NI). 2007.** Plan de ordenamiento forestal, Nueva Segovia: municipio de Murra (En línea). Nicaragua, NI. Consultado 16 de ago. 2013. Disponible en: <http://amunse.org.ni/documentos/municipios/murra/40>
- Quintero Román, R. 2006.** Estudio Geológico del Metamorfismo de Contacto San Fernando, Nueva Segovia. Monografía Ing. Geólogo. Managua, NI, UNAN, Facultad de Ciencia e Ingeniería. 80P.
- Ramírez J. A., Jarvis A. 2010.** Downscaling Global Circulation Model Outputs: The Delta Method. Decision and Policy Analysis Working Paper No. 1. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Sadoff, C; Muller, M. 2010.** La Gestión del Agua, la Seguridad Hídrica y la Adaptación al Cambio Climático: Efectos Anticipados y Respuestas Esenciales (En línea). Estocolmo, SE, GWP. Consultado 20 de jun. 2014. Disponible en: http://www.cap-net-esp.org/document/document/189/gestión_del_agua_y_seguridad_hídrica_GWP_TEC_14.pdf
- SINAPRED (Sistema Nacional Para la Prevención y Mitigación y Atención Desastres Naturales). 2003.** Plan de respuesta municipal con enfoque de gestión del riesgo: Municipio de San Juan de Limay, Estelí (En línea). NI. Consultado 16 de ago. 2013. Disponible en: <http://singer.sinapred.gob.ni/singerdescargas.aspx?IDOPCION=4&IDARCHIVO=205&CONTADOR=07/05/2011%201:38:32%20a.m.>
- Schosinsky y Losilla. 2000.** Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. Revista Geológica de América Central 23: 43-55
- USDA (Department of Agriculture, US). Soil Conservation Service.** Soil Survey Division Staff. 1993. Soil Survey Manual. Washington, DC. 315 p.
- USDA (Departamento de Agricultura, US). Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Soil Survey Staff. 2010.** Claves para la taxonomía de suelos. Trads. CA Ortiz; MC Gutiérrez. 11 ed. Washington, DC. 363 p.
- Villon Bejar, M. 2004.** Hidrología. 1 ed. Cartago, CR, ET. 474p.

ANEXOS

Anexo 1. Proceso metodológico para la delimitación de Zonas Potenciales de Recarga Hídrica. Matus, 2007.



Anexo 2. Información recolectada en el campo correspondiente a la descripción de perfiles de suelos presentes en los municipios de Murra y San Juan de Limay

Descripción de perfil de suelo de la comunidad Arenales, Murra, Nueva Segovia

DESCRIPCIÓN DE PERFIL DE SUELO												
Fecha: 09/07/13				Perfil N°: 3				Alcalinidad:				
Clasificación taxonómica: Alfisol erosinado				Foto:				Salinidad:				
Localización: Arenales				Coordenadas: 615065/1524258				Pedregosidad:				
Uso actual: Potrero				Elevación: 1100 msnm				Erosión: Severa				
Material madre: Esquistos				Relieve: Escarpado				Permeabilidad:				
Drenaje:				Pendiente (%): 30-40								
Humedad:												
Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estructura	Consistencia			pH	Límite	Poros	Raíces
		Seco	Humedo			Seco	Húmedo	Mojado				
A	0-10		10 YR 4/4	FA	Granular			Plastico			Muchos microporos	Muchas finas y muy fina
Bt	10--52		7.5YR 5/6	A	Bloque angulares			adhesivo			Abundantes microporos	Abundantes raíces finas
C	-52			A	Bloque angulares			Plastico adhesivo			poco poros	

Descripción de perfil de suelo de la comunidad las Chacaras, San Juan de Limay, Estelí

DESCRIPCIÓN DE PERFIL DE SUELO												
Fecha: 11/07/13				Perfil N°: 1				Alcalinidad:				
Clasificación taxonómica: Entisol				Foto:				Salinidad:				
Localización: Las chacaras				Coordenadas: 1 km de rio negro				Pedregosidad: 80%				
Uso actual: Potreros				Elevación:				Erosión: Severa				
Material madre: Basalto				Relieve: Escarpado				Permeabilidad:				
Drenaje: Bien drenado				Pendiente (%): 30-45								
Humedad:												
Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estructura	Consistencia			pH	Límite	Poros	Raíces
		Seco	Humedo			Seco	Húmedo	Mojado				
A	0-34		5YR 4/3	FAL	Granular			Adhesivo plastico		Granular Plano	Abundantes finos y medianos	Abundantes finas y medias
Ab	34-60		5YR 4/6	A	Bloques angulares			Plastico adhesivo		Granular Plano	Abundantes finos y medianos	
Bt	-60		2.5YR 4/6								pocos poros medios	Pocas gruesas

Descripción de perfil de suelo de la comunidad San Lorenzo, San Juan de Limay, Estelí

DESCRIPCIÓN DE PERFIL DE SUELO												
Fecha: 11/07/13				Perfil N°: 3				Alcalinidad:				
Clasificación taxonómica: Vertisol				Foto:				Salinidad:				
Localización: San Lorenzo				Coordenadas: 541548/1451906				Pedregosidad: 60 %				
Uso actual: Cultivos anuales				Elevación: 376				Erosión: Severa				
Material madre: Basalto				Relieve: Ligeramente escarpado				Permeabilidad:				
Drenaje: Bien drenado				Pendiente %: 15-30								
Humedad:												
Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estructura	Consistencia			pH	Límite	Poros	Raíces
		Seco	Húmedo			Seco	Húmedo	Mojado				
A	0-30		7.5YR 3/2	FA	Granular			Lig. Plástico adhesivo		Granular plano	Abundantes finos y medios	Abundantes finas y medias
Bt	30-52		7.5YR 3/3	FAa	Granular					Granular plano	pocos finos y medios	pocas finas y medias
C	>52		10YR 5/6	A	Suelta						muy pocos medios	pocas medias

Descripción de perfil de suelo de la comunidad San Luis, San Juan de Limay, Estelí

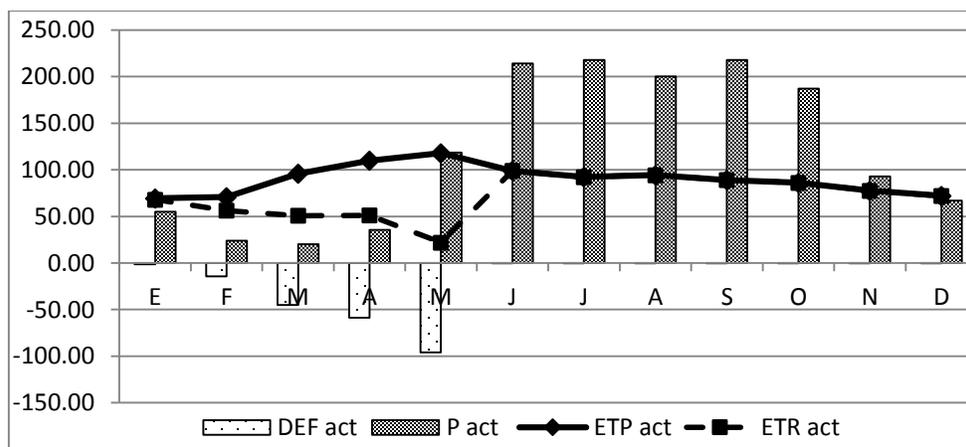
DESCRIPCIÓN DE PERFIL DE SUELO												
Fecha: 12/07/13				Perfil N°: 2				Alcalinidad:				
Clasificación taxonómica: Alfisol				Foto:				Salinidad:				
Localización: San Luis				Coordenadas: 557479/1464403				Pedregosidad:				
Uso actual: Pasto, café				Elevación: 1297 msnm				Erosión: Moderada				
Material madre: Basalto				Relieve: Escarpado				Permeabilidad:				
Drenaje: Bien drenado				Pendiente (%): 50								
Humedad:												
Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estructura	Consistencia			pH	Límite	Poros	Raíces
		Seco	Húmedo			Seco	Húmedo	Mojado				
A	0-26		7.5YR 4/4	FA	Granular			Plástico adhesivo		Neto plano	Abundantes finos y medios	Abundantes finas y medias
Bt	26-90		5YR 5/8	A	Bloques angulares			Plástico adhesivo		Granular plano	Abundantes finos y medios	pocas raíces finas
C	>90											

Anexo 3. Balances hídricos de los suelos con datos climáticos actual y a futuro presentes en los municipios de Murra y San Juan de Limay

Balace hídrico (mm) para los suelos de orden Alfisol (erosionado) con clima actual, municipio Murra, Nueva Segovia

	P	ETP	ETPcorr	P-ETP	PPA	R	Dr	ETR	DEF	EXC	DRE
ENE	55	71.24	69.46	-14.46	-19.56	95.44	-12.98	67.98	1.48	0	15.34
FEB	24	77.71	70.71	-46.71	-66.27	63.21	-32.22	56.22	14.49	0	7.67
MAR	20	93.03	95.83	-75.83	-142.09	32.39	-30.82	50.82	45	0	3.83
ABR	35.5	106.08	109.79	-74.29	-216.39	16.82	-15.57	51.07	58.72	0	1.92
MAY	118.5	107.67	117.90	0.60	0	113.40	96.58	21.92	95.97	0	0.96
JUN	214	92.41	98.88	115.12	0	113.40	0	98.88	0	115.12	58.04
JUL	218	83.83	92.21	125.79	0	113.40	0	92.21	0	125.79	91.91
AGO	200	87.80	94.39	105.61	0	113.40	0	94.39	0	105.61	98.76
SEP	218	87.30	89.05	128.95	0	113.40	0	89.05	0	128.95	113.86
OCT	187	84.91	86.19	100.81	0	113.40	0	86.19	0	100.81	107.33
NOV	93	80.45	77.63	15.37	0	113.40	0	77.63	0	15.37	61.35
DIC	67	73.57	72.10	-5.10	-5.10	108.42	-4.98	71.98	0.11	0	30.68
Total	1450		1074.13	375.87				858.35	215.78	591.65	

P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración corregida; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso; DRE: Drenaje



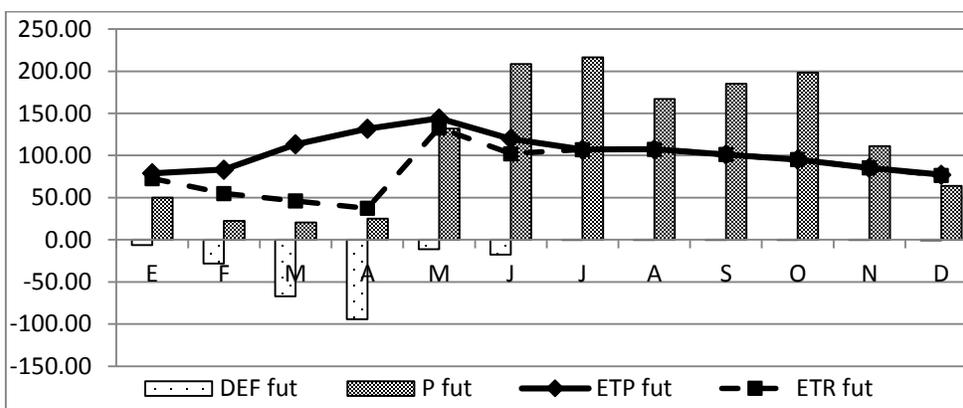
Periodos de exceso o deficiencias de agua para los suelos de orden Alfisol (erosionados) con clima actual en la comunidad Arenales, Murra, Nueva Segovia

Leyenda: DEFact: déficit actual, Pact: precipitación actual, ETPact: Evapotranspiración Actual, ETRact: Evapotranspiración Real Actual.

Balance hídrico (mm) para los suelos de orden Alfisol (erosionado) con clima futuro, municipio Murra, Nueva Segovia

	P	ETP	ETPcorr	P-ETP	PPA	R	dR	ETR	DEF	EXC	DRE
ENE	50	80.86	78.84	-28.84	-42.01	78.30	-22.68	72.68	6.17	0	14.08
FEB	22.5	91.47	83.24	-60.74	-102.75	45.83	-32.47	54.97	28.27	0	7.04
MAR	20.5	110.04	113.34	-92.84	-195.58	20.21	-25.62	46.12	67.22	0	3.52
ABR	25	127.28	131.73	-106.73	-302.32	7.89	-12.33	37.33	94.41	0	1.76
MAY	132	131.52	144.01	-12.01	-314.33	7.09	-0.79	132.79	11.22	0	0.88
JUN	208.5	111.88	119.72	88.78	0	113.40	106.31	102.19	17.52	0	0.44
JUL	216.5	97.29	107.02	109.48	0	113.40	0	107.02	0	109.48	54.96
AGO	167	99.85	107.34	59.66	0	113.40	0	107.34	0	59.66	57.31
SEP	185	99.12	101.1	83.9	0	113.40	0	101.1	0	83.9	70.6
OCT	198.5	93.7	95.11	103.39	0	113.40	0	95.11	0	103.39	87
NOV	111	88.48	85.39	25.61	0	113.40	0	85.39	0	25.61	56.31
DIC	64	78.74	77.16	-13.16	-13.16	100.97	-12.43	76.43	0.74	0	28.15
Total	1400.5		1244	156.5				1018.46	225.54	382.05	

P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración corregida; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso; DRE: Drenaje



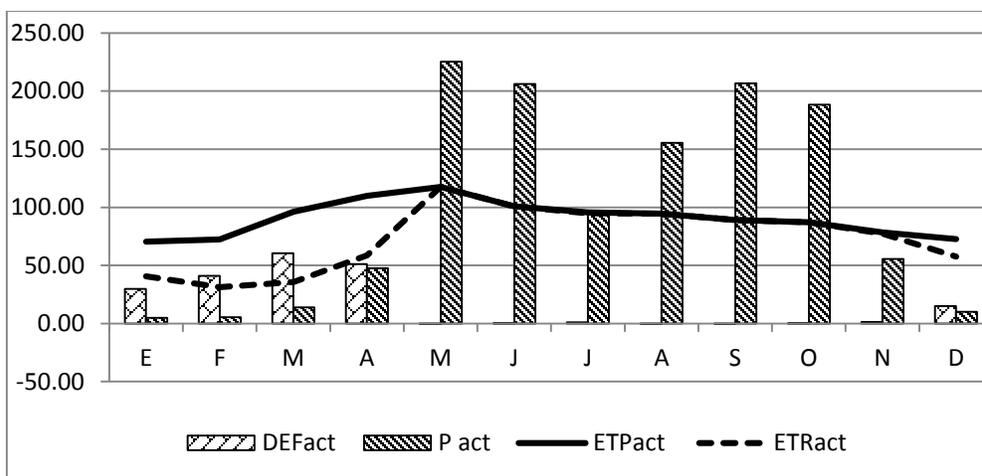
Periodos de exceso o deficiencias de agua para los suelos de orden Alfisol (erosionados) con clima a futuro en la comunidad Arenales, Murra, Nueva Segovia

Leyenda: DEFfut: déficit futuro, Pfut: Precipitación futura, ETPfut: Evapotranspiración futura, ETRfut: Evapotranspiración Real Futura.

Balance hídrico (mm) para los suelos de orden Alfisol con clima actual, municipio San Juan de Limay, Estelí

	P	ETP	ETPcorr	P-ETP	PPA	R	dR	ETR	DEF	EXC	DRE
ENE	5	72.66	70.48	-65.48	-151.07	88.34	-35.65	40.65	29.83	0.00	8.63
FEB	5.5	79.37	72.23	-66.73	-217.80	62.54	-25.81	31.31	40.92	40.92	20.46
MAR	14	93.26	96.06	-82.06	-299.85	40.89	-21.65	35.65	60.41	0.00	10.23
ABR	47.5	106.59	109.79	-62.29	-362.14	29.62	-11.27	58.77	51.02	0.00	5.12
MAY	225.3	107.85	117.56	107.74	-254.40	51.74	22.12	117.56	0.00	85.62	45.37
JUN	206	94.21	100.80	105.20	-149.20	89.20	37.46	100.80	0.00	67.73	56.55
JUL	94	87.05	95.76	-1.76	-150.96	88.40	-0.81	94.81	0.95	0.00	28.28
AGO	155.3	88.27	94.45	60.85	-90.11	121.13	32.74	94.45	0.00	28.11	28.19
SEP	206.5	87.25	89.00	117.51	0.00	193.14	72.01	89.00	0.00	45.50	36.85
OCT	188.2	86.14	87.00	101.20	0.00	193.14	0.00	87.00	0.00	101.20	69.02
NOV	55.5	81.78	78.51	-23.01	-23.01	171.45	-21.69	77.19	1.32	0.00	34.51
DIC	10	74.06	72.58	-62.58	-85.59	124.00	-47.45	57.45	15.13	0.00	17.26
Total	1212.8	1058.49	1084.20	128.60	-1784.12	1253.59	0.00	884.64	199.56	369.09	360.46

P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración corregida; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso; DRE: Drenaje



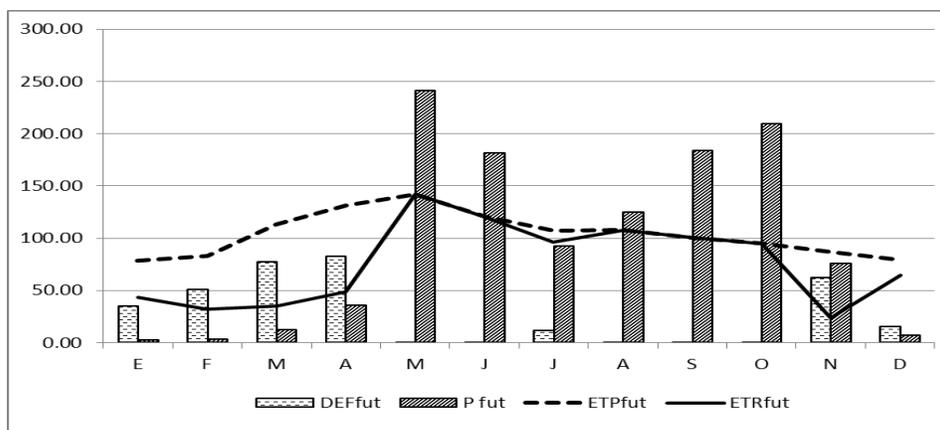
Períodos de exceso y deficiencias de agua para los suelos de orden Alfisol con clima actual en la comunidad San Luis, San Juan de Limay, Estelí

Leyenda: DEFact: déficit actual, Pact: precipitación actual, ETPact: Evapotranspiración Actual, ETRact: Evapotranspiración Real Actual

Balance hídrico (mm) para los suelos de orden Alfisol con clima futuro, municipio San Juan de Limay, Estelí

	P	ETP	ETPcorr	P-ETP	PPA	R	dR	ETR	DEF	EXC	DRE
ENE	2.50	80.58	78.16	-75.66	-158.59	84.97	-40.75	43.25	34.91	0.00	5.86
FEB	3.50	91.07	82.87	-79.37	-237.97	56.34	-28.63	32.13	50.74	0.00	2.93
MAR	12.50	109.63	112.92	-100.42	-338.39	33.49	-22.84	35.34	77.58	0.00	1.46
ABR	35.50	127.58	131.41	-95.91	-434.29	20.39	-13.11	48.61	82.80	0.00	0.73
MAY	240.80	130.54	142.29	98.51	-335.78	33.95	13.56	142.29	0.00	84.95	42.47
JUN	181.50	112.81	120.71	60.79	-274.99	46.51	12.56	120.71	0.00	48.23	45.35
JUL	92.50	97.61	107.37	-14.87	-289.86	43.06	-3.45	95.95	11.42	0.00	22.68
AGO	124.80	100.56	107.60	17.20	-272.66	47.07	4.01	107.60	0.00	13.19	17.93
SEP	184.00	98.47	100.44	83.56	-189.10	72.56	25.48	100.44	0.00	58.08	38.01
OCT	209.20	94.13	95.07	114.13	-74.97	131.01	58.45	95.07	0.00	55.68	46.84
NOV	76.00	90.15	86.54	-10.54	-10.54	182.88	51.87	24.13	62.42	0.00	23.42
DIC	7.00	81.01	79.39	-72.39	-82.93	125.72	-57.16	64.16	15.23	0.00	11.71
Total	1169.80	1214.14	1244.77	-74.97	-2700.06	877.94	0.00	909.68	335.09	260.13	259.39

P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración corregida; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso; DRE: Drenaje



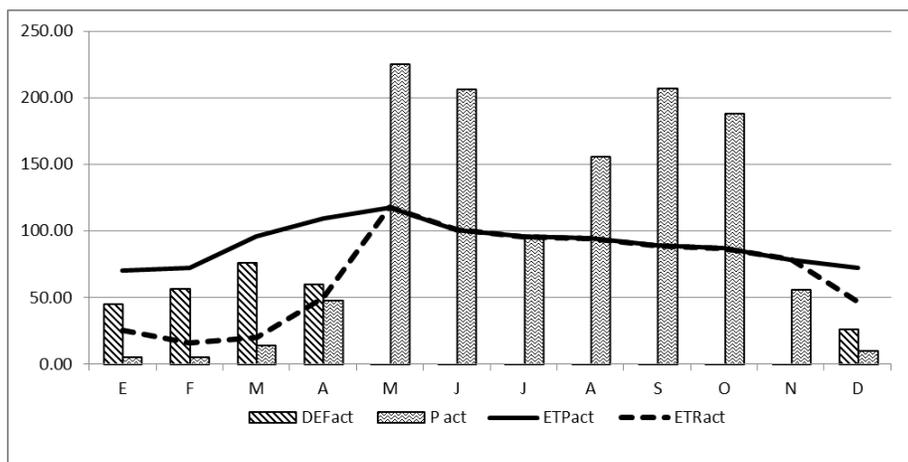
Períodos de exceso y deficiencias de agua para los suelos de orden Alfisol con clima a futuro en la comunidad San Luis, San Juan de Limay, Estelí

Leyenda: DEFfut: déficit futuro, Pfut: Precipitación futura, ETPfut: Evapotranspiración futura, ETRfut: Evapotranspiración Real Futura.

Balance hídrico (mm) para los suelos de orden Entisol con clima actual, municipio San Juan de Limay, Estelí

	P	ETP	ETPcorr	P-ETP	PPA	R	dR	ETR	DEF	EXC	DRE
ENE	5	72.66	70.48	-65.48	-151.07	21.69	-20.25	25.25	45.23	0.00	6.38
FEB	5.5	79.37	72.23	-66.73	-217.80	11.08	-10.61	16.11	56.11	0.00	3.19
MAR	14	93.26	96.06	-82.06	-299.85	4.85	-6.23	20.23	75.83	0.00	1.60
ABR	47.5	106.59	109.79	-62.29	-362.14	2.59	-2.26	49.76	60.03	0.00	0.80
MAY	225.3	107.85	117.56	107.74	-254.40	7.66	5.07	117.56	0.00	0.00	0.40
JUN	206	94.21	100.80	105.20	-149.20	22.10	14.44	100.80	0.00	90.76	45.38
JUL	94	87.05	95.76	-1.76	-150.96	21.71	-0.39	95.76	0.00	1.40	23.39
AGO	155.3	88.27	94.45	60.85	-90.11	40.07	18.36	94.45	0.00	0.00	11.69
SEP	206.5	87.25	89.00	117.51	0.00	99.30	59.23	89.00	0.00	0.00	5.85
OCT	188.2	86.14	87.00	101.20	0.00	99.30	0.00	87.00	0.00	101.20	53.52
NOV	55.5	81.78	78.51	-23.01	-23.01	78.76	-20.54	78.51	0.00	-2.47	25.53
DIC	10	74.06	72.58	-62.58	-85.59	41.94	-36.82	46.82	25.76	0.00	12.76
Total	1212.8	1058.5	1084.2	128.6	-1784.1	451.1	0.0	821.3	262.9	190.9	190.5

P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración corregida; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso; DRE: Drenaje



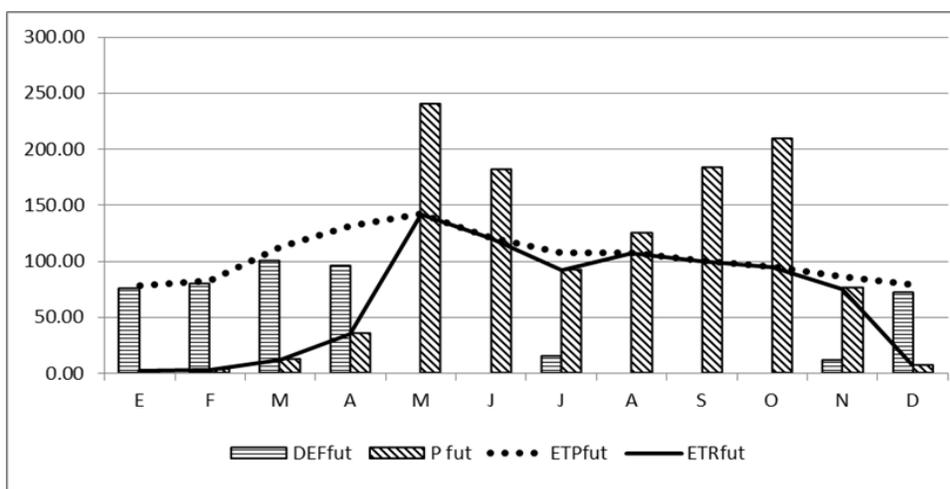
Periodos de exceso o deficiencias de agua para los suelos de orden Entisol con clima actual en la comunidad las Chacaras, San Juan de Limay, Estelí

Leyenda: DEFact: déficit actual, Pact: precipitación actual, ETPact: Evapotranspiración Actual, ETRact: Evapotranspiración Real Actual.

Balance hídrico (mm) para los suelos de orden Entisol con clima futuro, municipio San Juan de Limay, Estelí

	P	ETP	P-ETP	PPA	R	dR	ETR	DEF	EXC	DRE
ENE	2.50	80.58	-75.66	-158.59	99.50	-0.23	2.73	75.43	0.00	7.11
FEB	3.50	91.07	-79.37	-237.97	99.39	-0.11	3.61	79.26	0.00	3.56
MAR	12.50	109.63	-100.42	-338.39	99.33	-0.06	12.56	100.36	0.00	1.78
ABR	35.50	127.58	-95.91	-434.29	99.31	-0.02	35.52	95.89	0.00	0.89
MAY	240.80	130.54	98.51	-335.78	99.33	0.02	142.29	0.00	0.00	0.44
JUN	181.50	112.81	60.79	-274.99	99.36	0.03	120.71	0.00	0.00	0.22
JUL	92.50	97.61	-14.87	-289.86	99.35	-0.01	92.51	14.86	0.00	0.11
AGO	124.80	100.56	17.20	-272.66	99.36	0.01	107.60	0.00	0.00	0.06
SEP	184.00	98.47	83.56	-189.10	99.45	0.08	100.44	0.00	0.00	0.00
OCT	209.20	94.13	114.13	-74.97	99.77	0.32	95.07	0.00	113.81	56.90
NOV	76.00	90.15	-10.54	-10.54	100.20	0.43	75.57	10.97	0.00	28.45
DIC	7.00	81.01	-72.39	-82.93	99.73	-0.47	7.47	71.92	0.00	14.23
Total	1169.80	1214.14	-74.97	-2700.06	1194.11	0.00	796.08	448.70	113.81	113.75

P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración corregida; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso; DRE: Drenaje



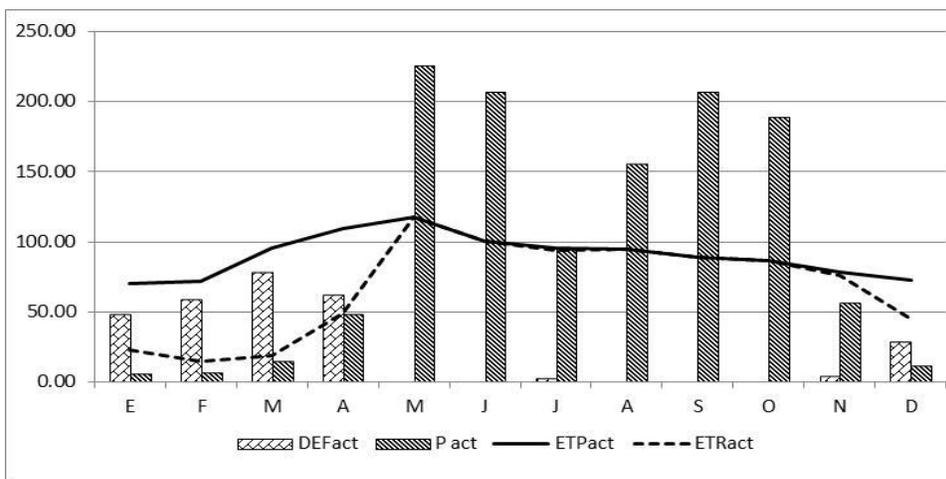
Períodos de exceso y deficiencias de agua para los suelos de orden Entisol con clima a futuro en la comunidad las Chacaras, San Juan de Limay, Estelí

Leyenda: DEFfut: déficit futuro, Pfut: Precipitación futura, ETPfut: Evapotranspiración futura, ETRfut: Evapotranspiración Real Futura.

Balance hídrico (mm) para los suelos de orden Vertisol con clima actual, municipio San Juan de Limay, Estelí

	P	ETP	ETPcorr	P-ETP	PPA	R	dR	ETR	DEF	EXC	DRE
ENE	5.00	72.66	70.48	-65.48	-151.07	17.35	-18.25	23.25	47.23	0.00	9.45
FEB	5.50	79.37	72.23	-66.73	-217.80	8.34	-9.01	14.51	57.72	-57.72	-28.86
MAR	14.00	93.26	96.06	-82.06	-299.85	3.39	-4.95	18.95	77.11	0.00	-14.43
ABR	47.50	106.59	109.79	-62.29	-362.14	1.71	-1.68	49.18	60.61	0.00	-7.21
MAY	225.30	107.85	117.56	107.74	-254.40	5.58	3.87	117.56	0.00	103.87	48.33
JUN	206.00	94.21	100.80	105.20	-149.20	17.71	12.13	100.80	0.00	93.07	70.70
JUL	94.00	87.05	95.76	-1.76	-150.96	17.37	-0.34	94.34	1.42	0.00	35.35
AGO	155.30	88.27	94.45	60.85	-90.11	33.88	16.51	94.45	0.00	44.34	39.85
SEP	206.50	87.25	89.00	117.51	0.00	91.10	57.22	89.00	0.00	60.29	50.07
OCT	188.20	86.14	87.00	101.20	0.00	91.10	0.00	87.00	0.00	101.20	75.63
NOV	55.50	81.78	78.51	-23.01	-23.01	70.77	-20.33	75.83	2.67	0.00	37.82
DIC	10.00	74.06	72.58	-62.58	-85.59	35.60	-35.16	45.16	27.42	0.00	18.91
Total	1212.80	1058.49	1084.20	128.60	-1784.12	393.91	0.00	810.04	274.16	345.05	335.60

P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración corregida; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso; DRE: Drenaje



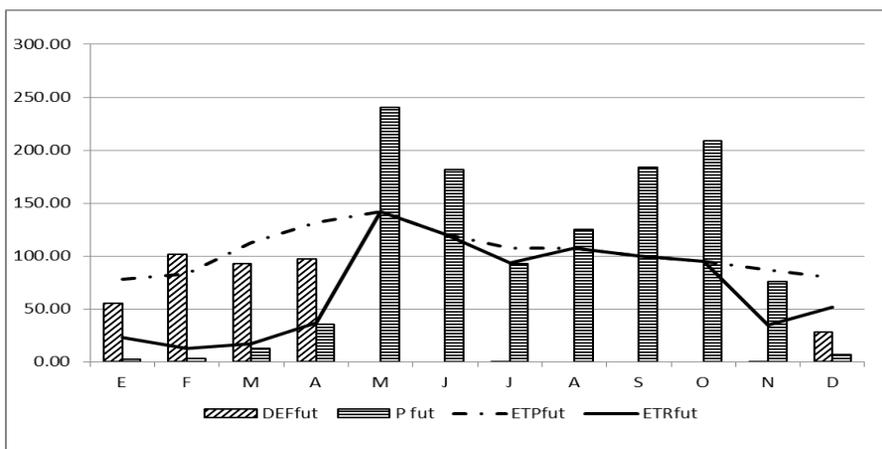
Períodos de exceso y deficiencias de agua para los suelos de orden Vertisol con clima actual en la comunidad San Lorenzo, San Juan de Limay, Estelí

Leyenda: DEFact: déficit actual, Pact: precipitación actual, ETPact: Evapotranspiración Actual, ETRact: Evapotranspiración Real Actual.

Balance hídrico (mm) para los suelos de orden Vertisol con clima futuro, municipio San Juan de Limay, Estelí

	P	ETP	ETPcorr	P-ETP	PPA	R	dR	ETR	DEF	EXC	DRE
ENE	2.50	80.58	78.16	-75.66	-158.59	15.98	-20.68	23.18	54.98	0.00	8.42
FEB	3.50	91.07	82.87	-79.37	-237.97	6.68	-9.29	12.79	70.08	0.00	4.21
MAR	12.50	109.63	112.92	-100.42	-338.39	2.22	-4.46	16.96	95.95	0.00	2.10
ABR	35.50	127.58	131.41	-95.91	-434.29	0.77	-1.45	36.95	94.46	0.00	1.05
MAY	240.80	130.54	142.29	98.51	-335.78	2.28	1.51	142.29	0.00	97.00	48.50
JUN	181.50	112.81	120.71	60.79	-274.99	4.45	2.17	120.71	0.00	58.63	53.56
JUL	92.50	97.61	107.37	-14.87	-289.86	3.78	-0.67	93.17	14.20	0.00	26.78
AGO	124.80	100.56	107.60	17.20	-272.66	4.57	0.79	107.60	0.00	16.41	21.60
SEP	184.00	98.47	100.44	83.56	-189.10	11.43	6.86	100.44	0.00	76.70	49.15
OCT	209.20	94.13	95.07	114.13	-74.97	40.01	28.58	95.07	0.00	85.55	67.35
NOV	76.00	90.15	86.54	-10.54	-10.54	81.15	41.14	34.86	51.68	0.00	33.68
DIC	7.00	81.01	79.39	-72.39	-82.93	36.66	-44.49	51.49	27.90	0.00	16.84
Total	1169.80	1214.14	1244.77	-74.97	-2700.06	209.98	0.00	835.51	409.26	334.29	333.24

P: Precipitación; ETP: Evapotranspiración corregida; P-ETP: Precipitación menos Evapotranspiración Potencial; PPA: Pérdida Potencial Acumulada; RES: Reserva; VRES: Variación de la reserva; ETR: Evapotranspiración Real; DEF: Déficit; EXC: Exceso; DRE: Drenaje



Periodos de excesos y deficiencias de agua para los suelos de orden Vertisol con clima a futuro en la comunidad San Lorenzo, San Juan de Limay, Estelí

Leyenda: DEFfut: déficit futuro, Pfut: Precipitación futura, ETPfut: Evapotranspiración futura, ETRfut: Evapotranspiración Real Futura.