



“Por un Desarrollo  
Agrario  
Integral y Sostenible”

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

## **DIRECCIÓN DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**

### **Trabajo de Tesis**

**Diagnóstico del estado actual de los  
recursos suelo y agua en la microcuenca  
río El Jocote, Condega, Estelí, 2021**

**Autor**

**Br. Ángel de Jesús Salinas Sequeira**

**Asesor**

**MSc. Raquel Dolores Izabá Ruiz**

**Managua, Nicaragua  
Enero 2024**

Hoja de aprobación del Comité Evaluador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el Honorable Comité Evaluador designado por la decanatura de la <Facultad de Agronomía> como requisito final para optar al título profesional de:

***Ingeniero Agrícola***

---

Miembros del Comité Evaluador

---

Ing. MSc. Henry Duarte  
Presidente

Ing. Luis Tercero  
Secretario

Ing. MSc. Carmen Castillo  
Vocal

Lugar y Fecha: Managua, Nicaragua, 22/02/2023

## **DEDICATORIA**

A mi familia, padre Domingo Salinas, madre Fabia Sequeira, madrastra Isabel Aburto, mis hermanos, Ariel Salinas, Luis Salinas, Fabiola Salinas, Estela Sequeira, y mis abuelos Carlos Avilés y Severiano Contreras.

*Br. Ángel de Jesús Salinas Sequeira*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la sabiduría para terminar mi carrera con éxito, a mi novia Brittany Paulina Soto Medrano quien fue incondicional y de gran apoyo y motivación para la culminación de mi tesis.

A mis amigos, quienes siempre me apoyaron y ayudaron en momentos difíciles, especialmente a Mauricio Bofill, Miurel Silva, Judeyner Aguirre, Maykeling Treminio, Efrín González, Maycol Ayerdis, Christopher Manzanares, Mario Solórzano, Gaddiel Gutiérrez, Guillermo García, Jhonier Espinoza, Ernesto Pérez, Shirley Morales, Jannell Moraga, Alany Escalante, Juana Rosales, Jefferson Mendoza y Carlos Peinado, mejor conocido como “Juan”.

A todos los docentes que fueron parte de mi formación en especial a mis asesores, MSc. Raquel Izabá e Ing. Yader Barrera, al igual que a mi docente de física y matemáticas Dr. Mauricio González.

A la Extensión Cultural de la universidad (EXTCUNA), en especial a la Lic. Ana Victoria Borge de cariño mamá Vicky, Lic. Ernesto Pérez mi docente de danza y Aurelio Núñez mi docente de teatro y literatura.

*Br. Ángel de Jesús Salinas Sequeira*

## INDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
<b>DEDICATORIA</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b>	<b>ii</b>
<b>INDICE DE CUADROS</b>	<b>iii</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>iv</b>
<b>INDICE DE ANEXOS</b>	<b>v</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Objetivo general</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Objetivos específicos</b>	<b>3</b>
<b>III. MARCO DE REFERENCIA</b>	<b>4</b>
3.1. Suelo	4
3.1.1. Sistema de clasificación de suelos (Soil Taxonomy)	4
3.1.2. Levantamiento de suelos	5
3.1.4. Propiedades Físicas de los suelos	5
3.1.5. Propiedades químicas de los suelos	7
3.1.6. Uso del suelo	8
3.1.7. Sistema de clasificación de tierras (método de clases agrológicas)	9
3.1.8. Conflicto de uso del suelo	9
3.2. Balance hídrico del suelo	9
3.2.1. Componentes del balance hídrico de suelo	10
3.2.2. Zonas de recarga hídrica	14
3.3. Calidad de agua para uso domestico	14
3.3.1. Parámetros Fisicoquímicos	15
3.3.2. Parámetros Bacteriológicos	17
<b>IV. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>18</b>
<b>4.1. Ubicación del estudio</b>	<b>18</b>
4.2. Características biofísicas	19
4.2.1. Uso actual del suelo	19
4.2.2. Clima	19
4.2.3. Cobertura vegetal y bosques	20
4.2.4. Relieve	20
4.3. Diseño metodológico	20
4.3.1. Caracterización del recurso suelo	20
4.3.2. Caracterización del recurso agua	25
4.3.3. Metodología para determinar las zonas de recarga hídrica	30
4.3.4. Evaluación de la calidad de agua para consumo humano	34
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>35</b>
5.1. Recurso suelo en la microcuenca río El Jocote	35
5.1.1. Clasificación de los suelos de la microcuenca	35
5.1.2. Subgrupos taxonómicos de los suelos en la microcuenca río El Jocote	39
5.1.3. Uso actual del suelo en la microcuenca río El Jocote	40

5.1.4.	Capacidad de usos del suelo en la microcuenca río El Jocote	43
5.1.5.	Conflictos de usos del suelo en la microcuenca del río El Jocote	46
5.2.	Recurso agua de la microcuenca río El Jocote	48
5.2.1.	Infiltración por uso de suelo	48
5.2.2.	Zonas de recarga hídrica	51
5.3.	Calidad del agua para consumo humano en la microcuenca río El Jocote	55
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>63</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>64</b>
<b>VIII.</b>	<b>LITERATURA CITADA</b>	<b>65</b>
<b>IX.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>71</b>

---

## INDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Descripción de las Variables del quebrado de suelos Typic Ustorthents	22
2.	Descripción de las Variables del quebrado de suelos Haplustolls	22
3.	Descripción de las Variables del quebrado de suelos Fluventic Eutrudepts	23
4.	Grado de limitación de las Clases de Capacidad para cada Uso Mayor de la Tierra	24
5.	Categorías de conflictos de usos de la tierra en la microcuenca del Río El Jocote	25
6.	Estaciones climáticas evaluadas para el cálculo del BHS	25
7.	Clasificación de las velocidades de infiltración	27
8.	Coeficientes por efecto de pendiente	28
9.	Coeficientes por efecto de cobertura vegetal	28
10.	Coeficientes de infiltración por efecto de la textura del suelo	29
11.	Categorías de clasificación para zonas de recarga potencial	30
12.	Categorías de la recarga potencial en la microcuenca río El Jocote	31
13.	Categorías de clasificación de la recarga de acuerdo con la pendiente	32
14.	Criterios de clasificación de la recarga por geología	32
15.	Criterios de clasificación de la recarga por uso del suelo	33
16.	Parámetros de calidad de agua a determinar en campo	34
17.	Descripción del perfil Typic Ustorthents, Plan de Grama	36
18.	Descripción del perfil Typic Haplustolls, El Jilguero	37
19.	Características del suelo Fluventic Eutrudepts	38
20.	Órdenes y subgrupos de suelos presentes en la microcuenca del río El Jocote	40
21.	Usos de la tierra, microcuenca del río El Jocote	41
22.	Clases de capacidad de uso de la tierra, microcuenca del río El Jocote	44
23.	Conflictos de usos de los suelos, microcuenca del río El Jocote	47
24.	Velocidades de infiltración promedio por uso de suelo, microcuenca del río El Jocote	48
25.	Zonas de recarga hídrica, microcuenca del río El Jocote	51
26.	Resultados de calidad de agua, muestreo mayo 2021, microcuenca del río El Jocote	56
27.	Resultados de calidad de agua, muestreo octubre 2021, microcuenca del río El Jocote	59

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Mapa de ubicación de la microcuenca del río El Jocote, Condega, Estelí	18
2.	Condiciones Climáticas de la microcuenca del río El Jocote, Condega Estelí	19
3.	Mapa de los subgrupos taxonómicos de suelos, microcuenca del río El Jocote	39
4.	Mapa de uso actual del suelo, microcuenca del río El Jocote	42
5.	Mapa de clases de capacidad de uso del suelo, microcuenca del río El Jocote	43
6.	Mapa de conflictos de uso de los suelos, microcuenca del río El Jocote	46
7.	Zonas de recarga hídrica, microcuenca del río El Jocote	54



## INDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Formato de campo para la clasificación de suelos	71
2.	Hoja de cálculo de infiltración USDA	71
3.	Pruebas de infiltración	72
4.	Precipitaciones medias mensuales del periodo 2000-2020	72
5.	Mapa de curvas Isoyetas para la microcuenca del río El Jocote	73
6.	Precipitaciones medias mensuales a partir de las curvas Isoyetas	74
7.	Evapotranspiración de la microcuenca, periodo 2000-2020	74
8.	Características geológicas relacionadas con la recarga hídrica	75
9.	Hojas de cálculo del balance hídrico de suelos propuesto por Schosinsky	76
10.	Muestreo de calidad de agua, microcuenca del río El Jocote	87
11.	Usos del suelo en la microcuenca del río El Jocote	87

## RESUMEN

El estudio se realizó en la microcuenca río El Jocote, municipio de Condega, departamento de Estelí, en una extensión de 92 km<sup>2</sup>. Con fines de diagnosticar el estado de los recursos suelo y agua en la zona. Se realizaron pruebas de infiltración por usos de suelo; además se describieron perfiles de suelo, se tomaron muestras tanto en perfiles y barrenadas para determinar con análisis de laboratorio las características físicas e hidrofísicas. Se brindaron resultados sobre: mapa taxonómico del suelo, recarga potencial con el balance hídrico de suelos propuesto por Shosinsky en (2006) y el mapa de zonas de recarga, sumando a esto se realizó una confrontación de usos entre el potencial agrológico y el uso actual de los suelos. En la zona de estudio se identificaron 3 subgrupos de suelos siendo estos, Typic Ustorthents, Typic Haplustolls y Fluventic Eutrudepts. La clase agrologica VIII es la de mayor extensión ocupando el 38.9 % del área lo que indica que son suelos con potencial forestal y de conservación; sin embargo, el uso de la tierra de mayor área es el pasto con 52.27 %, sugiriendo un conflicto de uso de los suelos del 61.33 %, lo que indica que el uso potencial más afectado en la microcuenca pertenece a la clase VIII. Las zonas de recarga hídrica se clasificaron en zonas de recarga Alta con el 12.82 % del área, Moderada con 56.10 %, Baja con 30.5 % y Muy Baja con 0.13 %. La calidad de agua en las fuentes de agua evaluadas en ambos muestreos no es apta para consumo humano por presentar concentraciones de amonio que van de 2.43 mg/l a 6.36 mg/l, los que exceden el máximo admisible de 0.5 mg/l; sumado a esto, la presencia de coliformes totales; sin embargo, con un tratamiento previo el recurso es apto para consumo.

**Palabras claves:** Clasificación de suelos, conflictos de usos, recarga potencial, zonas de recarga, calidad de agua, conservación de los recursos.

## ABSTRACT

The study was carried out in the El Jocote River micro-basin, municipality of Condega, department of Estelí, in an area of 92 km<sup>2</sup>. To diagnose the state of soil and water resources in the area. Infiltration tests were carried out due to land uses; In addition, soil profiles were described, samples were taken in both profiles and drill holes to determine the physical and hydro physical characteristics with laboratory analysis. Results were provided on: taxonomic map of the soil, potential recharge with the soil water balance proposed by Shosinsky in (2006) and the map of recharge zones, adding to this a confrontation of uses was carried out between the agrological potential and the current use. of the soil. In the study area, 3 subgroups of soils were identified: Typic Ustorthents, Typic Haplustolls and Fluventic Eutrudepts. Agrological class VIII is the largest, occupying 38.9% of the area, which indicates that they are soils with forestry and conservation potential; However, the land use of the largest area is pasture with 52.27%, suggesting a land use conflict of 61.33%, which indicates that the most affected potential use in the micro basin belongs to class VIII. The water recharge zones were classified into High recharge zones with 12.82% of the area, Moderate with 56.10%, Low with 30.5% and Very Low with 0.13%. The quality of the water in the sources evaluated is not suitable for human consumption because it presents ammonium levels ranging from 2.43 mg/l to 6.36 mg/l, which exceed the maximum admissible of 0.5 mg/l, added to this, the presence of Both total and fecal coliforms in both samples make the resource harmful to human health.

**Keywords:** Soil classification, use conflicts, potential recharge, recharge zones, water quality, resource conservation.

## I. INTRODUCCIÓN

Durante décadas los recursos suelos, agua y bosques han sido sometidos a prácticas de manejo inapropiadas, de alguna forma propiciados por políticas y estrategias de desarrollo inadecuadas, sumado a esto el impacto de las sequías, huracanes y tormentas tropicales que han afectado el territorio, han traído consecuencias económicas, sociales y ambientales (Acuña et al., 2008).

Entre las afectaciones que se han generado, están los cambios constantes en los usos de los suelos, repercutiendo directamente en la infiltración del agua, en el aumento de los escurrimientos superficiales y en la disminución de la recarga en los acuíferos (Reynosa, 2014).

De la misma forma los cambios en los usos del suelo inciden en la cantidad y calidad del recurso hídrico; debido a los procesos erosivos que causan estos cambios, los que alteran la composición de los suelos y contaminan el agua mediante las actividades agrícolas o por procesos geológicos naturales en aguas subterráneas, así como el aumento de la sedimentación hacia las aguas superficiales. (Inter-American Network of Academies of Science [IANAS], 2019).

En el departamento de Estelí, municipio de Condega, se encuentra localizada la microcuenca río El Jocote. Esta microcuenca cuenta con una red hidrográfica alta, la cual le permite evacuar volúmenes grandes de agua producto de las precipitaciones, sin embargo, la mayoría de agua que se precipita se pierde por escorrentías ocasionadas por el mal manejo de los suelos (Calderón et al., 2001).

En la microcuenca, la falta de información que muestre las condiciones en las que se encuentran los recursos suelos y agua; da pauta para elaborar un estudio donde se refleje el estado actual de los suelos en base a los conflictos de usos, zonas de recarga hídrica y calidad del agua para consumo humano.

Por lo antes expuesto, el presente estudio diagnostica el estado de los recursos suelo y agua en la microcuenca río El Jocote, determinando primeramente las características físicas e hidrofísicas de los suelos, parámetros que junto con las observaciones de campo ayudaron en la elaboración de los mapas de suelos, usos de la tierra, capacidad de usos y confrontación de usos. Consecuentemente se estimó la recarga potencial del periodo 2000-2020 mediante el cálculo del Balance Hídrico del Suelo (BHS) propuesto por Schosinsky (2006), teniendo como base las características de infiltración de los usos de suelos presente, procesando posteriormente el mapa de zonas de recarga hídrica. Por último, se determinó la calidad del agua en 11 fuentes distribuidas en la parte alta, media y baja de la microcuenca en los dos periodos climáticos del año, utilizando equipos como el multiparamétrico, el colorímetro portátil DR900 para las propiedades fisicoquímicas y el reactivo PathoScreen™ para las propiedades bacteriológicas.

Los resultados obtenidos permitieron conocer las potencialidades y limitantes de los suelos y las zonas de recarga existentes en la microcuenca; así como, la calidad del agua, con el fin de proponer algunas recomendaciones de conservación y manejo de dichos recursos.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Diagnosticar el estado actual de los recursos suelo y agua en la microcuenca río El Jocote en el municipio de Condega, Estelí.

### **2.1. Objetivos específicos**

1. Clasificar a nivel de subgrupo taxonómico el recurso suelo, sus usos de la tierra, capacidades de usos y conflictos de usos.
2. Definir las zonas potenciales de recarga hídrica relacionando características como pendiente, geología, uso actual del suelo y recarga potencial de la microcuenca.
3. Valorar la calidad del agua para consumo humano de las fuentes identificadas en la microcuenca.

### **III. MARCO DE REFERENCIA**

Morales (2021), realizó un estudio de caracterización de la oferta, demanda y calidad del agua subterránea para riego en la Unidad de Experimentación y Validación de Tecnologías El Plantel. En la unidad experimental se analizaron datos climatológicos en un periodo de 12 años. En el estudio se obtuvo a partir del cálculo del BHS propuesto por Schosinsky (2006), aplicado sobre los diferentes usos del suelo, que en El Plantel existen condiciones hidrofísicas que permiten la oferta de agua como aporte de almacenamiento del agua subterránea, durante la estación lluviosa, entre los meses de septiembre-octubre.

#### **3.1. Suelo**

De acuerdo con Lal et al., (1997):

El suelo se define como un cuerpo tetradimensional que almacena energía (largo, profundidad, ancho y tiempo), o sea límite superior (atmósfera), lateral con otros cuerpos, inferior con la roca y desarrollado en el tiempo. Según el mismo autor, el suelo se localiza entre las interfaces atmósfera, hidrosfera, y biosfera, basado en tres formas de energía: Gravitacional, interna en la roca y la energía solar (citado por Barrera y Amador, 2008, p. 4).

##### **3.1.1. Sistema de clasificación de suelos (Soil Taxonomy)**

Niborsky (2002) expone:

Para establecer los nombres de los suelos puede recurrirse a dos criterios: utilizar nombres populares locales o introducir una nomenclatura que resulte auto explicativa. En lo que respecta a este último criterio, en Nicaragua se utiliza el sistema propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, conocido como "Soil Taxonomy". La Soil Taxonomy 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. (citado por Barrera y Amador, 2008, p. 9)

### **3.1.2. Levantamiento de suelos**

“El levantamiento de suelos o más propiamente el inventario del recurso suelo, es el proceso por el cual se determina el patrón de cobertura del suelo, caracterizándolo y presentándolo de forma entendible e interpretable para varios clientes” (Rossiter, 2002, p. 10).

### **3.1.3. Perfil de suelos**

Ibáñez (2008), define:

El perfil de un suelo es la sección o corte vertical que describen y analizan los edafólogos con vistas a describirlo y clasificarlo. Este suele tener un metro o dos de profundidad, si la roca madre, o el material parental, no aparece antes. (párr. 2)

### **3.1.4. Propiedades Físicas de los suelos**

#### *Color del Suelo*

FAO (2009), expone que:

El color del suelo refleja la composición, así como las condiciones pasadas y presentes de óxido-reducción del suelo. Está determinado generalmente por el revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica humificada (oscuro), óxidos de fierro (amarillo, pardo, anaranjado y rojo), óxidos de manganeso (negro) y otros, o puede ser debido al color de la roca parental (p. 34).



### ***Estructura de los Suelos***

La Universidad Privada del Norte (UPN, 2011), define que:

La estructura del suelo es la forma de agregación natural de las partículas del suelo, para formar unidades de mayor tamaño con carácter más persistente. Estas unidades se denominan agregados. Su formación se debe a la presencia de cargas eléctricas en la superficie de las arcillas, lo que da como resultado interacciones fisicoquímicas con los demás componentes del suelo (párr. 1).

### ***Porosidad***

Según la FAO (2009), explica que:

En la porosidad incluyen todos los espacios vacíos en el suelo. Están relacionados con el arreglo de los constituyentes primarios del suelo, patrones de enraizamiento, cámaras (madrigueras) de animales o cualquier otro proceso formador del suelo, como agrietamiento, desplazamiento y percolación (p. 53).

### ***Consistencia***

La FAO (2009), expone que:

La consistencia se refiere al grado de cohesión o adhesión de la masa del suelo. Incluye las propiedades del suelo como la friabilidad, plasticidad, adhesividad, y resistencia a la compresión. Depende en gran medida de la cantidad y tipo de arcilla, materia orgánica y contenido de humedad del suelo (p. 49).

### **3.1.5. Propiedades químicas de los suelos**

#### ***Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)***

INTA/ FAO (2001), explican que:

La capacidad de intercambio de cationes trata de unas de las propiedades químicas más importantes, y que muchos autores y estudiosos la identifican con la fertilidad del suelo. El mecanismo de intercambio se lleva a cabo a través de las partículas más pequeñas del suelo que son las arcillas minerales y el humus, en estado de disolución parcial en el agua del suelo, que se conocen como complejo arcillo- húmico (citado por Castillo, 2005, p. 20).

#### ***Saturación de Bases***

SACSA (2016), define que:

La saturación de base es la cantidad de iones cargados positivamente, con exclusión de iones de hidrógeno y aluminio, que son absorbidos en la superficie de las partículas del suelo y se mide y es expresada como un porcentaje. La saturación de bases está relacionada positivamente con el pH del suelo debido a que un valor de saturación de bases alta indicaría que los sitios de intercambio de una partícula de suelo están dominados por iones no ácidos. (párr. 1)

#### ***Porcentaje de Hidrogeno (pH)***

Osorio (2012), define:

El pH es una propiedad química que mide el grado de acidez o alcalinidad de las soluciones acuosas. Por definición se considera que el pH es el logaritmo negativo de la

actividad de los protones (H<sup>+</sup>) en una solución acuosa. En los suelos el pH es una propiedad química de mucha importancia porque indica que tan ácida o alcalina es la solución del suelo, que es de donde las raíces y los microorganismos del suelo toman sus nutrientes. (p.1)

### ***Materia orgánica***

Schulte et al, (2014)., explica que:

Las funciones principales del suelo, como la producción primaria, la purificación y regulación del agua, el secuestro y regulación del carbono, la biodiversidad y el ciclo de los nutrientes, dependen en gran medida de la materia orgánica del suelo (MOS). La fracción orgánica del suelo está compuesta por aproximadamente un 58% de carbono, que fue secuestrado en su mayoría de la atmósfera a través de la actividad fotosintética de las plantas. Por lo tanto, el nivel de materia orgánica no sólo es esencial para el suelo y el agricultor, sino también para el clima, el medio ambiente y la sociedad en su conjunto. (citado por Grand y Michel, 2020, p. 1)

#### **3.1.6. Uso del suelo**

IGAC (2012), define:

El uso del suelo se refiere a la clase mayor de uso que una unidad de suelo está en capacidad natural de soportar con características de sostenibilidad, evaluada sobre una base biofísica. Está subdividida en cinco clases: agrícola, ganadera, agroforestal, forestal y de conservación. (citado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2018, p. 9)

### **3.1.7. Sistema de clasificación de tierras (método de clases agrológicas)**

Klingebiel y Montgomery (1961), exponen que:

El método de clases agrológicas es un sistema que se refiere a la capacidad de la tierra para su empleo bajo usos agrícolas, sin descender a unos sistemas o prácticas de cultivo específicos. Concretamente las Clases Agrológicas agrupan unidades de suelos en función de su capacidad para producir las plantas comúnmente cultivadas, sin deterioro del medio a largo plazo. (citado por Sobejano, 2010, p. 34)

Sobejano (2010), describe que:

Este método tiene la particularidad de que las distintas clases agrológicas están definidas según las limitaciones para su explotación agrícola, atendiendo a los distintos caracteres que definen la productividad. Se reconocen ocho clases, descritos con números romanos, en las que la limitación de uso está restringida de forma creciente, desde la I (la mejor, sin restricciones de uso) hasta la VIII (la peor, restricción máx.). (p. 34)

### **3.1.8. Conflicto de uso del suelo**

Según Valderrama (2014), define que:

El conflicto por uso del suelo se define como la magnitud de la diferencia existente entre la oferta productiva del suelo y las exigencias del uso actual del mismo; tales diferencias se definen como conflictos que se clasifican en a) Correspondencia o equivalencia, b) Sub - utilización del suelo y c) Sobre- utilización. (p. xxxviii)

## **3.2. Balance hídrico del suelo**

Schosinsky (2006), explica que:

El estudio del balance de suelos se basa en el principio de la conservación de la materia. O sea, el agua que entra a un suelo es igual al agua que se almacena en el suelo, más el agua que sale de él. Las entradas son debidas a la infiltración del agua hacia el suelo, y las salidas se deben a la evapotranspiración de las plantas, más la descarga de los acuíferos. (p.14)

### **3.2.1. Componentes del balance hídrico de suelo**

Schosinsky (2006), explica que el suelo sus propiedades hidro físicas es el principal componente del cálculo del balance hídrico. Dichas propiedades son las siguientes:

#### ***Textura***

La FAO (2009), define:

La textura del suelo es la proporción relativa de las clases de tamaño de las partículas (arena, limo, arcilla) (o separaciones de suelo, o fracciones) en un volumen de suelo dado y se describe como una clase textural de suelo. (p. 26)

#### ***Capacidad de Campo (CC)***

Shaxson y Barber (2005), exponen:

La Capacidad de Campo se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje. El drenaje ocurre por la transmisión del agua a través de los poros mayores de 0,05 mm de diámetro; sin embargo, la capacidad de campo puede corresponder a poros que varían entre 0,03 y 1 mm de diámetro. El concepto de Capacidad de Campo se aplica únicamente a suelos bien estructurados donde el drenaje del exceso de agua es relativamente rápido; si el drenaje ocurre en suelos pobremente estructurados, por lo general continuará durante varias semanas y este tipo de suelos de estructura tan pobre raramente tiene una Capacidad de

Campo claramente definida. La Capacidad de Campo se determina mejor en el campo saturando el suelo y midiendo su contenido de agua después de 48 horas de drenaje. El suelo a capacidad de campo se siente muy húmedo en contacto con las manos. (párr. 1)

### ***Punto de Marchitez Permanente***

CONADI (2017), explica que: “El punto de marchitez permanente es la condición de humedad de suelo en que las plantas no logran absorben el agua o bien lo hacen con extrema dificultad, experimentando una marchitez irreversible” (p.11).

### ***Densidad Aparente (Da)***

Alcalá y Flores (2010), expresan que:

La densidad aparente del suelo es la relación entre la masa o peso del suelo seco (peso de la fase sólida) y el volumen total, incluyendo al espacio poroso. En agricultura, la masa del suelo se refiere al peso después de secar el suelo en estufa a 110° C durante 24 horas o hasta peso constante y, el volumen, se refiere a la fábrica menor de 2 mm de diámetro. (p. 36)

### ***Capacidad de Infiltración***

“Es la fracción de agua proveniente de las precipitaciones que puede infiltrar hacia el suelo y que será utilizada por las raíces de las plantas o para recargar al acuífero” (Schosinsky y Losilla, 2000, p. 45).

### ***Coefficiente de Infiltración***

“El coeficiente de infiltración corresponde a la fracción de lluvia que aparentemente se infiltra en el suelo” (Schosinsky y Losilla, 2000, p. 44).

### ***Precipitación que infiltra (Pi)***

“Es la fracción de lluvia que infiltra mensualmente hacia el suelo, y que toma en cuenta los factores de precipitación mensual, retención pluvial mensual por parte del follaje, y el coeficiente de infiltración” (Schosinsky, 2006, p. 16).

### ***Temperatura***

Aldana (2016), define que:

La temperatura expresa numéricamente el efecto que en los cuerpos produce el calor originado por el balance entre la radiación recibida y la emitida. Importa, especialmente, la temperatura del aire en las inmediaciones de la superficie terrestre. El aire se calienta o se enfría a partir del suelo por distintos métodos de transmisión y por los cambios de estado físico del agua atmosférica. (p. 8)

### ***Evapotranspiración (ET)***

“La evapotranspiración, es la cantidad de agua utilizada por las plantas para realizar sus funciones de transpiración, más el agua que se evapora de la superficie del suelo en el cual se desarrolla” (Gámez, 2009, p. 18).

### ***Evapotranspiración Potencial (ETP)***

Según Gámez (2009):

Se concibe como la evapotranspiración a una superficie extensa cubierta de hierba verde (gramíneas) de 8 a 15 cm de altura, en fase activa de crecimiento que cubre completamente el suelo, en el que, en todo momento, existe la humedad suficiente para su uso máximo por esas plantas. (p. 19)

### ***Evapotranspiración Real (ETR)***

Gámez (2009), define la ETR:

Como la evapotranspiración de un cultivo u otra vegetación bajo las condiciones ambientales existentes. Ello indica que el suministro de agua puede estar limitado por restricciones de carácter físico (por ejemplo, la regulación estomática), lo cual reduce la transpiración con respecto al valor que ésta podría alcanzar en ausencia de la restricción (p. 19).

### ***Coefficientes de humedad***

“Se define como la humedad existente en el suelo considerando la infiltración de lluvia y evapotranspiración en un mes dado” (Schosinsky, 2006, p. 20).

### ***Humedad del suelo inicial y final***

Schosinsky (2006) expresa que: “al iniciar un mes cualquiera, el suelo tendrá una humedad inicial (HSi). Si no existiese evapotranspiración, la precipitación que infiltra vendría a aumentar la humedad del suelo, permitiendo una mayor evapotranspiración” (p.20).

La humedad del suelo final (HSf), “es la humedad disponible en el suelo una vez ocurrido el proceso de evapotranspiración y que estará disponible para el almacenamiento del acuífero” (Schosinsky, 2006, p. 20).

### ***Recarga potencial***

La recarga al acuífero se lleva a cabo, si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y además satisfacer la evapotranspiración de las plantas. El agua sobrante, una vez satisfecha la capacidad de campo y la evapotranspiración, es la que recarga al acuífero. (Schosinsky, 2006, p. 21)



### **3.2.2. Zonas de recarga hídrica**

El Instituto Nacional de Bosques (INAB,2003), expone que:

Es importante identificar las zonas que, por sus características, facilitan la infiltración; esto es, aquellas que ofrecen los mayores aportes de recarga de agua subterránea y, dentro de estas, aquellas que por sus particularidades específicas sean susceptibles de disminuir su potencial de recarga al ser sometidas a un manejo diferente a su capacidad. A estas áreas se les denomina zonas críticas de recarga hídrica. (citado por Matus et al., 2009, p. 6)

### **3.3. Calidad de agua para uso domestico**

Castro M. (1987), dice que:

“La calidad del agua es relativa es decir depende del uso que se le va a dar y para aseverar que determinada agua es apta para un propósito particular, debe cumplir los requisitos de calidad relacionados con su uso” (citado por Castillo I. 2013, p. 20).

En Nicaragua la calidad del agua está regulada por las normas del Comité Coordinador Regional de Instituciones de Agua Potable y Saneamiento de Centroamérica, Panamá y República Dominicana (CAPRE).

CAPRE (1993), divide Los principales parámetros indicadores de calidad del agua en: Parámetros Organolépticos (olor, color, sabor, turbidez), parámetros físicos químicos y parámetros bacteriológicos (p.22).

### **3.3.1. Parámetros Fisicoquímicos**

#### ***Temperatura***

La Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2012), define la temperatura como:

Un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía. La temperatura del agua influirá en la cantidad de oxígeno presente en el agua ya que a mayor temperatura se acelerará el proceso fotosintético, así como la remoción de materia orgánica. (p. 11)

#### ***Potencial de Hidrogeno (pH)***

La OPS (2012), define el porcentaje de hidrogeno como:

“El logaritmo base 10, de la actividad molar de los iones hidrógeno de una solución. Indica la acidez o alcalinidad del agua” (p. 10).

#### ***Conductividad Eléctrica***

Gollenola G. (2007), define que:

La conductividad es la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica y es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio). La conductividad eléctrica en los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente determinada por la geología del área a través de la cual fluye el agua. (citado por castillo I. 2013, p.24)

#### ***Dureza***

La OPS (2012), expone que:

“La dureza del agua es el contenido de calcio y, en menor medida, de magnesio disueltos. Suele expresarse como cantidad equivalente de carbonato cálcico” (p. 13).

Neira (2006), aduce que:

La dureza del agua podría estar ligada directamente por factores geológicos, como son el tipo y composición mineral de las rocas o materiales de formación de los suelos y varía dependiendo de la localización geográfica y la estación climática del año.

### **Nitratos**

Según la OPS (2012), los nitratos son:

Son compuestos presentes en la naturaleza que forman parte del ciclo del nitrógeno. En concreto es la forma oxidada estable de ese ciclo. La concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares. (p. 12)

### ***Sólidos Totales Disueltos***

Torres, F. (2009), expone que:

Los sólidos totales disueltos (STD) es la materia disuelta en el agua y comprenden las sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica. Los STD en el agua pueden deberse a fuentes naturales, descargas de afluentes de aguas servidas, descargas de desechos industriales y escurrimientos urbanos. (citado por castillo I. 2013, p.27)

### **3.3.2. Parámetros Bacteriológicos**

#### *Coliformes totales*

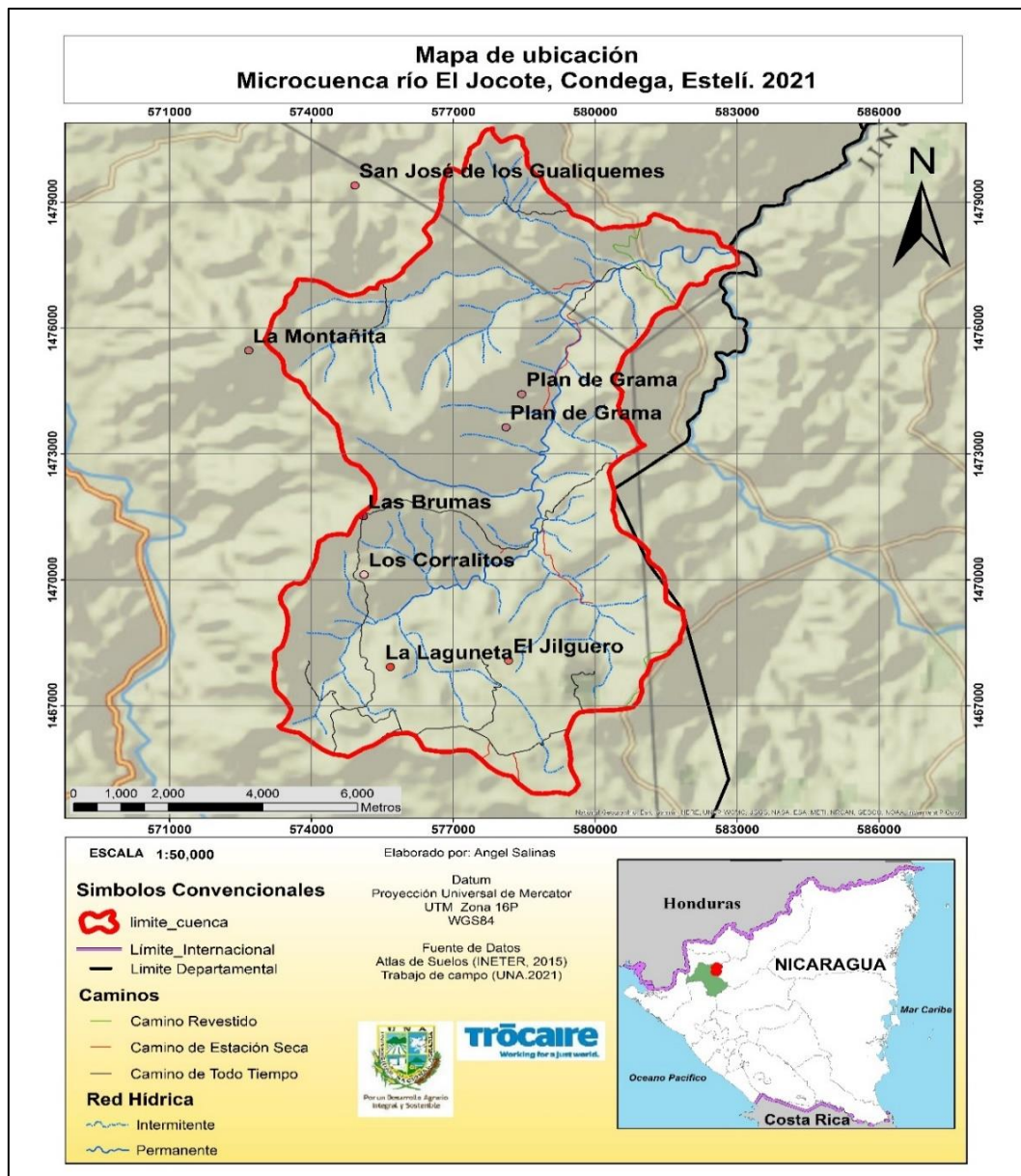
El Ministerio de Salud (1998), define:

El grupo de coliformes como todas las bacterias Gram negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35° a 37°C, produciendo ácido y gas (CO<sub>2</sub>) en 24 horas, aerobias o anaerobias facultativas, no forman esporas y presentan actividad enzimática. (citado por Carrillo, E. y Lozano, A. 2008, p. 5)

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Ubicación del estudio

El estudio se realizó en la microcuenca río El Jocote, ubicada en el municipio de Condega, departamento de Estelí en las comunidades Plan de Grama, El Jocote arriba, El Jilguero, el Jilguero arriba, La Laguneta y Los Corralitos. La microcuenca río El Jocote tiene una extensión de aproximadamente 92 Km<sup>2</sup>.



**Figura 1.** Mapa de ubicación de la microcuenca del río El Jocote, Condega, Estelí.

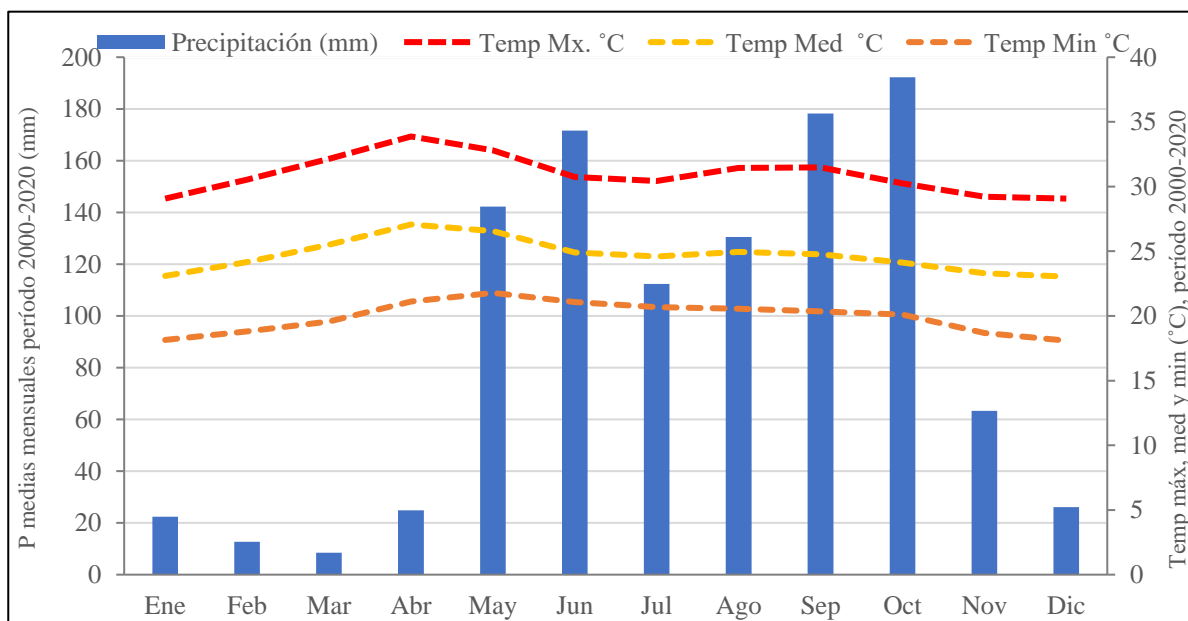
## 4.2. Características biofísicas

### 4.2.1. Uso actual del suelo

Según el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), y su actualización del Atlas de Suelos en 2015, la microcuenca del río El Jocote, se divide en ocho clases de usos, que son: bosque de pino abierto, bosque latifoliado abierto, bosque latifoliado cerrado, cultivos anuales y perennes, pastos, tacotales y vegetaciones arbustivas (INETER, 2015).

### 4.2.2. Clima

En la figura 2, se observan los promedios mensuales de las precipitaciones y temperaturas máximas, medias y mínimas del período 2000-2020. Los meses de mayor precipitación ocurrieron en los meses de mayo, junio, septiembre y octubre. Las temperaturas máximas oscilan entre 32.8 °C y 29.07 °C, las medias entre 27.07 °C y 23.04 °C, y las mínimas entre 21.78 °C y 18.09 °C (INETER, 2015).



**Figura 2.** Condiciones Climáticas de la microcuenca del río El Jocote, Condega Estelí. (Fuente: Bases de datos, INETER, 2000-2020)

### **4.2.3. Cobertura vegetal y bosques**

De acuerdo con el Atlas de suelos del INETER (2015), y el mapa de usos de la tierra elaborado para la microcuenca, ésta presenta en su territorio un remanente de bosque de 22.84 km<sup>2</sup>, dividiéndose en bosques de coníferas abiertos, latifoliados cerrados y latifoliados abiertos, representando el 24.83 % de la extensión total de la microcuenca.

### **4.2.4. Relieve**

Mediante el Modelo Digital de elevación (DEM) de la microcuenca, se determinó que la zona de estudio presenta un relieve irregular, con terrenos planos a terrenos inclinados y escarpados con pendientes del 0 % hasta mayores del 50 %.

## **4.3. Diseño metodológico**

Para llevar a cabo este estudio, se realizaron tres visitas de campo, donde se desarrollaron las siguientes actividades que se detallan a continuación:

### **4.3.1. Caracterización del recurso suelo**

Para la caracterización de los suelos se describieron perfiles de suelos utilizando dos calicatas y nueve barrenadas, tomando muestras para análisis de las propiedades hidrofísicas. La actualización de los suelos existentes se realizó utilizando la metodología de clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, Keys of Soil Taxonomy, 2014), a través de un levantamiento de suelos generalizado, con observaciones de campo para el estudio macro morfológico del perfil de los suelos, con una relación de una observación por cada 5 km<sup>2</sup>. La escala de trabajo y publicación de mapas fue de 1:50,000.

En los lugares de muestreos seleccionados previamente, se procedió a la excavación de dos calicatas distribuidas en las comunidades Plan de Granma y el Jilguero con profundidades de 60 centímetros cada una, realizándose consecutivamente nueve barrenadas distribuidas en las

comunidades Plan de Grama, El Jilguero, La Laguneta y Los Corralitos, con profundidades de 10 a 45 centímetros, georreferenciando cada punto.

En la calicata excavada en la comunidad Plan de Grama se tomaron muestras de los primeros dos horizontes del suelo, posteriormente en la calicata excavada en la comunidad El Jilguero se tomaron muestras de los tres horizontes identificados. Las muestras de suelos tomadas en los perfiles y barrenadas fueron analizadas en el laboratorio de Suelos y Agua (LABSA) de la Universidad Nacional Agraria, determinando Texturas, Capacidades de Campo (CC) y Puntos de Marchitez Permanente (PMP), para luego, usar dichas características en el cálculo del balance hídrico de suelos (BHS) propuesto por Schosinsky (2006).

En cada punto de muestreo se hizo una descripción de las siguientes características de los suelos:

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

De la misma forma, se analizaron las condiciones actuales de los suelos tales como:

- Cambios en los horizontes superficiales por pérdida de espesor
- Compactación por labranza y por pisoteo animal
- Erosión hídrica y sus causas

Además, se determinaron los órdenes y subgrupos taxonómicos de suelos de la microcuenca, comparando las características descritas en campo de los perfiles y barrenadas con las Claves para la Taxonomía de Suelos (USDA, 2014). Cabe señalar que, en base al estudio realizado en la microcuenca, los datos levantados y la información existente de la zona, permitió clasificar los suelos hasta el nivel de “Subgrupo taxonómico”.

La información de las barrenadas y calicatas apuntadas en fichas de campos fue organizada en una base de datos, utilizando el programa de Microsoft Excel. Dicha base de datos se utilizó



para la generación del mapa de suelos de la microcuenca mediante herramientas de análisis espacial (SIG).

Los quebrados de clasificación taxonómica de los suelos identificados en la microcuenca son detallados en los siguientes cuadros.

**Cuadro 1.** Descripción de las Variables del quebrado de suelos Typic Ustorthents

<b>Quebrado de clasificación suelos tipyc ustorthents</b>			
<b>Variable</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Significado</b>	<b>Quebrado</b>
Profundidad efectiva	3	Poco profunda	
Textura superficial	5	Textura fina	
Textura subsuperficial	5	Textura fina	
Drenaje	2	Bien drenado	3552/D9ee
Pendiente	D	Fuertemente ondulado	
Materiales que limitan	9	Basaltos, andesitas, ignimbritas, brechas dacíticas, riolitas	
Erosión	ee	Erosión fuerte	

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 2.** Descripción de las Variables del quebrado de suelos Haplustolls

<b>Quebrado de clasificación suelos Typic Haplustolls</b>			
<b>Variable</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Significado</b>	<b>Quebrado</b>
Profundidad efectiva	3	Poco profunda	
Textura superficial	4	Moderadamente fina	
Textura subsuperficial	5	Textura fina	
Drenaje	2	Bien drenado	3452/D9e
Pendiente	D	Fuertemente ondulado	
Materiales que limitan	9	Basaltos, andesitas, ignimbritas, brechas dacíticas, riolitas	
Erosión	e	Erosión moderada	

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 3.** Descripción de las Variables del quebrado de suelos Fluventic Eutrudepts

<b>Quebrado de clasificación suelos Fluventic Eutrudepts</b>			
<b>Variable</b>	<b>Clasificación</b>	<b>Significado</b>	<b>Quebrado</b>
Profundidad efectiva	2	Poco profunda	
Textura superficial	4	Textura fina	
Drenaje	2	Bien drenado	
Pendiente	C	Fuertemente ondulado	242/C9e
Materiales que limitan	9	Basaltos, andesitas, ignimbritas, brechas dacíticas, riolitas	
Erosión	ee	Erosión fuerte	

Fuente: Elaboración propia.

### **Generación del mapa de usos actuales de los suelos**

El mapa de usos actuales de los suelos de la microcuenca se generó mediante la capa vectorial de usos de los suelos actualizada por INETER (Atlas de suelos, 2015), siendo procesado a su vez mediante el uso de sistemas de información geográficos (SIG).

Previamente a realizar la operación que generó el mapa de usos actuales, se realizó una digitalización de la microcuenca sobre un modelo de elevación utilizando sistemas de información geográfico. Posteriormente se utilizó la herramienta Clip, la cual cumplió la función de cortar el área correspondiente a la microcuenca de la capa de usos actuales de Nicaragua.

### **Evaluación de la capacidad de uso de los suelos**

Para determinar las capacidades de usos de los suelos en la microcuenca, se utilizó el método de las Clases de Capacidad Agrologicas, el cual fue desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1961).

El procesamiento del mapa de clases de capacidad de uso de los suelos se generó utilizando la base de datos del sistema de información geográfico desarrollado por INETER (Atlas de suelos,

2015) para el territorio nicaragüense. En el cuadro 4 se muestran las principales limitaciones de las clases de capacidad para uso mayor de la tierra.

**Cuadro 4.** Grado de limitación de las Clases de Capacidad para cada Uso Mayor de la Tierra

Clases de capacidad de uso	Uso mayor de la tierra			
	Cultivos anuales mecanizados	Cultivos semiperennes y pastos	Cultivos perennes y forestales	Protección de la vida silvestre
<b>I</b>	No hay			
<b>II</b>	Leve			
<b>III</b>	Moderado			
<b>IV</b>	Severo	Leve		
<b>V</b>		Moderado		
<b>VI</b>		Severo	Leve	
<b>VII</b>			Moderado	
<b>VIII</b>			Severo	Leve

**Grados de limitación y riesgos de erosión**

Fuente: Klingebiel y Montgomery, 1961.

### Conflictos de uso de los suelos

El mapa de conflictos de usos del suelo; resultó de sobreponer (herramienta de geoprocésamiento Intersect) mediante herramientas de análisis espacial el mapa de capacidad de uso y el mapa de uso actual de los suelos.

La herramienta Intersect mediante la superposición de las capas de usos actuales de los suelos y la capa de capacidad de usos de los suelos generó una intersección geométrica de ambas capas lo que genera a la vez una nueva capa vectorial en donde se reflejan los atributos de las capas utilizadas para la operación de la herramienta. Una vez generada la capa de confrontación de usos de los suelos se procedió a clasificar dentro de la tabla de atributos si las clases agrologicas previamente identificadas estaban siendo utilizadas de acuerdo con sus usos potenciales, comparándolas a su vez con los usos actuales de los suelos.

La clasificación se basó en identificar las áreas que están siendo bien utilizadas, subutilizadas y sobre utilizadas dentro de la zona de estudio.

En el cuadro 5, se muestran las clasificaciones de los conflictos de usos del suelo identificados en la microcuenca del río El Jocote.

**Cuadro 5.** Categorías de conflictos de usos de la tierra en la microcuenca del Río El Jocote

<b>Conflicto de Uso</b>	<b>Descripción</b>
Bien utilizado	Los usos de la tierra en esta clasificación corresponden a la capacidad de uso mayor de la tierra clasificados previamente en la microcuenca. Esto indica que existe un equilibrio entre los usos de la tierra tanto agropecuarios y forestales como de conservación de los recursos.
Subutilizado	Los usos de la tierra en la microcuenca están por debajo de su capacidad de uso mayor, pudiendo darles un uso más intensivo de acuerdo con sus características agropecuarias o forestales.
Sobre utilizado	Los usos de la tierra no corresponden a la capacidad de uso mayor adecuada para estas áreas, causando problemas de degradación progresiva de los suelos y por ende afectando los cuerpos de agua, las actividades agropecuarias y la calidad de vida de los comunitarios.
No aplica	Estas áreas corresponden a zonas con cobertura como ríos, embalses y poblados existentes en la microcuenca.

Fuente: Klingebiel y Montgomery, 1961.

#### 4.3.2. Caracterización del recurso agua

##### Componentes del balance hídrico de suelos

##### Determinación de los datos de precipitación

Los Datos meteorológicos utilizados corresponden a la base meteorológica de INETER, de cinco estaciones climáticas descrita en el cuadro 6.

**Cuadro 6.** Estaciones climáticas evaluadas para el cálculo del BHS

<b>Estación</b>	<b>Código</b>	<b>Periodo evaluado</b>
Condega	45050	2000-2020
San Sebastián de Yalí	45015	2000-2015
Guanacaste	45037	2000-2016
Santa Leonor	45030	2000-2016
La Concordia	69037	2000-2011

Fuente: INETER 2021.

Para la aplicación del balance hídrico de suelos (BHS), se utilizaron datos de precipitación de un periodo de 20 años (2000-2020); razón por la cual, en las estaciones meteorológicas donde se tenían registros de años antes del 2020, se utilizó la plataforma climática <https://www.globalclimatemonitor.org/>, para completar los datos de los años faltantes. A continuación, se mencionan las estaciones y el período de datos a completar: San Sebastián de Yalí (2016-2020), Guanacaste (2017-2020), Santa Leonor (2017-2020) y La Concordia (2012-2020).

En el procesamiento de los datos de precipitación de las cinco estaciones se creó un archivo Excel para calcular los promedios mensuales de las precipitaciones del periodo 2000-2020 (ver anexo 4). Una vez obtenidos los promedios por cada estación meteorológica, se aplicó el método de las curvas Isoyetas. A partir del seccionamiento de áreas obtenido mediante la aplicación de la herramienta de interpolación Kriging, (ver anexo 5), se realizó el cálculo de las precipitaciones medias mensuales en la microcuenca (ver anexo 6).

### **Pruebas de infiltración**

Se realizaron 11 pruebas de infiltración por uso de suelo, tomando de referencia los puntos seleccionados en el muestreo de suelos utilizando el método del anillo sencillo, basando el procedimiento en los pasos de la guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo, orientado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1999).

Las velocidades de infiltración obtenidas se clasificaron en categorías propuestas por Echeverría et al., 2014. Dicha clasificación relaciona las velocidades de infiltración con las texturas de los suelos.

**Cuadro 7.** Clasificación de las velocidades de infiltración

<b>Drenaje</b>	<b>Velocidad (mm/h)</b>	<b>Textura</b>
muy lenta	<1	Pesadas
Lenta	1-5	Pesadas y moderadamente pesadas
Moderadamente lenta	5-20	Medias a pesadas
Moderada	20-60	Medias
moderadamente rápida	60-120	Medias a livianas
Rápida	120-250	Moderadamente livianas a livianas
Muy rápida	>250	Muy livianas

Fuente: Echeverria et al., 2014.

### **Determinación de la Evapotranspiración Potencial (ETP)**

Para determinar la ETP, se utilizaron los datos de temperaturas máximas, medias y mínimas del periodo 2000-2020 de la estación meteorológica Condega con código 45050, del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) (ver anexo 7); a través del método Hargreaves (1985):

$$ETo = 0,0135 (tmed + 17,78) Rs \quad (1)$$

Donde:

ETo= evapotranspiración potencial diaria, en mm/día.

tmed= temperatura media, en °c (grados Celsius).

Rs= radiación solar incidente, convertida en mm/día.

### **Determinación del coeficiente de infiltración**

El coeficiente C está determinado a partir de la siguiente fórmula:

$$C = (Kp + Kv + Kfc)$$

Donde:

Kp: fracción que infiltra por efecto de pendiente (adimensional)

Kv: fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal (adimensional)

Kfc: Coeficiente de infiltración textura:

$$K_{fc} = 0,267\ln(fc) - 0,000154fc - 0,72316\text{mm/día} - 1568 \text{ mm/día}$$

Para valores de  $fc$  menores a 16 mm/día,  $K_{fc} = 0,0148fc/16$ .

Para valores de  $fc$  mayor a 1568 mm/día,  $K_{fc} = 1$ .

Donde  $fc$  son los valores de infiltración obtenido a través de las pruebas de campo realizadas en la microcuenca por el método del anillo sencillo de USDA (1999).

### **Factor por pendiente (Kp)**

Para clasificar el factor pendiente en la microcuenca río El Jocote, se tomó en cuenta las categorías propuestas por Schosinsky y Losilla (2006).

**Cuadro 8.** Coeficientes por efecto de pendiente

<b>Por pendiente</b>	<b>%</b>	<b>Kp</b>
Muy plana	0.02%-0.06%	0.30
Plana	0.3%-0.4%	0.20
Algo plana	1%-2%	0.15
Promedio	2%-7%	0.10
Fuerte	Mayor de 7%	0.06

Fuente: Schosinsky & Losilla (2006).

### **Factor por vegetación (Kv)**

En el cuadro 9, se muestran las categorías para la clasificación del factor de cobertura vegetal presente en la zona de estudio.

**Cuadro 9.** Coeficientes por efecto de cobertura vegetal

<b>Por cobertura vegetal</b>	<b>Kv</b>
Cobertura con zacate menos 50%	0.09
Terrenos cultivados	0.10
Cobertura con pastizal	0.18
Bosques	0.20
Cobertura con zacate más de 75%	0.21

Fuente: Schosinsky & Losilla (2000).

### **Coefficiente de infiltración por efectos de textura (Kfc)**

Otro factor importante tomado en cuenta para la aplicación del modelo de balance hídrico de suelo propuesto por Schosinsky y Losilla (2000), fue el coeficiente de infiltración por efectos de la textura del suelo, y los coeficientes propuestos se muestran en el cuadro 10.

**Cuadro 10.** Coeficientes de infiltración por efecto de la textura del suelo

<b>Textura de suelo</b>	<b>Kfc</b>
Arcilla compacta impermeable	0.10
Combinación de limo y arcilla	0.20
Suelo limo arenoso no muy compacto	0.40

Fuente: Schosinsky & Losilla (2000).

### **Determinación de la recarga Potencial**

A partir de las precipitaciones medias mensuales obtenidas de la microcuenca, la evapotranspiración calculada, las características del suelo analizadas en laboratorio (CC, PMP y textura); y la densidad aparente determinada a partir de las propuestas por Schosinsky (2006), se calculó la recarga hídrica potencial utilizando la siguiente ecuación:

$$R_p = P_i + H_{Si} - H_{Sf} - ETR$$

Donde:

$R_p$ : recarga potencial en mm.

$P_i$ : precipitación que infiltra en mm.

$H_{Si}$ : humedad del suelo inicial en mm.

$H_{Sf}$ : humedad del suelo final en mm.

$ETR$ : evapotranspiración potencial en mm



### 4.3.3. Metodología para determinar las zonas de recarga hídrica

Para determinar las zonas de recarga hídrica, se utilizaron cuatro características físicas de la microcuenca: uso del suelo, pendiente, geología y recarga potencial obtenidas con el BHS. Para cada una de estas características se utilizó su capa o shapefile que permitió asignarle un valor a fin de clasificar las zonas de recarga.

Cada capa utilizada para la obtención del mapa de zonas de recarga hídrica fue clasificada en base a los resultados de recarga potencial obtenidos en el BHS, siendo clasificado en 4 categorías.

#### Clasificación de la recarga potencial

La clasificación realizada para la recarga potencial en la microcuenca se basó en los valores tabulados por la FAO (1967), donde se adaptaron a los resultados de cálculo obtenidos del balance hídrico de suelos realizado para la zona de la microcuenca.

Los valores obtenidos según FAO (1967), se encontraron entre una recarga baja y moderada, por lo que se realizaron ajustes en las categorías a trabajar en la microcuenca; debido a los intervalos calculados en base a la cantidad de puntos de recarga estimados en el BHS y la amplitud calculada en base al máximo y mínimo valor obtenido en la recarga potencial.

En el cuadro 11 a continuación, se muestran las categorías propuestas por la FAO para la clasificación de la recarga potencial.

**Cuadro 11.** Categorías de clasificación para zonas de recarga potencial

	<b>Muy alta</b>	<b>Alta</b>	<b>Moderada</b>	<b>Baja</b>	<b>Muy baja</b>
Recarga potencial	45-50%	30-35%	10-20%	5-10%	< 5%

Fuente: FAO, 1967.

Considerando los criterios anteriores propuestos por FAO se clasificó la recarga potencial de la microcuenca río El Jocote brindando un valor por cada categoría. En el cuadro 12, se presenta la clasificación obtenida a partir de los resultados de la recarga potencial en la microcuenca.

**Cuadro 12.** Categorías de la recarga potencial en la microcuenca río El Jocote

<b>Recarga potencial mm/año</b>	<b>Categoría</b>	<b>Escala</b>
54-79	Muy baja	1
80-105	Baja	2
106-131	Moderada	3
> 131	Alta	4

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la clasificación, se creó un shapefile de recarga potencial a través de la interpolación de los valores obtenidos, utilizando la herramienta geoestadística Empirical Bayesian Kriging.

El método EBK (Empirical Bayesian Kriging), consiste en la interpolación de datos estadísticos geográficos, en este caso los datos de recarga potencial obtenidos del BHS. Este método a diferencia de otros métodos de análisis geoestadísticos no requiere modificaciones manuales en los parámetros a utilizarse, calculando automáticamente los parámetros necesarios para recibir resultados precisos de forma más rápida

### **Clasificación de la pendiente**

El mapa de pendientes de la microcuenca se obtuvo a partir del modelo de elevación digital (MED) del área en estudio, encontrando pendientes desde 6 % a mayores de 50 % de inclinación. En el cuadro 13 se muestra la clasificación de la recarga hídrica de acuerdo con las pendientes clasificadas en el mapa.

**Cuadro 13.** Categorías de clasificación de la recarga de acuerdo con la pendiente

<b>Pendiente %</b>	<b>Categoría</b>	<b>Escala</b>
6-12	Alta	4
12-26	Moderada	3
26-50	Baja	2
>50	Muy baja	1

Fuente: Elaboración propia.

La clasificación realizada muestra que en las pendientes moderadamente inclinadas de 6 % a 12 % se presenta una recarga alta, seguido de las pendientes fuertemente inclinadas de 12 % a 26 % una recarga moderada, pendientes ligeramente escarpadas de 26 % a 50 % recarga baja y pendientes moderadamente escarpadas mayores a 50 % una recarga muy baja.

#### **Clasificación de la recarga por la geología**

De acuerdo con la geología se tomaron criterios como: Litología, permeabilidad y porosidad de las rocas para la clasificación de la recarga hídrica. La clasificación se describe en el cuadro 14, en el cual se clasificó como recarga muy baja a baja las rocas con permeabilidad y porosidad baja; así como, las recargas moderadas a alta las rocas con permeabilidad y porosidad altas.

**Cuadro 14.** Criterios de clasificación de la recarga por geología

<b>Litología</b>	<b>Permeabilidad (m/día)</b>	<b>porosidad (%)</b>	<b>Categoría</b>	<b>Escala</b>
Piroclastos	0.1 - 0.004	20--40	Muy baja	1
Ignimbritas	0.076 - 1	1--30	Baja	2
Basálticas	0.0001 -2.9	0.2--10	Baja	2
Lavas andesíticas-basálticas	1.5 - 19.87	1--10	Moderada	3
Brechas dacíticas	0.20 - 8.64	1--20	Moderada	3
Aglomerados	0.2 - 8.64	1--40	Moderada	3
Areniscas	0.7 - 34	25 - 50	Alta	4

Fuente: Hiscock, 2005.

## Clasificación de la recarga por uso del suelo

Basados en la información levantada en campo y tomando en cuenta el mapa de uso de suelo de Nicaragua actualizado por INETER (2015), los usos del suelo identificados para la microcuenca se muestran en el cuadro 15 a continuación.

**Cuadro 15.** Criterios de clasificación de la recarga por uso del suelo

Uso del suelo	Categoría	Escala
Bosque latifoliado cerrado	Alta	4
Bosque latifoliado abierto	Alta	4
Bosque conífera abierto	Alta	4
Cultivo anual y permanentes	Moderada	3
Tacotal	Baja	2
Pasto y Vegetación arbustiva	Muy baja	1

Fuente: Elaboración propia.

## Elaboración del mapa de recarga

El mapa de recarga hídrica de la microcuenca es el resultado del uso de la herramienta de procesamiento espacial Pesos Porcentuales o Weighted Sum, la cual generó una suma de las variables de recarga potencial, pendiente, geología y uso de la tierra previamente procesadas.

El método de pesos porcentuales (Weighted Sum) consiste en generar un raster basándose en los valores de relevancia de las capas utilizadas en el proceso. Cada capa usada en la ejecución del método fue previamente convertida en formato ráster a como especifica la herramienta.

La ejecución del método generó un ráster de salida a partir de la multiplicación de los valores de celdas de cada ráster de entrada por el peso del ráster.

#### 4.3.4. Evaluación de la calidad de agua para consumo humano

Se tomaron muestras de agua para analizar parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en 11 fuentes en temporada seca (mayo 2021) y temporada lluviosa (octubre 2021), ubicadas en las siguientes comunidades: El Jilguero, El Jilguero arriba, La Laguneta, los Corralitos, San José del coyol, Las Brumas y Los Gualiquemes. Para esta fase del estudio, se requirió multiparamétrico; un colorímetro DR900 y el reactivo PathoScreen™.

Los parámetros físicos evaluados en las fuentes fueron pH, temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, siendo estos determinados en campo haciendo uso del multiparamétrico. Los parámetros químicos como el nitrato, amonio y dureza del agua fueron determinados haciendo uso del colorímetro portátil DR900. La ausencia o presencia de coliformes totales fue determinada haciendo uso del reactivo PathoScreen™, el que fue agregado a las muestras al momento ser tomadas y evaluadas 24 horas después de la aplicación.

En el cuadro 16, se muestran los parámetros de calidad de agua evaluados, el tipo de parámetro y el método utilizado para la obtención de los valores de calidad del recurso.

**Cuadro 16.** Parámetros de calidad de agua a determinar en campo

Parámetro	Tipo de parámetro	Método
Temperatura	Físico químico	Multiparamétrico
pH	Físico químico	Multiparamétrico
Conductividad hidráulica	Físico químico	Multiparamétrico
Sólidos Totales Disueltos	Físico químico	Multiparamétrico
Dureza total	Físico químico	Colorímetro portátil DR 900
Nitratos (NO <sub>3</sub> )	Físico químico	Colorímetro portátil DR 900
Amonio (NH <sub>3</sub> )	Físico químico	Colorímetro portátil DR 900
Coliforme total	Bacteriológico	PathoScreen™

Fuente: Elaboración propia.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Recurso suelo en la microcuenca río El Jocote

#### 5.1.1. Clasificación de los suelos de la microcuenca

Los suelos en la microcuenca del río El Jocote se clasifican en tres órdenes de suelos, Entisol, Mollisol y Inceptisol en los cuales se identificaron los subgrupos taxonomicos Typic Ustorthents, Typic Haplustolls y Fluventic Eutrudepts correspondientemente.


#### *Suelos del orden Entisol (Typic Ustorthents)*

El subgrupo Typic Ustorthents fue identificado en la comunidad Plan de Grama en las coordenadas: X:577761 y Y:1473552. Este suborden ocupa una extensión territorial de 57.02 km<sup>2</sup>, extendiéndose desde la parte centro y norte en elevaciones de 892 msnm hasta los 678 msnm con pendientes que van desde fuertes de 45 % a 8 y 12 %. Las características identificadas en este tipo de suelo son texturas de franco-arcillosas a arcillosas, estructuras en bloques subangulares y angulares, CIC de 49.20 meq/100 g de suelo a 45.08 meq/100 g de suelo, Saturación de bases de 84.32% a 84.80 %, porcentaje de hidrogeno de 6.5 a 6.6, materia orgánica de 1.47 % a 1.06 %, capacidades de campo de 37.29 % a 41.92 % y puntos de marchitez permanente de 22.05 % a 23.18 %.

En el cuadro 17 se muestra la descripción del perfil característico de estos suelos, mostrando un orden de desarrollo en sus horizontes A, Bt y C.

El orden entisol pertenece a los suelos con más baja evolución; consiste en suelos muy poco desarrollados, cuyas propiedades están ampliamente determinadas (heredadas) por el material original. Tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes pedogenéticos, ya sea por corresponder a suelos recientes, saturación de agua permanente, erosión intensa, estar en clima árido o sobre roca muy resistente (Boul et al., 1997).

**Cuadro 17.** Descripción del perfil Typic Ustorthents, Comunidad Plan de Grama

	<b>Horizontes</b>	<b>Descripción</b>
	Horizonte A 0 a 13 cm	Textura arcillosa (53 % arcilla, 20 % limo, 27 % arena), color mamón rojizo oscuro (5 YR 3/3), estructura en bloques subangulares, plástico y adhesivo, abundantes microporos y raíces finas, limite gradual y ondulado. Presenta una CIC de 49.20 meq/100 g de suelo, SB de 84,32 %, pH de 6.50, MO de 1.47 %, CC de 37.29 % y PMP de 22.05 %.
	Horizonte Bt 13 a 40 cm	Textura arcillosa (51 % arcilla, 20 % limo, 29 % arena), color rojizo oscuro (2.5 YR 3/4), estructura en bloques angulares, abundantes en mesoporos, pocas raíces finas, plástico y adhesivo, pocas raíces medias. Presenta una CIC 45.08 meq/100 g de suelo, SB de 84.80 %, pH 6.6, MO 1.06, CC de 41.92 % y PMP de 23.18 %.
	Horizonte C 40 a 57 cm	Textura arcillosa, color gris rojizo oscuro (5YR 4/2), estructura en bloques angulares, abundantes microporos, plástico y adhesivo, pocas raíces finas.

Fuente: Elaboración propia.


Los suelos de este subgrupo son poco desarrollados en condiciones de régimen de humedad Ústico, caracterizado por permanecer secos la mayor parte del año. Se encuentran en relieve ondulado a escarpado, generalmente en pendiente de 8 a más de 30 %; son poco profundos, de color pardo oscuro, textura franca, franca arcillosa a arcillosa, bien drenados, permeabilidad moderadamente rápida, moderada a severamente erosionados, en algunas áreas con un contenido variable de piedras en la superficie y en el perfil (Boul et al., 1997).

#### ***Suelos del orden Mollisol (Typic Haplustolls)***

El perfil de suelo de este subgrupo se describió en la comunidad El Jilguero en las coordenadas UTM 577928 y 1468382. El subgrupo Typic Haplustolls identificado en la microcuenca ocupa una extensión territorial de 32.18 km<sup>2</sup> y se extiende desde la parte sur oeste y central en elevaciones de 1000 msnm a 1212 msnm. Este suborden se identificó en una pendiente del 15 % ubicado sobre una meseta aledaña a una ladera. Las características identificadas en este tipo

de suelo son texturas de franco arcillosas a arcillosas, color negro en húmedo, estructura en bloques angulares compuesta y subangulares, abundantes macros, meso y microporos, CIC de 24.49 a 34.03 meq/100 g de suelo, saturación de bases de 79.45 a 91.69 %, porcentaje de hidrogeno de 6.08 a 6.53, materia orgánica de 0.75 a 6.89, capacidades de campo de 43.42 a 46.74 % y puntos de marchitez permanentes de 22.84 a 32.90 %.

**Cuadro 18.** Descripción del perfil Typic Haplustolls, Comunidad El Jilguero

	<b>Horizontes</b>	<b>Descripción</b>
	Horizonte A 0 a 23 cm	Textura franco arcilloso (33 % arcilla, 36 % limo, 31 % arena) color negro en húmedo (10 YR 2/1), estructura en bloques angular compuesta, ligeramente plástico y adhesivo, abundante macro, meso y microporos, pocas raíces finas, límites gradual y ondulado. Presenta una CIC de 34.03 meq/100 g de suelo, SB 79.45 %, pH 6.08, MO 6.89, CC de 43.42 % y PMP de 26.11.
	Horizonte AB 23 a 33 cm	Textura arcillosa (42 % arcilla, 36 % limo, 32 % arena), color 7.5 YR 3/2, estructura en bloques subangulares, abundante micro y mesoporos, pocas raíces finas, plástico y adhesivo. Presenta una CIC 24.49 meq/100 g de suelo, SB 81.62 %, pH 6.53, MO 1.26, CC de 35.78 % y PMP de 22.84 %.
	Horizonte Bt 33 a 57 cm	Textura arcillosa (55 % arcilla, 25 % limo, 20 % arena), color 5 YR 6/3, estructura en bloques angulares, abundantes microporos, plásticos y adhesivos, pocas raíces medias. Presenta una CIC 33.38 meq/100 g de suelo, SB 91.69 %, pH 6.42, MO 0.75, CC de 46.74 % y PMP de 32.90 %.

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de horizontes de este suborden de suelo muestra un desarrollo de horizontes A, AB y Bt. Según la Soil Taxonomy (2014), para clasificar estos suelos deben cumplirse dos condiciones, tener un horizonte o epipedon móllico y presentar una saturación de bases mayor al 50 % o más en todos los horizontes identificados. Dicho esto, podemos constatar que las características tanto físicas como químicas identificadas en campo pertenecen a este suborden.



Boul et al., (1997), refiere que los suelos del subgrupo taxonómico Typic Haplustolls son profundos, y se encuentran en relieves planos, ondulados a fuertes con pendientes que van de 4 a 50 %, de textura franco-arcillosa en la superficie y arcillosa en el subsuelo, de colores oscuros a pardo oscuros, permeables, bien drenados, erosión moderada escurrimiento superficial rápido.

***Suelos del orden Inceptisol (Fluventic Eutrudepts)***

Estos suelos se ubican en la ribera del río a como se observa en el mapa de suelos (ver figura 3). Ocupan una extensión territorial de 3.32 km<sup>2</sup> en pendientes de 7 %. Las características descritas para este orden fueron, color marrón oscuro, textura franco-arcillosa, de permeabilidad alta, bien drenado y consistencia plástica y adhesiva en húmedo. Es importante mencionar, que estas muestras se tomaron con barrenadas. En el cuadro 19, se muestran las características determinadas de los suelos de este subgrupo.

**Cuadro 19.** Características del suelo Fluventic Eutrudepts

<b>Color</b>	<b>Textura</b>	<b>Pendiente (%)</b>	<b>Permeabilidad</b>	<b>Drenaje</b>	<b>Consistencia</b>
Marrón oscuro (10 YR 3/3)	Franco arcilloso	7	Alta	Bien drenado	Plástica y adhesiva en húmedo

Fuente: Elaboración propia.

En la microcuenca estos suelos se han originado mediante la transportación de materiales arrastrados por efecto de las corrientes desde las partes altas hacia las partes de menor elevación ubicadas en la ribera del río El Jocote. La profundidad de estos suelos depende de la acumulación de sedimentos de distinta naturaleza producto de las crecidas del río, dando como resultado la estratificación de perfiles con baja concentración de materia orgánica.

Estos suelos presentan materiales parentales de textura media a fina derivados de un amplio rango de rocas, teniendo un desarrollo del perfil característico por meteorización ligera a moderada del material parental y por ausencia de cantidades apreciables de arcilla aluvial, materia orgánica, compuestos de aluminio (Al) o hierro (Fe). Estos suelos se encuentran en

terrenos llanos a montañosos en todos los climas en un amplio rango de tipos de vegetación. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2008, p. 74).

### 5.1.2. Subgrupos taxonómicos de los suelos en la microcuenca río El Jocote

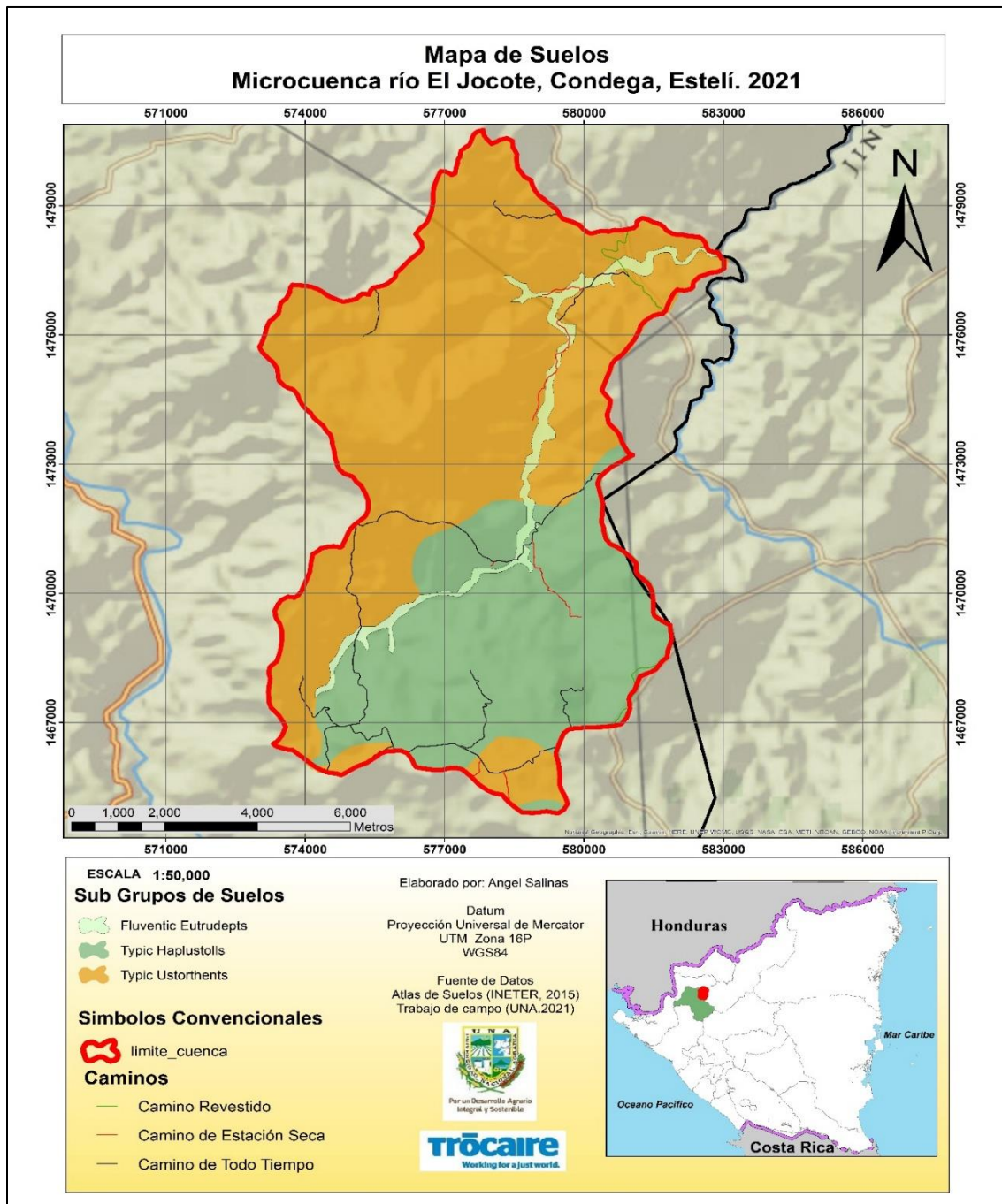


Figura 3. Mapa de los subgrupos taxonómicos de suelos, microcuenca del río El Jocote.

El cuadro 20 y Figura 3, se muestra un resumen de los órdenes y subgrupos de suelos presentes en la microcuenca, sus áreas y porcentajes ocupados respecto al área total.

**Cuadro 20.** Órdenes y subgrupos de suelos presentes en la microcuenca del río El Jocote

<b>Orden</b>	<b>Subgrupo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Entisol	Typic Ustorthents	57.02	61.9
Mollisol	Typic haplustolls	32.18	34.9
Inceptisol	Fluventic eutrudepts	3.32	3.6
<b>Total</b>		<b>92</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 5.1.3. Uso actual del suelo en la microcuenca río El Jocote

En la figura 4, se muestra el mapa de usos del suelo de la microcuenca río El Jocote, donde se aprecia la distribución de uso, clasificada en ocho categorías: bosque de conífera abierto, bosque latifoliado cerrado, bosque latifoliado abierto, cultivos anuales, cultivos perennes, pastos, vegetación arbustiva y tacotales.

En el cuadro 21 se observa que el uso del suelo predominante en la microcuenca es el pasto ocupando una extensión de 48.093 Km<sup>2</sup>, representando un 52.27 % del área total.

También se observa que los bosques de conífera abierto, latifoliado cerrado y latifoliado abierto, en su conjunto ocupan una extensión de 22.84 km<sup>2</sup> representando el 24.83 % de la extensión total de la microcuenca.

**Cuadro 21.** Usos de la tierra, microcuenca del río El Jocote

<b>Uso de la Tierra</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Pasto	48.093	52.27
bosque latifoliado cerrado	13.82	15.02
Vegetación arbustiva	6.76	7.34
Tacotal	6.696	7.28
Cultivos perennes	6.05	6.57
Bosque latifoliado abierto	5.90	6.41
Bosque de pino abierto	3.128	3.4
Cultivo anual	1.53	1.66
<b>Total</b>	<b>92</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia.

Los cultivos existentes en la zona categorizados en anuales y perennes en su conjunto ocupan 7.58 km<sup>2</sup>, es decir un 8.23 % de la extensión de la microcuenca.

Las áreas ocupadas por tacotales y vegetación arbustiva significan el 14.62 % con una extensión de 13.456 km<sup>2</sup>.

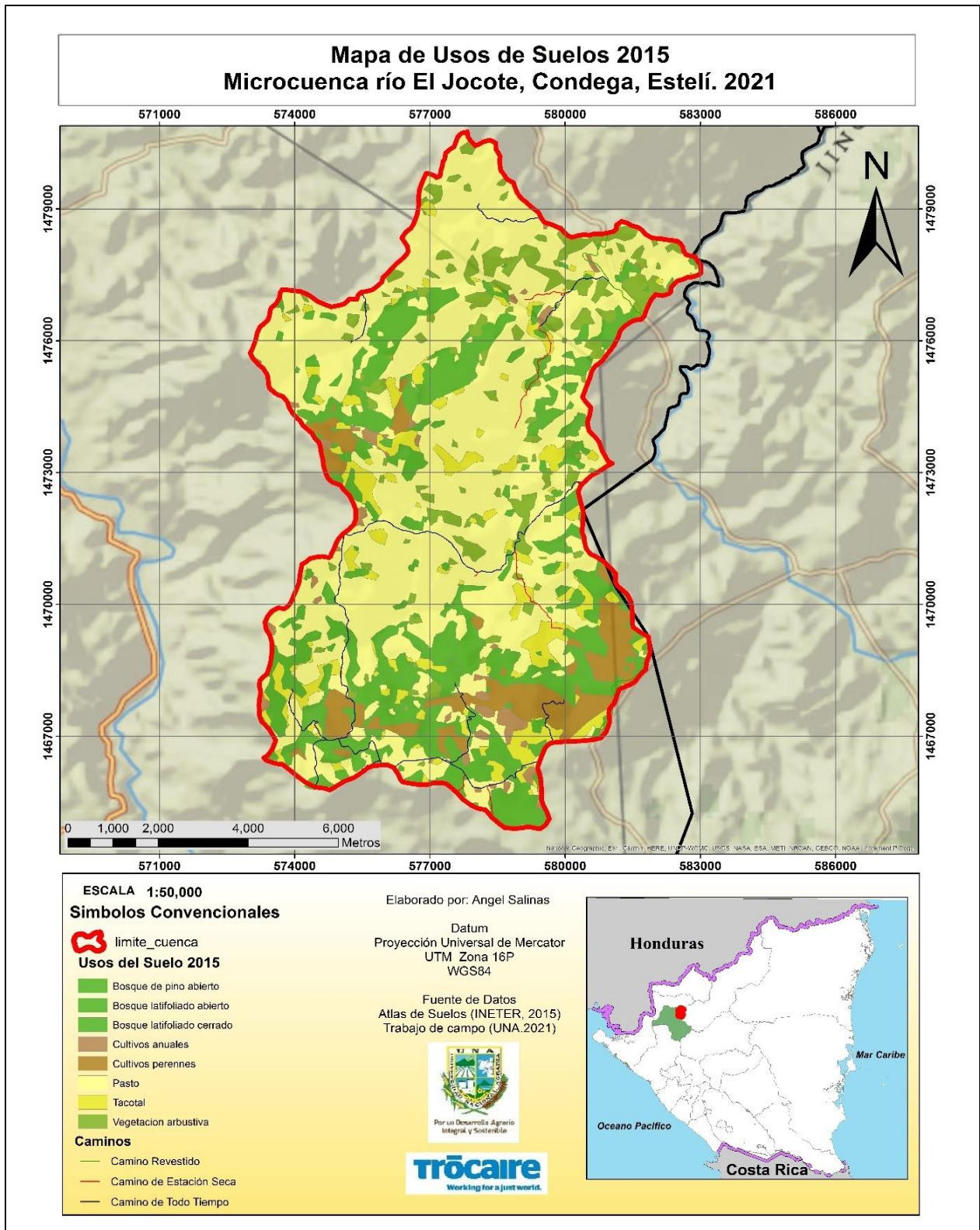


Figura 4. Mapa de usos del suelo en la microcuenca río El Jocote.

### 5.1.4. Capacidad de usos del suelo en la microcuenca río El Jocote

En la figura 5 se muestran las clases de capacidad de usos de los suelos en la microcuenca río El Jocote, en el cual se observa que la mayor parte del territorio es representado por áreas de conservación de la vida silvestre y protección de las zonas de recarga hídrica, siendo estas la clase VII y VIII con 77.68 km<sup>2</sup> de extensión.

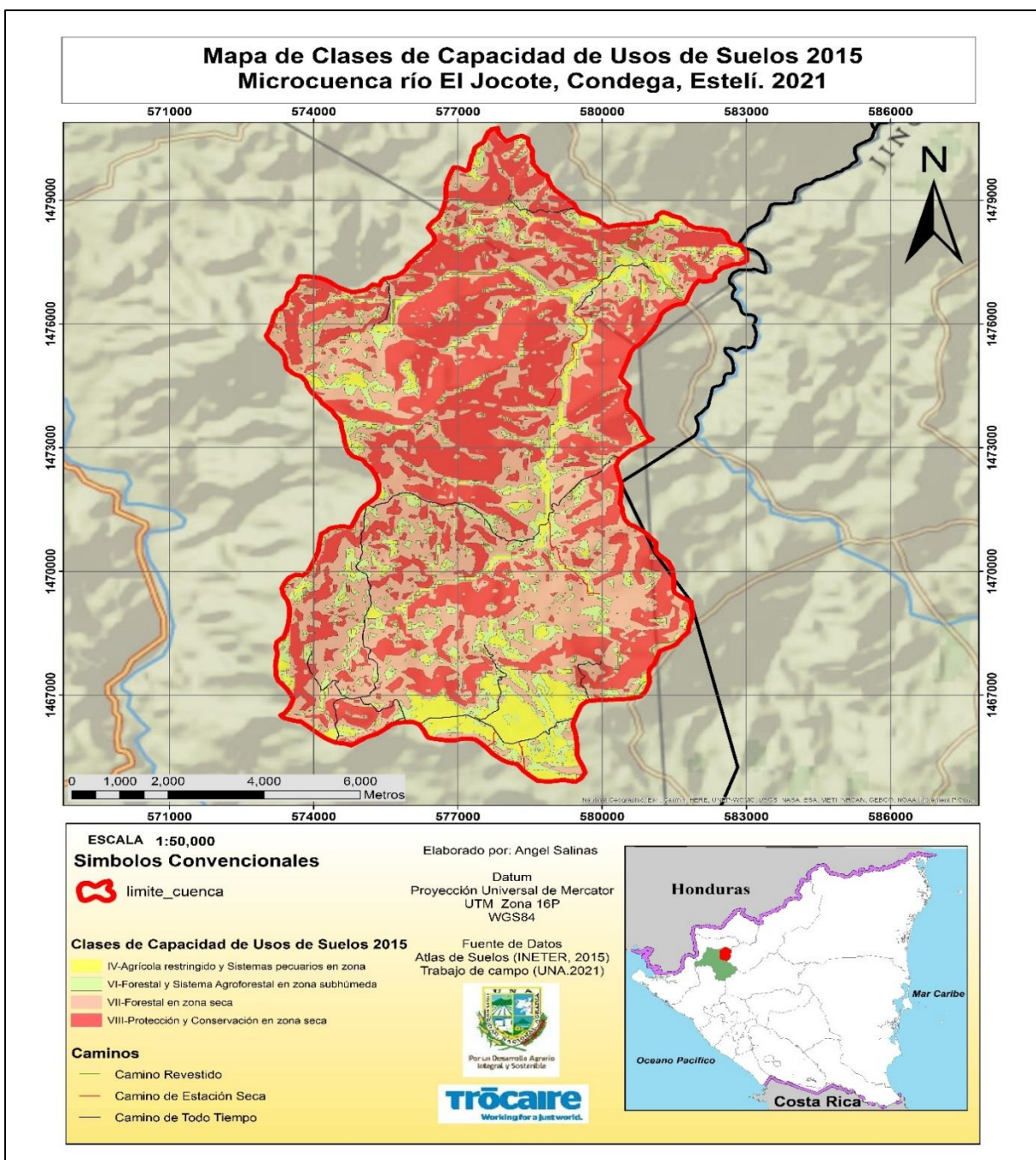


Figura 5. Mapa de clases de capacidad de uso de la tierra, microcuenca del río El Jocote.

En el Cuadro 22, se muestran las clases de capacidad de uso de la tierra, sus áreas ocupadas y sus porcentajes equivalentes respecto al área total de la microcuenca.

**Cuadro 22.** Clases de capacidad de uso de la tierra, microcuenca del río El Jocote

<b>Clase agrológica</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
IV	8.20	8.91
VI	12.66	13.76
VII	35.68	38.78
VIII	37.79	38.90
<b>Total</b>	<b>92</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la microcuenca la clase agrológica IV tiene un área de 8.20 km<sup>2</sup>, lo que representa el 8.91 % del territorio. Esta clase agrológica es apta para cultivos, pero bajo estrictas obras de conservación de suelos. Presenta limitaciones a causa de sus características, tales como las pendientes que oscilan entre el 12 % y 20 %, texturas pesadas y muy baja fertilidad natural (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2014).

En la zona de estudio los cultivos a favor de la pendiente y la notoria ausencia de cobertura forestal nos indican que esta clase agrológica no está siendo utilizada de acuerdo a sus usos potenciales, causando por consiguiente erosión, pérdida de fertilidad y mayor escurrimiento superficial.

En la microcuenca la clase agrológica VI ocupa un área de 12.66 km<sup>2</sup> equivalente al 13.76 % del área total de la microcuenca. Los suelos de esta clase presentan limitaciones muy severas que restringen su uso a la producción forestal o a algunos cultivos permanentes debido a sus pendientes que oscilan entre 15 % a 30 %.

IGAC (2014), describe que estos suelos deben permanecer bajo bosque bien sea natural o plantado que beneficie a la captación de agua. En la microcuenca la presencia de ganado pastando en estos suelos sin cobertura forestal y con pendientes escarpadas, indican que la clase agrológica no está siendo utilizada de acuerdo a sus capacidades.

La clase agrologica VII ocupa un área de 35.68 km<sup>2</sup> equivalente al 38.78 % del área total de la microcuena. Esta clase indica que los suelos deben permanecer cubiertas por vegetación densa de bosques, siendo su principal uso la protección de suelos, agua, flora y fauna (IGAC, 2014).

Son suelos con pendientes mayores del 25 % y restricciones muy fuertes por pedregosidad, baja fertilidad, suelos muy superficiales, erosión severa y limitantes químicas (IGAC, 2014).

La mayoría de los suelos dentro de esta clasificación se están viendo afectados por deforestación, ya sea para la inserción de cultivos o áreas de pastaje para ganado, indicando que la clase no está siendo utilizada de acuerdo con los usos potenciales, afectando de forma directa a la infiltración, retención y recarga acuífera en la microcuena.

La clase agrologica VIII ocupa un área de 37.79 km<sup>2</sup> equivalente al 38.90 % del área de la microcuena. Esta clase indica que ninguna de las características de los suelos es apta para actividades agropecuarias o forestales, a causa del alto riesgo ambiental que implica hacer un uso inadecuado de estas áreas (IGAC, 2014).

Son tierras que por su vulnerabilidad extrema y pendientes muy escarpadas o por su importancia como ecosistemas estratégicos para la regulación del recurso hídrico y por su interés científico, deben destinarse a la conservación de la naturaleza o a su recuperación en el caso de que hayan sido deterioradas (IGAC, 2014).

Si tomamos en cuenta las observaciones de campo y el mapa de capacidad de usos de los suelos, observamos que la mayor parte del territorio de la microcuena es apto para conservación de los recursos (clase VIII); sin embargo, el uso del suelo que predomina es el de pastos, indicando que la clase no está siendo utilizada de acuerdo con sus capacidades, y por consiguiente no forman parte de alguna área de conservación de la naturaleza o recarga hídrica.

Por otra parte, los remanentes de bosques en el uso actual de la tierra representan el 24.83 %, estas son áreas que no presentan categorías de conservación de los recursos por lo que se vuelven zonas vulnerables a los cambios en los usos potenciales a causa de la deforestación.



### 5.1.5. Conflictos de usos del suelo en la microcuenca del río El Jocote

En la figura 6, se muestran los conflictos de usos de la tierra identificados en la microcuenca, donde se observa que el mayor conflicto existente es el sobre utilizado (61.33 % del área), indicando que los suelos, en esta área de la microcuenca están siendo utilizados por encima de su capacidad agrológica.

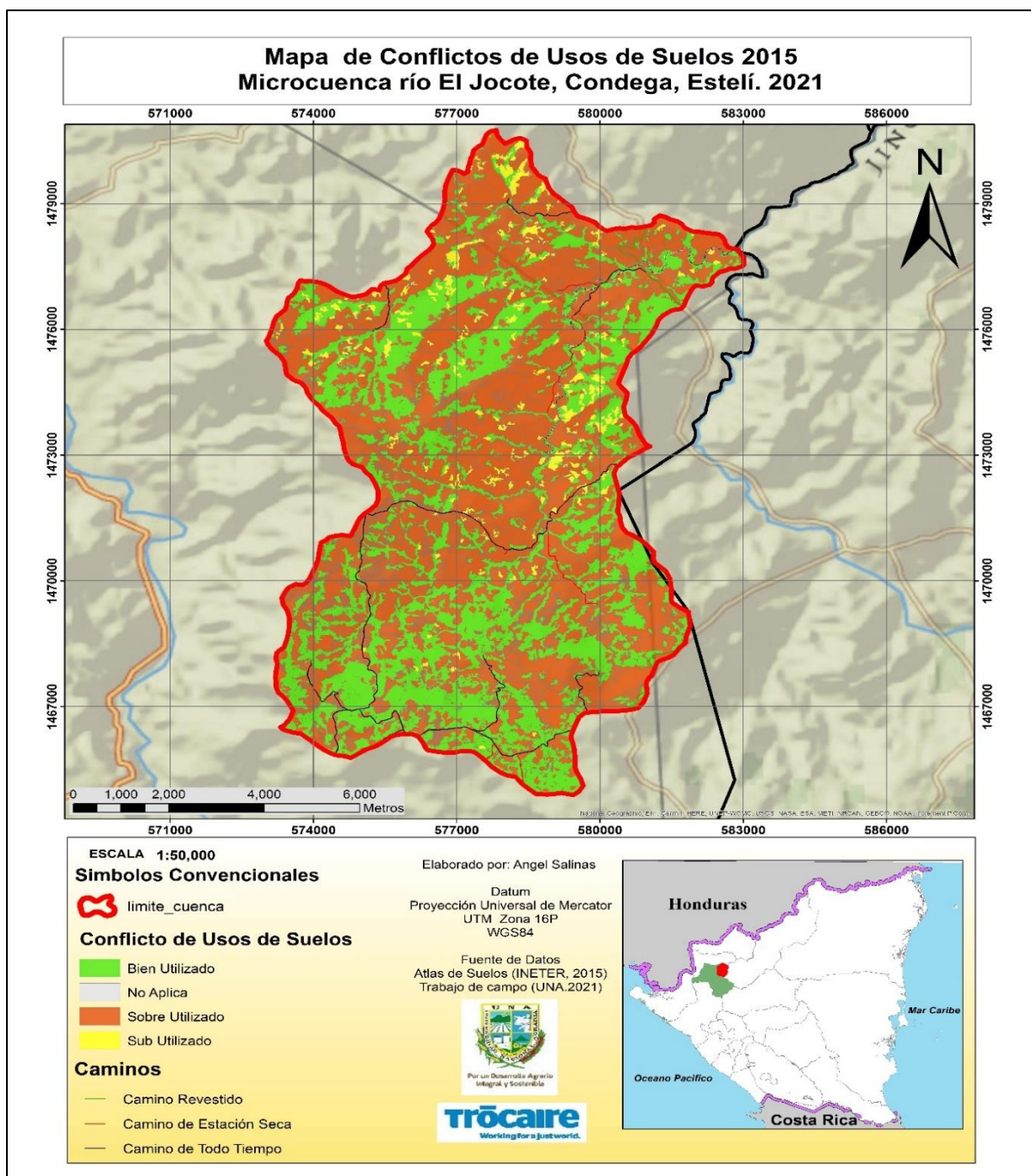


Figura 6. Mapa de conflictos de uso de los suelos, microcuenca del río El Jocote.

Mientras que el suelo bien utilizado, solamente presenta una extensión de 31.84 km<sup>2</sup>, equivalente al 34.60 % del área total. En esta clasificación, los suelos están siendo utilizados con pastos y cultivos en áreas que se encuentran en la clase agrologica IV. Dicha clase agrologica establece que los suelos cultivados deben estar sometidos a obras de conservación estrictas de suelos, por lo que los suelos que actualmente están siendo bien utilizados, son vulnerables a la sobre utilidad si no se ejecutan las practicas idóneos acordes a la clase agrologica.

**Cuadro 23.** Conflictos de usos de los suelos, microcuenca del río El Jocote

<b>Conflicto</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
Bien Utilizado	31.84	34.60
Sub Utilizado	3.27	3.56
Sobre Utilizado	56.43	61.33
Total	92	100

Fuente: Elaboración propia.

Las áreas subutilizadas en la microcuenca tienen una extensión de 3.27 km<sup>2</sup>, representando el 3.56 % del área total. En este conflicto de uso, los suelos están siendo utilizados con tacotales y malezas en áreas que según la clase agrologica IV en la que se encuentran dichos usos, son aptas para el establecimiento de cultivos bajo obras de conservación que aseguren su potencial productivo.

Las áreas sobre utilizadas en la microcuenca tienen una extensión de 56.43 km<sup>2</sup> equivalente al 61.33 % del área total. En este conflicto de uso, los suelos están siendo utilizados con cultivos anuales, tacotales, vegetaciones arbustivas y pastos para ganado en áreas de clase agrologica VII y VIII. Ambas clases establecen que los suelos que las integren deberían de estar bajo áreas con coberturas densas de bosques que conserven la flora, la fauna, los suelos y el agua; sin embargo, los usos a los que están siendo sometidos no están acorde a los establecidos agrologicamente.

Es importante mencionar que la sobre utilidad de los suelos pertenecientes a las clases agrologicas VII y VIII, ocasionaría graves repercusiones en los suelos y el agua de la microcuenca, causando el aumento de escorrentías disminuyendo la cantidad y calidad del agua que logre infiltrar.

Actualmente la sobre utilidad de los suelos dentro de la microcuenca se debe a los cambios de usos de los suelos a áreas de pastizales o cultivos en pendientes, generando conflictos en las capacidades de usos de los suelos, dando como resultado la degradación constante del recurso.

En la microcuenca los cambios en los usos del suelo son vulnerables al aumento de áreas que superen las clases de capacidad de usos existentes, ya sea que los suelos bien utilizados y subutilizados se sometan a cambios que superen sus usos agrológicos, o que los suelos sobre utilizados se extiendan aún más, disminuyendo los remanentes de bosque que aún existen en la microcuenca.

## **5.2. Recurso agua de la microcuenca río El Jocote**

### **5.2.1. Infiltración por uso de suelo**

En el cuadro 24, se muestran las velocidades de infiltración promedio de los distintos tipos de usos de suelo en la microcuenca del río El Jocote.

**Cuadro 24.** Velocidades de infiltración promedio por uso de suelo, microcuenca río El Jocote

<b>Cobertura</b>	<b>Velocidad de infiltración (mm/h)</b>	<b>Clasificación</b>
Bosque ripario	61.42	Moderadamente rápida
Pasto	56.47	Moderada
Cultivo anual	53.49	Moderada
Cultivo permanente	44.24	Moderada

Fuente: Elaboración propia.

Las velocidades de infiltración por uso de suelo de bosque ripario, tienen una media de infiltración de 61.42 mm/hora, clasificada como una infiltración moderadamente rápida. Esto se debe a la presencia de macroporos y permeabilidades altas características de los suelos del orden Inceptisol (Fluventic Eutrudepts) identificado para estos usos. Según Gómez et al., (2014) describen que los suelos que están bajo cobertura boscosa mejoran las condiciones de infiltración al tener una capa de materia orgánica en la superficie, disminuyendo el escurrimiento superficial y aumentando la infiltración en los suelos.

Las velocidades de infiltración para el uso de pastos tienen una media de infiltración de 56.47 mm/hora, clasificada como infiltración moderada. En la microcuenca los pastos son el uso de la tierra de mayor extensión y cuenta con la segunda velocidad de infiltración más alta relacionada con la del bosque. En este uso, las condiciones de pendientes algo planas (1 a 2 %), pendientes promedio (2 a 7 %) y pendientes fuertes (mayor de 7 %), sumado con las características del orden de suelo Mollisol (Typic Haplustolls) identificado para estos usos, con texturas franco arcillosa y presencia de macro, meso y microporos (ver cuadro 18), permiten que el agua originaria de las precipitaciones logre infiltrar de forma moderada.

Otros estudios, según Studdert et al., (1997), citado por el XXVI congreso argentino de la ciencia del suelo, (2018), expone que:

El efecto de las pasturas está asociado a la cobertura permanente de la superficie del suelo, a la acción física de sus raíces densas y fibrosas en profundidad que promueven la agregación por sus exudados, y al no laboreo del suelo durante el periodo de ocupación. Esto provocaría un mejoramiento de las condiciones biológicas, químicas y físicas, favoreciendo la formación y estabilización de agregados, contribuyendo a la sustentabilidad productiva a través de la recuperación de las propiedades afectadas durante el periodo agrícola (p. 685).

Las velocidades de infiltración por el cultivo anual tienen una media de infiltración 53.49 mm/hora clasificada como infiltración moderada. En la microcuenca los cultivos anuales se encuentran distribuidos en suelos de clase agrológica VII y VIII, los que son no aptos para

prácticas agrícolas, ya que las malas prácticas de manejo en estos suelos disminuyen la infiltración. White et al., (1992), citado por Darío, R. (2004), afirman que la agricultura tiene afectaciones sobre la existencia de macroporos en el suelo y más aún cuando se es practicada en zonas donde no se cumplen con las condiciones agrologicas, causando reducción en la porosidad y por ende en la infiltración.

Las velocidades de infiltración de cultivos permanente (café), tienen una media de 44.24 mm/h, clasificada como una velocidad de infiltración moderada, siendo la menor velocidad de infiltración comparada con los otros usos de suelo.

La velocidad de infiltración en estos usos de suelos puede estar ligada a factores de malas prácticas de manejo, ya que los cultivos permanentes se encuentran distribuidos en suelos de clase agrologica VI, en la cual sus usos se restringen a cultivos que estén bajo estrictas obras de protección de suelos que agreguen materia orgánica y mejoren la infiltración, obras que no están siendo establecidas dentro de los suelos que componen dicha clase agrológica.

Darío, R. (2004), dice que:

El sistema poroso de los suelos se ve afectado por los cambios o pérdidas en las estructuras por labores agrícolas y es la materia orgánica que determina y agrega la microporosidad que beneficia a la capacidad de infiltración de los suelos, es decir al existir poca disponibilidad de materia orgánica se destruye fácilmente la estructura bajando considerablemente la infiltración.

Contrastando los resultados, cabe mencionar que las pruebas de infiltración para los usos del suelo de cultivos de frijol y café, fueron realizadas en suelos del orden entisol (sub grupo Typic Ustorthens), donde la presencia de materia orgánica estimada fue de 1.47 % (ver cuadro 17) , por lo que la retención de humedad es baja; sumado a esto la presencia de microporos debido a la composición textural, y la clase agrológica en que se encuentran estos usos de suelos (clase VII y VIII), disminuyen la capacidad de infiltración del mismo.

### 5.2.2. Zonas de recarga hídrica

En el cuadro 25 y figura 7, se muestra un resumen de las principales zonas de recarga hídrica de la microcuenca río El Jocote, en mm/año, las áreas ocupadas por cada categoría y su porcentaje equivalente al área total.

**Cuadro 25.** Zonas de recarga hídrica, microcuenca del río El Jocote

<b>Recarga Potencial (mm/año)</b>	<b>Categoría</b>	<b>Área de recarga (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
54-79	Muy baja	0.12	0.13
80-105	Baja	28.054	30.5
106-131	Moderada	51.62	56.10
>132	Alta	11.79	12.82
Total		92	100

Fuente: Elaboración propia.

La zona de recarga muy baja ocupa el 0,13 % y una extensión de 0.12 km<sup>2</sup> con rangos de recarga entre 54-79 mm/año de aporte acuífero (ver figura 8). Esta zona se encuentra ubicada en la parte Suroeste de la microcuenca, en suelos de clase agrológica VI y VII, en las cuales el uso que predomina es el pasto, lo que nos indica que esta categoría de recarga potencial está ligada a factores de mal manejo en los usos del suelo, ocasionando pérdidas de agua por escorrentía a causa de las pendientes que caracterizan a dichas clases agrológicas. También se conoce que los suelos usados en condiciones de pastizales generan mayores pérdidas de agua por efecto de evapotranspiración, disminuyendo la infiltración y recarga en el suelo (Mestas, 2011).

Dadas las condiciones en las que se encuentran los suelos de esta zona de recarga, a como expresa Blanco (2010), que los cambios en las propiedades físicas del suelo, la erosión, la compactación y una mayor escorrentía, pueden provocar una disminución en la recarga, especialmente en suelos con una cobertura no boscosa.

Las zonas de recarga baja representan el 30.5 % del área de la microcuenca, ocupando 28.064 km<sup>2</sup> (ver figura 7) que corresponde a la segunda zona de recarga de mayor extensión. Estas zonas de recarga, se distribuyen en la parte Suroeste, Centro y Noroeste de la microcuenca; en suelos

de clases agrológicas VI, VII y VIII. En estas clases los usos de suelos que predominan son los pastos, los cuales no corresponden a los usos potenciales establecidos para dichas clases agrológicas. El uso de pasto en esta clase, indica que los suelos han sido sometidos a cambios en sus usos; debido a que, son suelos con potencial para bosques y conservación convertidos en suelos con pastizales, generando una baja recarga.

Thompson y Reynolds (1988), citado por Blanco (2010), “afirman al respecto que “la conversión de bosques a pastizales provoca un decrecimiento en el régimen de precipitación en alrededor de 200 mm/año, algo poco alentador si se sabe que, en su mayoría, la recarga de aguas subterráneas proviene directamente de las precipitaciones” (p. 201).

Según Costa et al., (2003), citado por Gelvez (2021), expone que:

Los cambios en gran escala de áreas de bosque en pastizales o pastos de baja productividad causan una disminución en la evapotranspiración a causa de que este tipo de cobertura posee un área foliar menor que reduce la capacidad de infiltración del agua precipitada en el suelo. (párr. 3)

Las zonas de recarga moderada, representa una extensión de 51.62 km<sup>2</sup>, equivalente al 56.10 % del área total, ocupando la mayor extensión. La recarga anual es de 106 a 131 mm (ver figura 7). Estas zonas de recarga se encuentran bajo usos de cultivos anuales y permanentes, vegetaciones arbustivas, tacotales y pastos, en suelos de clases agrológicas IV, VI y VII; las cuales requieren de estrictas obras de conservación a causa de las limitaciones que tienen por el factor pendiente.

En estas zonas de recarga, además de que en los usos de suelos no se implementan los manejos acordes a las clases agrológicas, también infieren las características físicas de los subgrupos de suelos, que corresponde a texturas finas, franco arcillosas y arcillosas; sumando a esto la escasa cobertura boscosa en la microcuenca, en conjunto ocasionan pérdidas de agua por escorrentía disminuyendo la infiltración y generando una recarga anual moderada.

La recarga potencial alta, cuenta con una extensión de 11.79 km<sup>2</sup>, (12.82 % del área total), con recargas mayores a los 132 mm/año (ver figura 7). En estas zonas los usos que predominan son los bosques, los cuales se encuentran en suelos de clases agrologicas IV, VI, VII y VIII y cercanos a la ribera del río, en suelos del orden Inceptisol.

Los suelos inceptisoles en la microcuenca están ubicados en la ribera del río, en pendientes planas que van entre 1 % a 8 %, poseen una permeabilidad alta (ver cuadro 19), textura franco-arcillosa con presencia de macroporos y velocidad de infiltración moderadamente rápida, en su conjunto dichas características de este orden de suelo favorecen a la alta recarga hídrica.

Según Ward y Trimble (2004), citado por Blanco (2010), explican que: “La capacidad de regulación, almacenamiento de humedad y la alta capacidad de infiltración que presentan los suelos cubiertos por bosques facilita la percolación de casi un 65 % del total de volumen de recarga hídrica” (p. 201).

Lopera et al., (2016), citado por Gelvez (2021), dice que el reemplazo del bosque por otros tipos de coberturas modifica las dinámicas hidráulicas como resultado de la deforestación, intensifica así, el arrastre y sedimentación de material hacia el cauce principal de los cuerpos de agua, por lo que no solamente afecta las condiciones físicas del río, sino que también se está deteriorando la cantidad y calidad hídrica.

La situación existente en la microcuenca podría generar en esta zona una disminución considerable en la recarga, puesto a que está siendo sometida a cambios constantes en sus usos de suelos y cobertura.



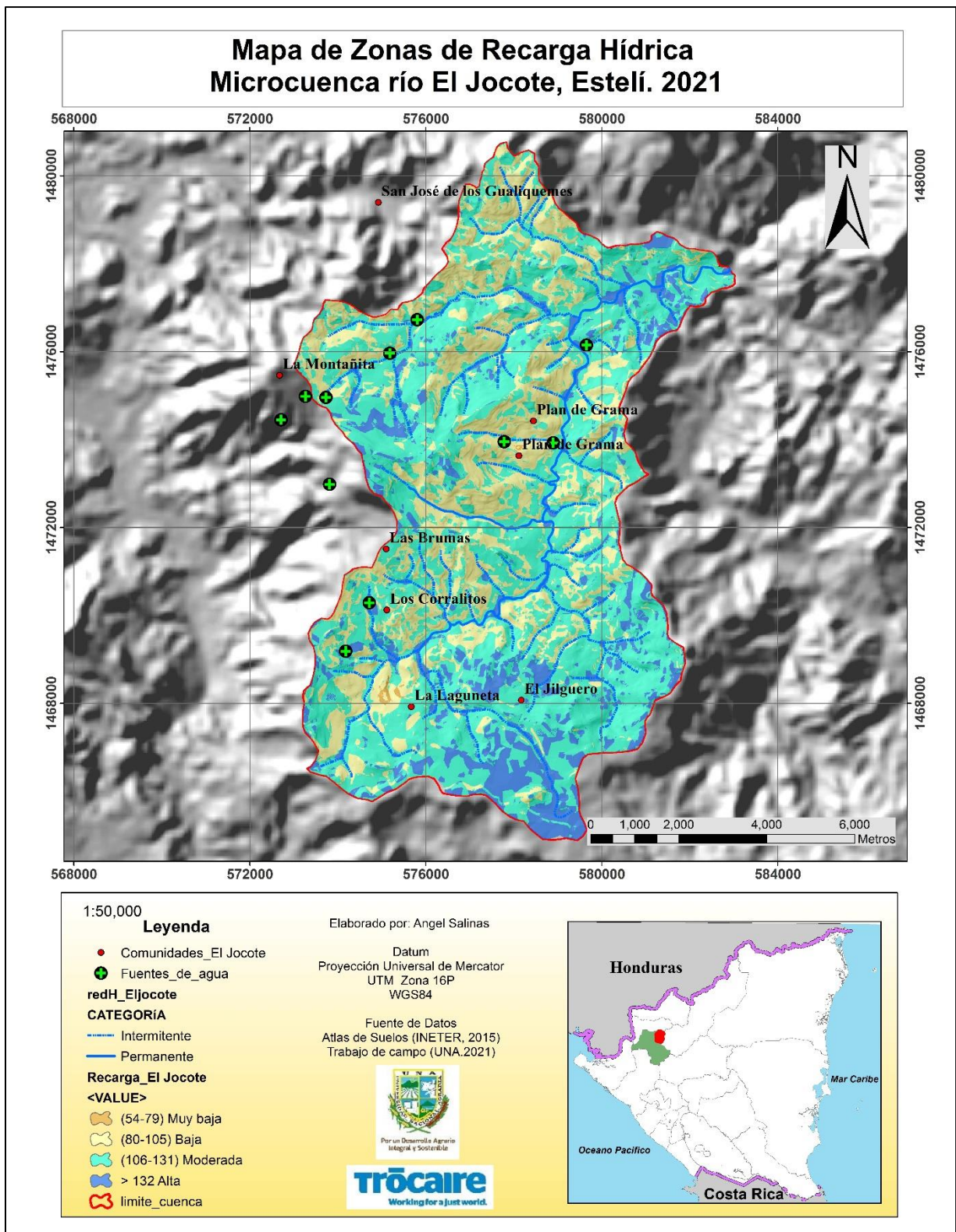


Figura 7. Zonas de recarga hídrica, microcuenca del río El Jocote.

### **5.3. Calidad del agua para consumo humano en la microcuenca río El Jocote**

Las temperaturas encontradas en las fuentes evaluadas en los 2 momentos de muestreo oscilan entre un rango 20.6 a 28.6 °C en mayo 2021 y 23.3 a 34.1<sup>0</sup>C en octubre 2021; esto indica que, las temperaturas se encuentran dentro de los valores recomendados por las normas CAPRE; a excepción de la fuente de agua #1 que, en octubre 2021, presentó un valor mayor de 30 °C. Estas variaciones de temperatura en el agua podría ser efecto de la disminución en la cobertura boscosa, erosión de la tierra acelerada y aumento de la escorrentía a causa de labores agrícolas mal gestionadas (ver cuadro 26 y 27) (García, S. 2019).

El pH en temporada seca fue de 6.97 a 7.46 y en temporada lluviosa se observa una reducción, con valores de 6.7 a 7.29, encontrándose dichos valores en el límite permisible de las normas CAPRE en ambas temporadas.

El porcentaje de hidrogeno en aguas naturales a 25 <sup>0</sup>C es de 7 y que además es un indicador útil del estado de las reacciones de equilibrio en las que el agua participa. Además, expresa que los valores de pH en aguas naturales que no estén influenciadas por contaminación generalmente tienen valores entre 6.5 a 8.5 (Hem, 1985), por lo cual, los valores de los puntos de muestreo se encuentran en este rango.

Por lo antes expuesto, la reducción en las concentraciones de pH podría estar influenciado por las precipitaciones, ya que estas tienen efectos de disolución en la estructura de los minerales geológicos que conforman los suelos de la microcuenca, manteniendo sus valores en los permisibles para consumo humano.

**Cuadro 26.** Resultados de calidad de agua, muestreo mayo 2021, microcuenca del río El Jocote

Parámetros	Unidades	Valor CAPRE	F #1 (MN)	Fuente #2(MN)	Fuente #3(MN)	Fuente #4 (MN)	Fuente #5 (MN)	Fuente #6 (MN)	Fuente #7 (P)	Fuente #8 (P)	Fuente #9 (MN)	Fuente #10 (MN)	Fuente #11 (MN)
T	°C	<b>18-30</b>	20.6	22.6	21.5	22.7	23.5	21.1	28.6	23.4	22.6	24.9	25.9
pH	Unidad de pH	<b>6.5-8.5</b>	7.46	7.17	7.13	7.11	6.97	7.13	7.16	7.18	7	7.23	7.33
CE	µS/cm	<b>400*</b>	330	930	276	236	740	206	600	430	350	553	507
STD	mg/l	<b>1000**</b>	370	430	193	165	370	143	300	210	249	386	357
Dureza Total	mg/l	<b>400*</b>	140.58	170.28	126.72	124.74	158.4	102.96	158.40	148.50	146.52	156.42	154.44
Nitratos (NO3)	mg/l	<b>25*-50**</b>	16.82	14.61	4.43	10.62	13.28	16.38	14.17	27.00	3.54	25.68	15.05
Amonio (NH3)	mg/l	<b>0.05*-0.5**</b>	2.43	ND	4.86	3.65	1.22	2.43	2.43	3.65	6.36	6.08	ND
Coliformes totales	Presencia /ausencia	<b>0</b>	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia

Fuente: Elaboración propia.

**Nota:** F: Fuente; MN: manantial; P: Pozo \*: valor recomendado \*\*: valor máximo admisible; ND: no detectado

La conductividad eléctrica en temporada seca presenta valores mínimos de 236  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y máximos de 930  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , (ver cuadro 22). De las once fuentes evaluadas cinco se encuentran dentro de los valores admisibles por CAPRE, y 6 superan dichos valores.

De la misma forma, la conductividad eléctrica en temporada lluviosa tiene valores mínimos de 180  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y máximos de 650  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En este muestreo tres de las fuentes se encuentran en el valor permisible establecido por CAPRE, y 8 superan dichos valores.

Hem (1985), expone que la conductividad eléctrica del agua natural es muy baja, unas cuantas centésimas de  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La conductividad eléctrica se relaciona con la concentración de iones, es decir, que a medida que aumenta la concentración de iones aumenta la conductividad, haciendo a la conductividad un indicador de las concentraciones de iones.

Por otra parte, Gollenola G. (2007), define que la conductividad eléctrica de las aguas naturales está relacionada con las formaciones geológicas mediante las cuales se transporta el agua. Esto mismo pasa en la concentración de sólidos totales disueltos.

Al respecto Chapman y Kimstach (1992), citado por Blandón (2019), afirman que mientras mayor sea el valor de conductividad eléctrica, mayor será la cantidad de sales disueltas en el agua. Constatando dichos argumentos con las diferencias existentes en los valores obtenidos durante ambos muestreos, en las cuales se observaron variaciones tanto en la conductividad como en los sólidos totales disueltos. La conductividad eléctrica determinada en ambos muestreos indica la incidencia que tienen las precipitaciones sobre el material geológico, generando el lavado de los minerales que constituyen las formaciones geológicas presentes en la microcuenca, causando el aumento de la conductividad en el agua.

Los sólidos totales disueltos en ambos momentos se encuentran dentro del valor establecido por las normas CAPRE, con valores menores a los 1000 mg/l. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011), los sólidos totales disueltos comprenden las sales inorgánicas (calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua. Los sólidos totales disueltos se deben a las diferentes

solubilidades de los minerales, y sus concentraciones varían en el agua considerablemente de una zona geológica a otra.

**Cuadro 27.** Resultados de calidad de agua, muestreo octubre 2021, microcuenca del río El Jocote

Parámetros	Unidades	Valor CAPRE	Fuente #1 (MN)	Fuente #2 (MN)	Fuente #3 (MN)	Fuente #4 (MN)	Fuente #5 (MN)	Fuente #6 (MN)	Fuente #7 (P)	Fuente #8 (P)	Fuente #9 (MN)	Fuente #10 (MN)	Fuente #11 (MN)
T	°C	<b>18-30</b>	34.1	23.3	23.4	26	23.7	26.4	25.9	23.6	24.4	29.5	26.2
pH	Unidad de pH	<b>6.5-8.5</b>	6.86	6.7	6.74	7.04	6.71	7	7.13	7.12	6.9	6.7	7.14
CE	µS/cm	<b>400*</b>	498	500	180	332	580	280	560	410	445	642	650
STD	mg/l	<b>1000**</b>	349	350	125	250	410	196	400	290	341	441	456
Dureza Total	mg/l	<b>400*</b>	570.74	665.86	285.37	95.12	475.61	142.68	475.61	190.25	332.93	428.05	428.05
Nitratos (NO3)	mg/l	<b>25*-50**</b>	25.68	-	-	12.84	-	19.92	17.71	-	-	-	-
Amonio (NH3)	mg/l	<b>0.05*-0.5**</b>	1.22	-	-	ND	-	2.43	2.43	-	-	-	-
Coliformes totales	Presencia/ausencia	<b>0</b>	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia

Fuente: Elaboración propia.

**Nota:** MN: manantial; P: Pozo \*: valor recomendado \*\*: valor máximo admisible

La dureza total en el primer muestreo (mayo 2021) se encontró dentro del valor recomendado (400 mg/l); sin embargo, en el segundo muestreo (época lluviosa) en algunos puntos superaron el valor recomendado por las normas CAPRE. Las fuentes #1 con 570.74 mg/l, fuente # 2 con 665.86 mg/l, fuente # 5 con 475.61 mg/l, fuente # 7 con 475.6 mg/l, fuente #10 con 428.05 mg/l y fuente #11 con 428.05 mg/l, valores los cuales son considerados por Contreras y Molero (2011), citado por Blandón (2019), como aguas muy duras.

En la dureza influyen principalmente los iones calcio y magnesio los que ocupan el mayor porcentaje de la dureza del agua, que podría estar ligado a la composición mineral del tipo de geología de la zona, esto explicaría el aumento de la dureza en la época lluviosa; es decir, al aumentar las precipitaciones, el suelo se satura y fácilmente se podría producir la recarga; por lo tanto, al presentar contacto la roca con el agua, se diluyen los minerales de calcio y magnesio provocando un aumento en la dureza.

Neira (2006), expone que:

La dureza del agua podría estar ligada directamente por factores geológicos, como son el tipo y composición mineral de las rocas o materiales de formación de los suelos y varía dependiendo de la localización geográfica y la estación climática del año.

En la microcuenca, la geología está constituida en su mayoría por rocas basálticas, dacíticas, andesíticas y riolíticas, rocas las cuales según Martínez y Martínez (2014), son constituidas en su mayoría por plagioclasas cálcicas (basalto y andesitas), pudiendo ser estas características mineralógicas, las causantes del aumento de la dureza del agua en estación lluviosa.

Las concentraciones de nitratos encontrados en las fuentes, en ambos muestreos se encontraron dentro del valor máximo admisible por la Norma CAPRE, con valores menores a los 50 mg/l. Para el primer muestreo las fuentes #8 y #10 presentaron valores de 27 mg/l y 25.68 mg/l respectivamente, y en el segundo muestro la fuente #1 con 25.6 mg/l.

Según la OMS (2011), la presencia de nitratos en la calidad del agua es consecuencia de las actividades de labranza, si no hay cobertura vegetal que consuma los nitratos liberados por las plantas en descomposición, la aplicación de un exceso de fertilizantes inorgánicos u orgánicos, o el estiércol líquido de la producción ganadera y en suspensión procedente de la producción animal. En la microcuenca la inserción de ganado en terrenos de alta pendiente para su alimentación y el depósito de las heces sobre áreas sin cobertura puede generar con las precipitaciones el arrastre de las mismas hacia los cuerpos de agua, ocasionando la alteración en el contenido de nitratos.

Las concentraciones de amonio obtenidos en ambos muestreos se encuentran sobre el valor recomendado y máximo admisible según la Norma CAPRE, con valores sobre los 0.5 mg/l. Hem (1985), explica que las presencias de amonio en aguas naturales podrían ser indicadores de contaminación causada por deposición de aguas residuales o residuos orgánicos; sin embargo, dicha contaminación se habría realizado en un sitio o tiempo retirado del punto de muestreo.

En síntesis, la presencia del ion amonio en las fuentes de agua, podría atribuirse a las malas prácticas de manejo en los suelos, siendo utilizados para pastaje de ganado o labores agrícolas, actividades las cuales generan contaminantes al medio edáfico a través de la deposición de residuos que son arrastrados a las fuentes por efecto de las precipitaciones en épocas lluviosas.

En todas las fuentes evaluadas se encontró presencia de coliformes totales, lo que indica la contaminación por efecto de heces fecales lo que se resume en que son aguas de origen no apto para consumo. La OMS (2011), dice que las coliformes totales están presentes tanto en aguas residuales como en aguas naturales. Algunas de estas bacterias se excretan en las heces de personas y animales, pero muchos coliformes son heterótrofos y capaces de multiplicarse en suelos y en medios acuáticos, y suelen ser lavables y ser transportadas a las fuentes superficiales por efecto de las precipitaciones.



En la microcuenca, la presencia de estas bacterias puede ser atribuidas a la poca o nula protección de las fuentes de agua, donde las actividades humanas, agropecuarias y la desprotección forestal generan residuos donde se puede proliferar la formación y reproducción de las coliformes totales.

## VI. CONCLUSIONES

El subgrupo taxonómico de suelos de mayor extensión en la microcuenca es el Typic Ustorthents del orden Entisol. La capacidad de uso de mayor extensión es la VIII, con terrenos de vocación forestal y de conservación; sin embargo, el uso de la tierra de mayor extensión es el de pastos, indicando que predomina conflicto de uso del suelo sobre utilizado; principalmente en áreas con fuertes pendientes.

Las zonas de recarga predominantes son de baja a moderada, ocupando la mayor extensión en la microcuenca, reflejándose en las áreas de mayor conflicto de uso del suelo (sobre utilizado). Las zonas de recarga alta se presentaron en las áreas planas cercanas a los ríos en el material sedimentario; donde el uso del suelo está representado por el bosque ripario y se alcanzaron los mayores valores de infiltración.

La calidad del agua de acuerdo con los parámetros fisicoquímicos, no son aptas para consumo humano con por presentar concentraciones de amonio sobre el valor máximo admisible de la Norma CAPRE; así como, presencia de coliformes totales; sin embargo, aplicando un tratamiento o tomando medidas para reducir las bacterias y el amonio; es totalmente apto para consumo humano.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Promover la ejecución de obras de conservación en los usos de suelos que no estén siendo aprovechados de acuerdo con sus clases agrológicas.

Implementación de prácticas de conservación de suelos y agua que integren las técnicas apropiadas para mejorar la infiltración de los suelos en la microcuenca y protección de zonas de recarga hídrica en área de fuerte pendiente.

Fomentar la protección de las fuentes de agua para la mejora en la calidad mediante la construcción de obras de captación.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Acuña, Aguirre, Zelaya y Orozco (2008). Suelos, Capacidad de uso de la tierra y Conflictos de uso en el municipio Rivas. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANI.031373>
- Alcalá y Flores (2010). Manual de procedimientos analíticos. <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>
- Artola Medina, I. (1998). *Actualización del Levantamiento de suelos y Capacidad de Uso de la Tierra Zona de Amortiguamiento en el Municipio de El Castillo Río San Juan*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria. Repositorio institucional]. <https://repositorio.una.edu.ni/1099/1/tnp32a792.pdf>
- Assan M. Gorosito S. (sf). Relación agua, suelo, planta. Infiltración. <http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CUADERNOS%20DE%20CATEDRA/Assan/Guia%20didactica%202%20Infiltracion.pdf>
- Báez, A., (1998). *Reconocimiento y caracterización de los recursos hídricos, edáficos y forestales del municipio de Condega, departamento de Estelí, Nicaragua*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria. repositorio institucional]. <https://repositorio.una.edu.ni/914/1/tnp10b142.pdf>
- Barrera y Amador (2008). *Estado de los suelos y recursos hídricos superficiales del municipio la conquista, Carazo, Nicaragua*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria] repositorio institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/1112/1/tnp32b272.pdf>
- Blanco, H. (2010). Áreas de recarga hídrica de la parte media-alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito, San Carlos, Costa Rica. <https://www.redalyc.org/pdf/5156/515651982005.pdf>
- Blandón (Agosto, 2019). Calidad de las aguas superficiales en la microcuenca río Pire, municipio de Condega Nicaragua. *Revista científica de FAREM-Estelí*, 8 (31), 60. <https://www.camjol.info/index.php/FAREM/article/view/8470/8657>
- Blandón, L. (2019). Calidad de las aguas superficiales en la microcuenca río Pire, municipio de Condega Nicaragua. Tesis de pregrado Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio institucional <https://rcientificaesteli.unan.edu.ni/index.php/RCientifica/article/view/937/919>
- Boul, S.W.; Hola, F.D.; McCracken, R.J. & Southard, R.J. (1997). *Soil Genesis and Classification. Fourth Edition*. Iowa State University Press / Ames. 527 pag
- Calderón, A., Díaz, M., y Cisneros, J. (2001). Análisis de riesgos naturales y propuesta de plan municipal y de reducción de desastres. <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Enero2006/CD-1/pdf/spa/doc14816/doc14816-1.pdf>
- Carrillo, E. y Lozano, A. (2008). *Validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando agar chromocult*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8205/tesis203.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

- Castillo, I. (2013). *Evaluación físico-química y bacteriológica del agua en el sistema de abastecimiento del casco urbano del Municipio de La Concordia durante cinco semanas de abril y junio del año 2013*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unan.edu.ni/5475/1/64547.pdf>
- Castillo, M. (2005). *Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca cusamá El Tuma - La Dalia Matagalpa, 2005*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp35c352.pdf>
- CONADI (2017). Como determinar; cuánto y cuándo regar. [http://www.gea.uchile.cl/archivos/Como\\_determinar\\_cuando\\_y\\_cuanto\\_regar\\_Conadi.pdf](http://www.gea.uchile.cl/archivos/Como_determinar_cuando_y_cuanto_regar_Conadi.pdf)
- Darío, R. (2004). Influencia de la agricultura en las propiedades hidráulicas del suelo en un paisaje del chaco semiárido. I. Suelos en ambientes de escorrentía. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/biblioteca/Trabajo%20final%20-%20Ruben%20Coria.pdf>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051913.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051913.pdf)
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos(1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. <http://agroecologiar.com/wp-content/uploads/2019/08/Guia-eval-calidad-y-salud-del-suelo.pdf>
- Echeverría, Liliana I. P, Cecilia V., Nicolás W, Nahuel R. C, y Guillermo A. D. (2014). Guía de Trabajos Prácticos de Edafología. <https://es.slideshare.net/manu051063/presentacion-edafologia-agricola>
- Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (s.f.). *Caracterización Municipal de Condega*. Recuperado el 21 de septiembre de 2021. <http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/enacal/Caracterizaciones/Esteli/Condega.html>
- Fenzl, N. (1989). *Geografía, Clima, Geología e Hidrogeología de Nicaragua*. UFGA
- Fernández Cirelli, A. (Diciembre, 2012). El agua: un recurso esencial. <https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Fonseca López, M. R., y Fornos Blanco, C. A. (2017). Efecto de tres láminas de riego por goteo y tres biofertilizantes en el cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) Cv. SHANTY, Managua, 2015-2016 [tesis de pregrado Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3473/1/tnf06f676.pdf>
- Gámez, W. (2009). *Texto básico de hidrología*. (1. Ed). <https://repositorio.una.edu.ni/2464/1/np10g192.pdf>
- García, D. (2013). *Zonificación Hídrica de la microcuenca del río La Trinidad, en la subcuenca del Río Viejo*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/2397/1/904.pdf>

- García, S, Arguello, A, y Parra, R. (2019). Factores que influyen en el pH del agua mediante la aplicación de modelos de regresión lineal. [https://www.researchgate.net/publication/333252783 Factores que influyen en el pH del agua mediante la aplicacion de modelos de regresion lineal](https://www.researchgate.net/publication/333252783_Factores_que_influyen_en_el_pH_del_agua_mediante_la_aplicacion_de_modelos_de_regresion_lineal)
- Gelvez, J. (2021). Efectos del cambio en el uso y cobertura del suelo sobre el régimen hidrológico de la cuenca del río Coello. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/38193/2021sebastiangelvez.pdf?sequence=3#:~:text=El%20cambio%20en%20el%20uso,reduce%20la%20calidad%20de%20vida>
- Gómez, G.C., Munive Cerrón, R., Mallma Capcha, T. & Orihuela Villavicencio, C. (2014). Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas. *Apuntes de ciencias y sociedad*, 4(1), 32-42. DOI: <https://doi.org/10.18259/acs.2014004>
- González, W. (2011). Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la microcuenca del río Zaratí, Panamá [tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Escuela de posgrado]. Archivo digital. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7318e/A7318e.pdf>
- Grand y Michel (2020). Materia Orgánica del Suelo. <https://orgprints.org/id/eprint/43417/7/MATERIA%20ORGA%CC%81NICA%20DEL%20SUELO.pdf>
- Hiscock, K. (2005). Principios y práctica de hidrogeología. [https://www.researchgate.net/publication/248686917\\_HISCOCK\\_K\\_2005\\_Hydrogeology\\_Principles\\_and\\_Practice\\_xvi\\_389\\_pp\\_Malden\\_Oxford\\_Carlton\\_Blackwell\\_Publishing\\_Price\\_3495\\_paperback\\_ISBN\\_0\\_632\\_05763\\_7](https://www.researchgate.net/publication/248686917_HISCOCK_K_2005_Hydrogeology_Principles_and_Practice_xvi_389_pp_Malden_Oxford_Carlton_Blackwell_Publishing_Price_3495_paperback_ISBN_0_632_05763_7)
- Ibáñez, Z, Fuster, R, Mancilla, G, Fuente, A y Silva, K. (2013). Guía análisis y zonificación de cuencas hidrográficas para el ordenamiento territorial. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36817/S2014205\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36817/S2014205_es.pdf)
- Instituto geográfico Agustín Codazzi (2014). *Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso*. <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/instructivos/2014/M40100-02%2014V2%20Para%20la%20clasificacion%20de%20las%20tierras%20por%20su%20capacidad%20de%20uso.pdf>
- Inter-American Network of Academies of Science (2012). *Calidad de agua para las Américas*. Editorial IANAS. [https://www.agua.org.mx/wpcontent/uploads/2012/03/Libro\\_Diagnostico\\_del\\_Agua\\_en\\_las\\_Americas.pdf](https://www.agua.org.mx/wpcontent/uploads/2012/03/Libro_Diagnostico_del_Agua_en_las_Americas.pdf)
- Inter-American Network of Academies of Science (2019). *calidad de agua para las Américas, riesgos y oportunidades*, editorial IANAS. <https://ianas.org/wp-content/uploads/2020/07/02-Water-quality-INGLES.pdf>
- Izabá y García (2018). Estimación de la disponibilidad hídrica superficial en la microcuenca del río Mapachá, San Lorenzo, Boaco. *Revista de agua y saneamiento, CIRA/UNAN*, 3 (1). 23-27. <https://revistacira.unan.edu.ni/index.php/AyC/article/download/70/59/161>

- Jiménez-Martínez, E., y Rugama Lovo, L. (noviembre, 2013). Dinámica poblacional e insectos coleópteros rastreros asociados al marañón (*anacardium occidentale* L.) en León, Nicaragua. *La Calera*, 13 (21), 20-25. <http://cenida.una.edu.ni/ppperiodicas/pph10j61d.pdf>
- Klingebiel, A.A. and P.H. Montgomery. 1961. Land capability classification. USDA Agricultural Handbook 210. <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT10310193/pdf>
- Martínez y Martínez (2014). “Manual de rocas Ígneas, su textura y composición”. [https://www.researchgate.net/publication/350089085\\_Manual\\_de\\_rocas\\_igneeas\\_sus\\_texturas\\_y\\_composicion\\_ed1](https://www.researchgate.net/publication/350089085_Manual_de_rocas_igneeas_sus_texturas_y_composicion_ed1)
- Matus, M., Faustino, F., y Jiménez, F. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*. <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENPI0M433.pdf>
- Mestas Valero, R.M. (2011). Régimen hídrico del suelo y evapotranspiración en áreas agrícolas y forestales [tesis de maestría, Universidad Da Coruña]. [https://www.researchgate.net/profile/Antonio-PazGonzalez/publication/315072349\\_Regimen\\_hidrico\\_del\\_suelo\\_y\\_evapotranspiracion\\_en\\_areas\\_agricolas\\_y\\_forestales\\_Soil\\_water\\_regime\\_and\\_evapotranspiration\\_of\\_agricultural\\_and\\_forestry\\_areas/links/58c971f192851c4b5e6c91cc/Regimen-hidrico-delsuelo-y-evapotranspiracion-en-areas-agricolas-y-forestales-Soil-water-regime-andevapotranspiration-of-agricultural-and-forestry-areas.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Antonio-PazGonzalez/publication/315072349_Regimen_hidrico_del_suelo_y_evapotranspiracion_en_areas_agricolas_y_forestales_Soil_water_regime_and_evapotranspiration_of_agricultural_and_forestry_areas/links/58c971f192851c4b5e6c91cc/Regimen-hidrico-delsuelo-y-evapotranspiracion-en-areas-agricolas-y-forestales-Soil-water-regime-andevapotranspiration-of-agricultural-and-forestry-areas.pdf)
- MIFIC. 2007. Norma Técnica Nicaragüense para el Uso y Manejo del Suelo. [http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/%28\\$All%29/01C8C534FD9ACB01062576AB0070B62A?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/%28$All%29/01C8C534FD9ACB01062576AB0070B62A?OpenDocument)
- Morales, K. (2020). *Evaluación de la disponibilidad y calidad del agua subterránea para riego en la Finca El Plantel*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio Institucional.
- Neira (2006). *Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación. estudio de caso: chile*. [tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio institucional [https://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira\\_m/sources/neira\\_m.pdf](https://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf)
- Norma regional CAPRE (1993). Normas de calidad de agua para consumo humano. [http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/pdf/CAPRE\\_Normas\\_Regional.pdf](http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/pdf/CAPRE_Normas_Regional.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (s.f). Propiedades químicas del suelo. Recuperado el 21 de agosto de 2021. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2021). ¿Qué es el pH del suelo?. <https://www.fao.org/3/ca7162es/ca7162es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2009). *Guía para la descripción de suelos*. (4. ed). <http://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) (2018). Guía de buenas prácticas para La gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales. <http://www.fao.org/3/i8864es/I8864ES.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2008). *Base referencial mundial del recurso suelo*. <https://www.fao.org/3/a0510s/a0510s.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>
- Organización Panamericana de la Salud (2012). Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y cusco. <https://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>
- Osorio (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo integral del suelo y nutrición vegetal*, Vol 1 (4), 1. <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>
- Pavón, R y Rocha, J. (2015). *Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando indicadores biológicos en la microcuenca del Río La Trinidad, Diriamba, Carazo, en el año hidrológico 2010-2011*. [Tesis de pregrado Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional. <https://repositorio.una.edu.ni/3227/1/tnp10p339e.pdf>
- Pérez, E. y Blandón, M. (2015). *Evaluación de sistemas productivos agrícolas bajo prácticas agronómicas y culturales sostenibles de productores de tres microcuencas de Ciudad Darío, Matagalpa I Semestre 2015*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unan.edu.ni/2872/1/5617.pdf>
- Quintana, J. O., Blandón, J., Flores, A., Mayorga, E. (1983). *Manual de Fertilidad para los suelos de Nicaragua*. Editorial Primer Territorio Indígena Libre de América Ithaca. Nueva York.
- Reynosa Correa, N. (2014). *Diagnóstico de suelos y aguas superficiales de la microcuenca el Río Waswalí, Matagalpa, Nicaragua*. [Tesis de pregrado Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp10r462.pdf>
- Rossiter (2002). *Metodologías para el levantamiento del recurso suelo*. [https://www.css.cornell.edu/faculty/dgr2/\\_static/files/pdf/SSM\\_LectureNotes2\\_E.pdf](https://www.css.cornell.edu/faculty/dgr2/_static/files/pdf/SSM_LectureNotes2_E.pdf)
- SACSA (2016, 10 de enero). *¿Qué es la saturación de bases en los suelos?*. <https://www.gruposacsa.com.mx/que-es-la-saturacion-de-bases-en-los-suelos/>
- Sánchez y Rodríguez (sf). *Lluvia ácida y sus efectos*. Recuperado el 17 de noviembre de 2022. <https://www.divulgameteo.es/uploads/Lluvia-%C3%A1cida.pdf>
- Schosinsky y Losilla (2000). Modelo analítico para determinar la infiltración con base en la lluvia mensual. *Revista Geológica de América Central*. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/8579/8102>



- Schosinsky, G. (2006). Calculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance Hídrico de suelos. *Revista geológica de América central*. pp14-30. DOI 10.15517/RGAC.V0I34-35.4223
- Shaxson y Barber (2005). Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. <https://www.fao.org/3/y4690s/y4690s02.htm#TopOfPage>
- Sobejano (2010). *Metodología de evaluación de la capacidad de uso del suelo de la Provincia de Cabo Delgado (Mozambique) según Clases de Capacidad Agrológica* [Tesis de pregrado Universidad Pública de Navarra]. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/2286/577291.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Unión Internacional Para la conservación de la Naturaleza (s.f.). *Protección, conservación y gestión de las zonas de recarga hídrica*. Recuperado el 21 de agosto de 2021. [https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/serie\\_1\\_03\\_proteccion\\_zonas\\_de\\_recarga\\_hidrica.pdf](https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/serie_1_03_proteccion_zonas_de_recarga_hidrica.pdf)
- Universidad Privada del Norte (2011). *Estructura de los suelos, mecánica de suelos I*. [https://www.academia.edu/18710717/CAP\\_I\\_2\\_Estructura\\_de\\_los\\_suelos](https://www.academia.edu/18710717/CAP_I_2_Estructura_de_los_suelos)
- Valderrama, J. (2014). *Conflictos entre uso actual y Capacidad de uso Mayor de los suelos que influyen en el Desarrollo Territorial Sostenible del distrito de Matara, Cajamarca*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca Escuela de post grado]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1879/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- XVVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (2018). Capítulo 152. Evaluación de algunas propiedades físicas de un suelo del sudeste bonaerense bajo distintos sistemas de cultivo. <https://s369b157da8f522cf.jimcontent.com/download/version/1526078311/module/7584713654/name/Comision%204.pdf>

## IX. ANEXOS

Anexo 1. Formato de campo para la clasificación de suelos

<b>Proyecto:</b>		<b>Fecha:</b>		<b>Autores:</b>			<b>Calicata No.</b>			
<b>Localización:</b> <b>UTM:</b>		<b>Clasificación taxonómica:</b> <b>1-.</b> <b>2-.</b>		<b>Clase de capacidad:</b> <b>1-.</b> <b>2-.</b>			<b>Drenaje:</b>			
<b>Posición:</b>		<b>Forma del terreno:</b>		<b>Profundidad del manto freático:</b>			<b>Vegetación y uso de la tierra:</b>			
Profundidad (cm)	Horizontes	Est. de humedad	Color		textura	Estructura	Consistencia	Poros	raíces	Act. de fauna
			Seco	húmedo						Limite

Anexo 2. Hoja de cálculo de infiltración USDA

<b>No. Rep.</b>	<b>1er. Pulgada de agua</b>				
	<b>Tiempo de inicio</b>	<b>Tiempo final</b>	<b>Minutos</b>	<b>Segundos</b>	<b>1er. Infiltración Pulg/hr</b>
<b>1</b>					
<b>2</b>					
<b>3</b>					
<b>4</b>					
<b>5</b>					

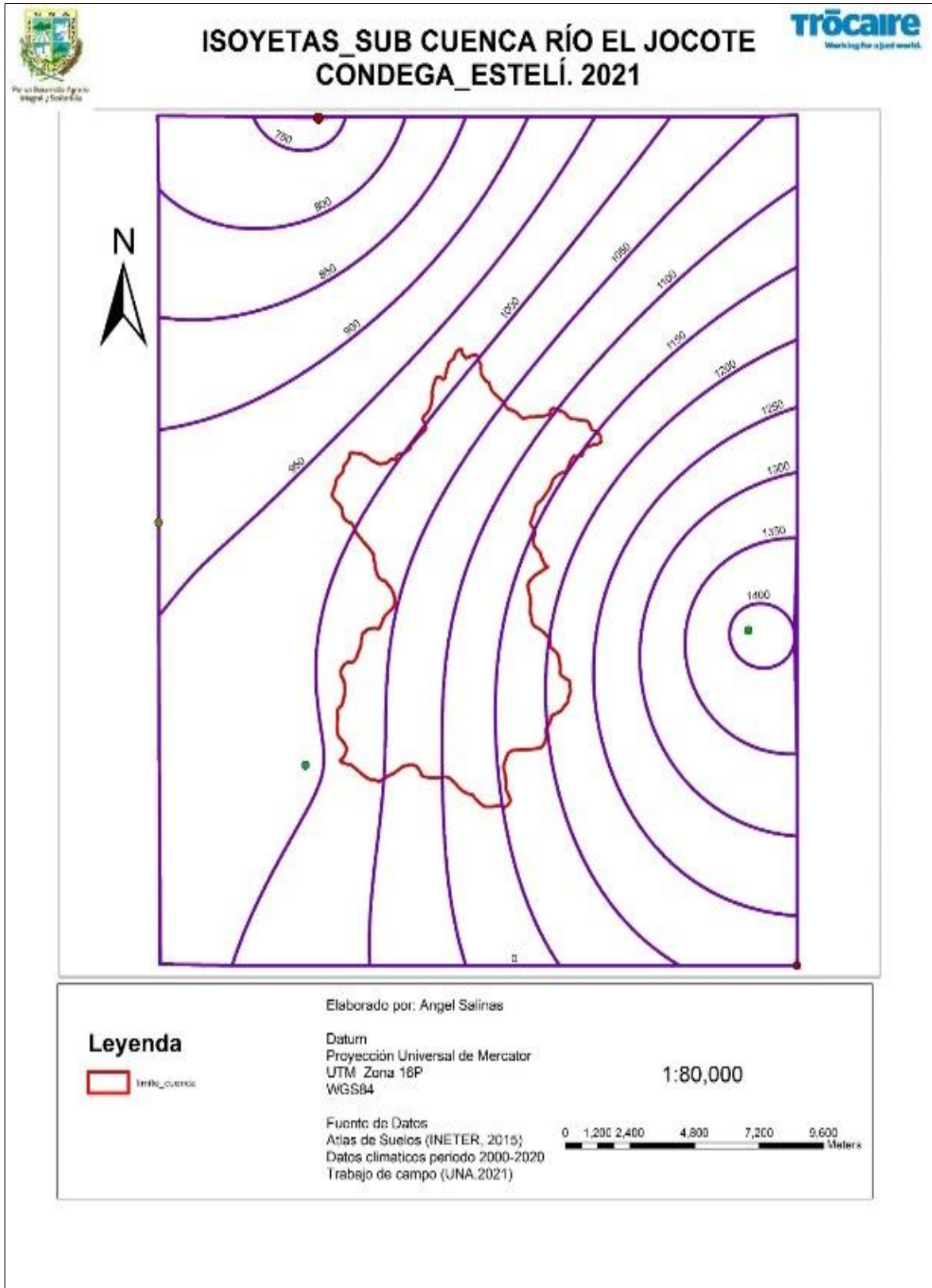
### Anexo 3. Pruebas de infiltración



### Anexo 4. Precipitaciones medias mensuales del periodo 2000-2020

Meses	ESTACIONES						%
	santa leonor (mm)	San Sebastian de Yali (mm)	El Guanacaste (mm)	Condega (mm)	La Concordia (mm)	Promedio (mm)	
<b>Ene</b>	13.15	62.00	13.73	8.32	11.72	21.78	2.06
<b>Feb</b>	7.61	33.70	7.30	8.25	5.08	12.39	1.17
<b>Mar</b>	6.55	15.91	3.45	7.57	7.83	8.26	0.78
<b>Abr</b>	14.12	32.44	14.89	26.66	33.08	24.24	2.29
<b>May</b>	86.40	157.59	138.93	145.49	165.06	138.70	13.11
<b>Junio</b>	107.47	214.93	156.49	148.00	210.03	167.39	15.82
<b>Jul</b>	88.42	161.86	97.26	89.92	110.32	109.56	10.36
<b>Ago</b>	97.04	171.57	118.71	99.77	148.98	127.21	12.02
<b>Sep</b>	107.68	194.86	168.79	156.52	241.21	173.81	16.43
<b>Oct</b>	125.50	208.42	197.21	185.68	220.56	187.47	17.72
<b>Nov</b>	53.86	105.78	51.48	43.49	53.87	61.70	5.83
<b>Dic</b>	19.75	62.07	17.51	16.98	10.77	25.42	2.40
<b>Suma</b>	<b>727.54</b>	<b>1421.14</b>	<b>985.76</b>	<b>936.66</b>	<b>1218.51</b>	<b>1057.92</b>	<b>100.00</b>

Anexo 5. Mapa de curvas Isoyetas para la microcuenca del río El Jocote



Anexo 6. Precipitaciones medias mensuales a partir de las curvas Isoyetas

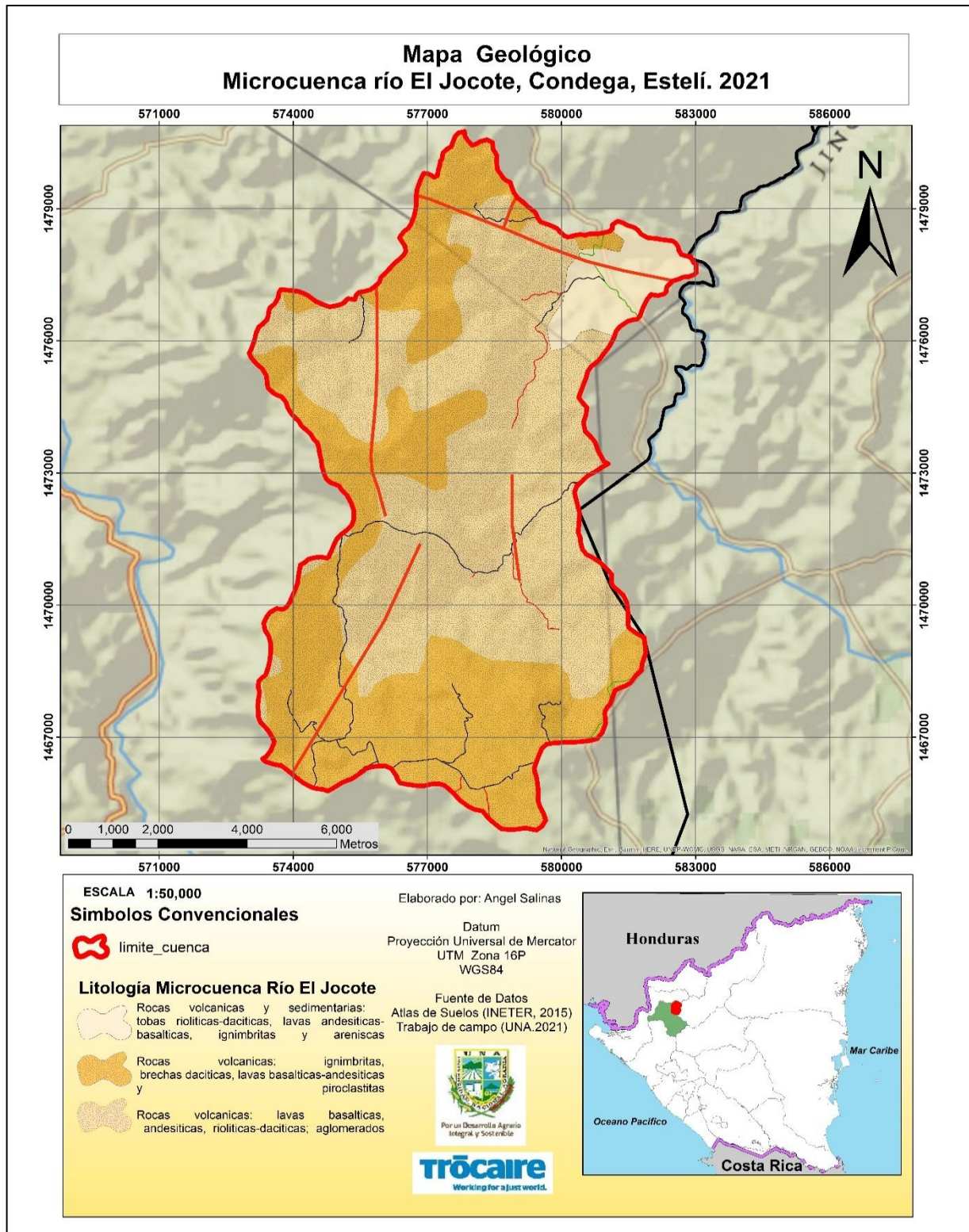
ID	Aj km2	Pj mm	P mm
A1	1.55	1225.00	20.67
A2	10.68	1175.00	136.60
A3	25.10	1125.00	307.35
A4	26.60	1075.00	311.26
A5	23.19	1025.00	258.74
A6	4.75	975.00	50.41
<b>SUMA</b>	<b>91.87</b>		<b>1085.02</b>

Precipitaciones mensuales (mm)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
22.34	12.71	8.47	24.86	142.25	171.67	112.36	130.47	178.26	192.28	63.28	26.07	1085.02

Anexo 7. Evapotranspiración de la microcuenca, periodo 2000-2020

Cálculo de ETP por fórmula de Hargreaves Simplificada						Estación Condega				
Mes	Promedios Mensuales Temperatura				Radiación Extraterr.		Evapotransp. Potencial			
	Temp Mx. °C	Temp Med °C	Temp Min °C	$(T_{Mx}-T_{Min})^{0.5}$	RO (MJ/m <sup>2</sup> /d <sup>1</sup> )	RO (mm/d)	ETP diario (mm/d)	Días mes	ETP mens. (mm/mes)	
Ene	29.07	23.09	18.15	3.30	31.4	12.81	4.0	31	123.4	
Feb	30.53	24.16	18.81	3.42	34.2	13.93	4.6	28	128.8	
Mar	32.15	25.51	19.57	3.55	36.7	14.97	5.3	31	163.9	
Abr	33.87	27.07	21.12	3.57	38.0	15.48	5.7	30	171.1	
May	32.8	26.56	21.78	3.32	37.8	15.42	5.2	31	161.9	
Jun	30.74	24.9	21.07	3.11	37.3	15.22	4.6	30	139.4	
Jul	30.43	24.6	20.67	3.12	37.4	15.24	4.6	31	143.9	
Ago	31.44	24.94	20.56	3.30	37.7	15.36	5.0	31	154.3	
Set	31.49	24.76	20.35	3.34	37.0	15.10	4.9	30	147.9	
Oct	30.24	24.13	20.11	3.18	34.8	14.20	4.4	31	135.0	
Nov	29.21	23.29	18.69	3.24	32.0	13.04	4.0	30	119.8	
Dic	29.07	23.04	18.09	3.31	30.5	12.44	3.9	31	120.0	
Anual	30.92	24.7	19.92				<b>TOTAL</b>		<b>1709.4</b>	

Anexo 8. Características Geológicas relacionada con la recarga hídrica



Anexo 9. Balances Hídricos del suelo de la microcuenca río El Jocote, Condega, Estelí

BALANCE HIDRICO DE SUELO															
Zona de estudio		Plan de gramma													
uso del suelo		Café													
Textura del suelo		Arcilloso													
Fc (mm/día)		<b>172</b>			%	mm									Datos de precipitación :
Kp		<b>0.10 cuadro 1</b>	CC	<b>40</b>	<b>400</b>	<b>Ecuación 8 y 9</b>									Período:
Kv		<b>0.10 cuadro 1</b>	PMP	<b>23</b>	<b>230</b>	<b>Ecuación 8 y 9</b>									
Kfc		<b>0.63 Ec.2</b>	CC-PMP	<b>17</b>	<b>170</b>										
C		<b>0.83 Ec.3</b>													
DA(gr/m <sup>3</sup> )		<b>1.25</b>													
Prof radicular(mm)		<b>800</b>													
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar	<b>400</b>													
Coefficiente de retención(Cfo)	Bosque	<b>0.20</b>													
	Otra cobertura	<b>0.12</b>													
Mes de inicio		<b>Septiembre</b>													
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	% P
P (mm)		22	13	8	25	142	172	112	130	178	192	63	26	1085	
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	17	21	13	16	21	23	8	5	144	
C	Ec.3	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83		
Pi(mm)	Ec.4	14	6	3	16	103	125	82	95	130	140	46	17	777	71.61
Esc(mm)	Ec.5	3	1	1	3	22	26	17	20	27	30	10	4	164	
ETP(mm)	Ec.7	123	129	164	171	162	139	144	154	148	135	120	120	1709	
HSi(mm)	Ec.16	367	382	388	391	322	344	399	380	400	400	400	386		
C1	Ec.10	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
ETPR(mm)	Ec.12	0	0	0	86	81	70	101	77	74	135	60	36	719	
HD(mm)	Ec.13	152	158	161	177	195	239	251	245	300	310	216	173		
ETR(mm)	Ec.14	0	0	0	86	81	70	101	77	74	135	60	36	719	66.26
HF <sub>s</sub> (mm)	Ec.15	382	388	391	322	344	399	380	398	400	400	386	367		
<b>Rp(mm)</b>	<b>Ec.17</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>56</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>60.22</b>	<b>6</b>
DCC(mm)	<b>Ec.18</b>	18	12	9	78	56	1	20	2	0	0	14	33		
NR(mm)	<b>Ec.19</b>	142	141	173	164	137	70	63	79	74	0	74	117		

BALANCE HIDRICO DE SUELO															
Zona de estudio		Plan de gramma													
uso del suelo		Pasto													
Textura del suelo		Franco Arcilloso													
Fc (mm/día)		255		%	mm									Datos de precipitación :	
Kp		0.06	cuadro 1	CC	40	500	Ecuación 8 y 9							Período:	
Kv		0.09	cuadro 1	PMP	23	288	Ecuación 8 y 9								
Kfc		0.72	Ec.2	CC-PMP	17	213									
C		0.87	Ec.3												
DA(gr/m <sup>3</sup> )		1.25													
Prof radicular(mm)		1000													
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar					500									
Coefficiente de retención(Cfo)	Bosque					0.20									
	Otra cobertura					0.12									
Mes de inicio			Septiembre												
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	% P
P (mm)		22	13	8	25	142	172	112	130	178	192	63	26	1085	
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	17	21	13	16	21	23	8	5	144	
C	Ec.3	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87		
Pi(mm)	Ec.4	15	7	3	17	109	131	86	100	136	147	48	18	816	75.21
Esc(mm)	Ec.5	2	1	0	3	17	20	13	15	21	23	7	3	125	
ETP(mm)	Ec.7	123	129	164	171	162	139	144	154	148	135	120	120	1709	
HSi(mm)	Ec.16	471	486	492	495	427	455	500	485	500	500	500	488		
C1	Ec.10	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
ETPR(mm)	Ec.12	0	0	0	86	81	70	101	77	74	135	60	36	719	
HD(mm)	Ec.13	198	205	208	225	248	298	298	297	349	359	261	219		
ETR(mm)	Ec.14	0	0	0	86	81	70	101	77	74	135	60	36	719	66.26
HF <sub>s</sub> (mm)	Ec.15	486	492	495	427	455	500	485	500	500	500	488	471		
Rp(mm)	Ec.17	0	0	0	0	0	16	0	7	62	12	0	0	97.08	9
DCC(mm)	Ec.18	14	8	5	73	45	0	15	0	0	0	12	29		
NR(mm)	Ec.19	138	136	169	159	126	70	58	77	74	0	72	113		



BALANCE HIDRICO DE SUELO															
Zona de estudio		Plan de gramma													
uso del suelo		Cultivo de frijol													
Textura del suelo		Arcilloso													
Fc (mm/día)		385		%	mm										Datos de precipitación :
Kp		0.06 cuadro 1	CC	40	300	Ecuación 8 y 9									Periodo:
Kv		0.10 cuadro 1	PMP	23	173	Ecuación 8 y 9									
Kfc		0.81 Ec.2	CC-PMP	17	128										
C		0.967 Ec.3													
DA(gr/m <sup>3</sup> )		1.25													
Prof radicular(mm)		600													
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar		300												
Coefficiente de retención(Cfo)	Bosque		0.20												
	Otra cobertura		0.12												
Mes de inicio			Septiembre												
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	% P
P (mm)		22	13	8	25	142	172	112	130	178	192	63	26	1085	
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	17	21	13	16	21	23	8	5	144	
C	Ec.3	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81		
Pi(mm)	Ec.4	14	6	3	16	101	122	80	93	127	137	45	17	760	70.03
Esc(mm)	Ec.5	3	1	1	4	24	29	19	22	30	33	11	4	181	
ETP(mm)	Ec.7	123	129	164	171	162	139	144	154	148	135	120	120	1709	
HSi(mm)	Ec.16	266	280	286	289	220	240	292	271	300	300	300	285	3329	
C1	Ec.10	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
ETPR(mm)	Ec.12	0	0	0	86	81	70	101	77	74	135	60	36	719	
HD(mm)	Ec.13	108	114	117	133	148	189	199	191	254	264	172	130		
ETR(mm)	Ec.14	0	0	0	86	81	70	101	77	74	135	60	36	719	66.26
HF <sub>s</sub> (mm)	EC.15	280	286	289	220	240	292	271	287	300	300	285	266		
Rp(mm)	Ec.17	0	0	0	0	0	0	0	0	53	2	0	0	54.26	5
DCC(mm)	Ec.18	20	14	11	80	60	8	29	13	0	0	15	34		
NR(mm)	Ec.19	143	143	175	166	141	78	72	91	74	0	75	118		

BALANCE HIDRICO DE SUELO															
Zona de estudio		Plan de gramma													
uso del suelo		Bosque ripario													
Textura del suelo		Franco Arcilloso													
Fc (mm/día)		227				%	mm								Datos de precipitación :
Kp		0.10	cuadro 1	CC	40	1000	Ecuación 8 y 9								Periodo:
Kv		0.20	cuadro 1	PMP	23	575	Ecuación 8 y 9								
Kfc		0.69	Ec.2	CC-PMP	17	425									
C		0.990	Ec.3												
DA(gr/m <sup>3</sup> )		1.25													
Prof radicular(mm)		2000													
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar	1000													
Coefficiente de retención(Cfo)	Bosque	0.20													
	Otra cobertura	0.12													
Mes de inicio		Septiembre													
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	% P
P (mm)		22	13	8	25	142	172	112	130	178	192	63	26	1085	
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	28	34	22	26	36	38	13	5	223	
C	Ec.3	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99		
Pi(mm)	Ec.4	17	8	3	20	113	136	89	103	141	152	50	21	853	78.65
Esc(mm)	Ec.5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	0	0	8	
ETP(mm)	Ec.7	123	129	164	171	162	139	144	154	148	135	120	120	1709	
HSi(mm)	Ec.16	975	992	1000	921	941	973	1000	988	1000	1000	1000	990	11780	
C1	Ec.10	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1		
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
ETPR(mm)	Ec.12	0	0	82	0	81	70	101	77	74	135	60	36	715	
HD(mm)	Ec.13	417	425	428	366	479	534	514	517	566	577	475	436		
ETR(mm)	Ec.14	0	0	82	0	81	70	101	77	74	135	60	36	715	65.93
HF <sub>s</sub> (mm)	Ec.15	992	1000	921	941	973	1000	988	1000	1000	1000	990	975		
Rp(mm)	Ec.17	0	0	0	0	0	39	0	15	67	17	0	0	137.98	13
DCC(mm)	Ec.18	8	0	79	59	27	0	12	0	0	0	10	25		
NR(mm)	Ec.19	131	129	161	230	108	70	55	77	74	0	70	109		

BALANCE HIDRICO DE SUELO															
Zona de estudio	El jocote arriba														
uso del suelo	café asociado con forestal														
Textura del suelo	Arcilloso														
Fc (mm/día)	535			%	mm		Datos de precipitación :								
Kp	0.15	cuadro 1	CC	40	750	Ecuación 8 y 9									Período:
Kv	0.10	cuadro 1	PMP	23	431	Ecuación 8 y 9									
Kfc	0.87	Ec.2	CC-PMP	17	319										
C	1	Ec.3													
DA(gr/m <sup>3</sup> )	1.25														
Prof radicular(mm)	1500														
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar	750													
Coeficiente de retención(Cfo)	Bosque	0.20													
	Otra cobertura	0.12													
Mes de inicio	Septiembre														
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	% P
P (mm)		22	13	8	25	142	172	112	130	178	192	63	26	1085	
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	28	34	22	26	36	38	13	5	223	
C	Ec.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Pi(mm)	Ec.4	23	8	3	20	114	137	90	104	143	154	51	21	867	79.94
Esc(mm)	Ec.5	-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-6	
ETP(mm)	Ec.7	123	129	164	171	162	139	144	154	148	135	120	120	1709	
HSi(mm)	Ec.16	726	749	692	695	715	748	750	739	750	750	750	741	8805	
C1	Ec.10	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1		
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
ETPR(mm)	Ec.12	0	64	0	0	81	70	101	77	74	135	60	36	698	
HD(mm)	Ec.13	317	325	264	284	398	454	409	412	461	473	369	330		
ETR(mm)	Ec.14	0	64	0	0	81	70	101	77	74	135	60	36	698	64.31
HF <sub>s</sub> (mm)	Ec.15	749	692	695	715	748	750	739	750	750	750	741	726		
R <sub>p</sub> (mm)	Ec.17	0	0	0	0	0	66	0	16	69	19	0	0	169.59	16
DCC(mm)	Ec.18	1	58	55	35	2	0	11	0	0	0	9	24		
NR(mm)	Ec.19	125	123	219	206	83	70	54	77	74	0	69	108		

BALANCE HIDRICO DE SUELO															
Zona de estudio	El jocote arriba														
uso del suelo	Pasto														
Textura del suelo	Arcilloso														
Fc (mm/día)	920				%	mm		Datos de precipitación :							
Kp	0.15	cuadro 1	CC	40	500	Ecuación 8 y 9		Período:							
Kv	0.21	cuadro 1	PMP	23	288	Ecuación 8 y 9									
Kfc	0.96	Ec.2	CC-PMP	17	213										
C	1	Ec.3													
DA(gr/m <sup>3</sup> )	1.25														
Prof radicular(mm)	1000														
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar		500												
Coeficiente de retención(Cfo)	Bosque		0.20												
	Otra cobertura		0.12												
Mes de inicio	Septiembre														
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	% P
P (mm)		22	13	8	25	142	172	112	130	178	192	63	26	1085	
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	17	21	13	16	21	23	8	5	144	
C	Ec.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Pi(mm)	Ec.4	17	8	3	20	125	151	99	115	157	169	56	21	941	86.74
Esc(mm)	Ec.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ETP(mm)	Ec.7	123	129	164	171	162	139	144	154	148	135	120	120	1709	
HSi(mm)	Ec.16	481	498	441	445	465	500	500	498	500	500	500	496	5824	
C1	Ec.10	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1		
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0		
ETPR(mm)	Ec.12	0	64	0	0	81	139	101	77	148	135	60	36	841	
HD(mm)	Ec.13	211	218	157	177	302	364	311	325	369	382	268	229		
ETR(mm)	Ec.14	0	64	0	0	81	139	101	77	148	135	60	36	841	77.55
HF <sub>s</sub> (mm)	Ec.15	498	441	445	465	500	500	498	500	500	500	496	481		
Rp(mm)	Ec.17	0	0	0	0	9	12	0	36	9	34	0	0	99.74	9
DCC(mm)	Ec.18	2	59	55	35	0	0	2	0	0	0	4	19		
NR(mm)	Ec.19	125	123	219	206	81	0	45	77	0	0	64	103		

BALANCE HIDRICO DE SUELO															
Zona de estudio	El jocote arriba														
uso del suelo	Frijol														
Textura del suelo	Franco arcilloso														
Fc (mm/día)		471			%	mm									Datos de precipitación :
Kp		0.06	cuadro 1	CC	40	300	Ecuación 8 y 9								Período:
Kv		0.10	cuadro 1	PMP	23	173	Ecuación 8 y 9								
Kfc		0.85	Ec.2	CC-PMP	17	128									
C		1.0	Ec.3												
DA(gr/m <sup>3</sup> )		1.25													
Prof radicular(mm)		600													
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar					300									
Coeficiente de retención(Cfo)	Bosque					0.20									
	Otra cobertura					0.12									
Mes de inicio			Septiembre												
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	% P
P (mm)		22	13	8	25	142	172	112	130	178	192	63	26	1085	
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	17	21	13	16	21	23	8	5	144	
C	Ec.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Pi(mm)	Ec.4	23	9	4	20	125	151	99	115	157	169	56	21	948	87.40
Esc(mm)	Ec.5	-6	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-7	
ETP(mm)	Ec.7	123	129	164	171	162	139	144	154	148	135	120	120	1709	
HSi(mm)	Ec.16	281	242	251	255	275	300	300	298	300	300	300	296	3397	
C1	Ec.10	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1		
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0		
ETPR(mm)	Ec.12	62	0	0	0	81	139	101	77	148	135	60	36	839	
HD(mm)	Ec.13	131	79	82	102	227	279	226	240	284	297	183	144		
ETR(mm)	Ec.14	62	0	0	0	81	139	101	77	148	135	60	36	839	77.30
HF <sub>s</sub> (mm)	Ec.15	242	251	255	275	300	300	298	300	300	300	296	281		
R <sub>p</sub> (mm)	Ec.17	0	0	0	0	19	12	0	36	9	34	0	0	109.60	10
DCC(mm)	Ec.18	58	49	45	25	0	0	2	0	0	0	4	19		
NR(mm)	Ec.19	120	178	209	196	81	0	45	77	0	0	64	103		

BALANCE HIDRICO DE SUELO															
Zona de estudio		El Gilguero													
uso del suelo		Bosque ripario													
Textura del suelo		Franco arcilloso													
Fc (mm/día)		558			%	mm				Datos de precipitación :					
Kp		0.06	cuadro 1	CC	42	1050	Ecuación 8 y 9			Período:					
Kv		0.20	cuadro 1	PMP	27	675	Ecuación 8 y 9								
Kfc		0.88	Ec.2	CC-PMP	15	375									
C		1.000	Ec.3												
DA(gr/m <sup>3</sup> )		1.25													
Prof radicular(mm)		2000													
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar	1050													
Coeficiente de retención(Cfo)	Bosque	0.20													
	Otra cobertura	0.12													
Mes de inicio		Septiembre													
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	% P
P (mm)		22	13	8	25	142	172	112	130	178	192	63	26	1085	
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	28	34	22	26	36	38	13	5	223	
C	Ec.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Pi(mm)	Ec.4	17	8	3	20	114	137	90	104	143	154	51	21	862	79.42
Esc(mm)	Ec.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ETP(mm)	Ec.7	123	129	164	171	162	139	144	154	148	135	120	120	1709	
HSi(mm)	Ec.16	1026	1043	986	990	1010	1042	1050	1039	1050	1050	1050	1041	12376	
C1	Ec.10	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1		
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
ETPR(mm)	Ec.12	0	64	0	0	81	70	101	77	74	135	60	36	698	
HD(mm)	Ec.13	368	376	315	335	448	505	465	469	518	529	426	387		
ETR(mm)	Ec.14	0	64	0	0	81	70	101	77	74	135	60	36	698	64.31
HFs(mm)	Ec.15	1043	986	990	1010	1042	1050	1039	1050	1050	1050	1041	1026		
Rp(mm)	Ec.17	0	0	0	0	0	60	0	16	69	19	0	0	163.94	15
DCC(mm)	Ec.18	7	64	60	40	8	0	11	0	0	0	9	24		
NR(mm)	Ec.19	130	128	224	212	88	70	54	77	74	0	69	108		

BALANCE HIDRICO DE SUELO															
Zona de estudio		El Gilguero arriba													
uso del suelo		Pasto													
Textura del suelo		Franco arcilloso													
Fc (mm/día)		339			%	mm									Datos de precipitación :
Kp		0.10	cuadro 1	CC	42	525	Ecuación 8 y 9								Período:
Kv		0.09	cuadro 1	PMP	27	338	Ecuación 8 y 9								
Kfc		0.78	Ec.2	CC-PMP	15	188									
C		1	Ec.3												
DA(gr/m <sup>3</sup> )		1.25													
Prof radicular(mm)		1000													
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar			525											
Coeficiente de retención(Cfo)	Bosque			0.20											
	Otra cobertura			0.12											
Mes de inicio			Septiembre												
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	% P
P (mm)		22	13	8	25	142	172	112	130	178	192	63	26	1085	
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	28	34	22	26	36	38	13	5	223	
C	Ec.3	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97		
Pi(mm)	Ec.4	17	7	3	19	110	133	87	101	138	149	49	20	836	77.08
Esc(mm)	Ec.5	1	0	0	1	3	4	3	3	4	5	1	1	25	
ETP(mm)	Ec.7	123	129	164	171	162	139	144	154	148	135	120	120	1709	
HSi(mm)	Ec.16	498	515	523	444	463	493	525	512	525	525	525	514	6063	
C1	Ec.10	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1		
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
ETPR(mm)	Ec.12	0	0	82	0	81	70	101	77	74	135	60	36	715	
HD(mm)	Ec.13	178	185	189	126	236	289	275	275	326	337	237	197		
ETR(mm)	Ec.14	0	0	82	0	81	70	101	77	74	135	60	36	715	65.93
HF <sub>s</sub> (mm)	EC.15	515	523	444	463	493	525	512	525	525	525	514	498		
Rp(mm)	Ec.17	0	0	0	0	0	32	0	11	64	14	0	0	121.06	11
DCC(mm)	Ec.18	10	2	81	62	32	0	13	0	0	0	11	27		
NR(mm)	Ec.19	133	131	163	233	113	70	57	77	74	0	71	111		

BALANCE HIDRICO DE SUELO															
Zona de estudio		La Laguneta													
uso del suelo		Pasto													
Textura del suelo		Arcilloso													
Fc (mm/día)		293			%	mm									Datos de precipitación :
Kp		0.06 cuadro 1	CC	42	525	Ecuación 8 y 9									Período:
Kv		0.09 cuadro 1	PMP	27	338	Ecuación 8 y 9									
Kfc		0.75 Ec.2	CC-PMP	15	188										
C		0.90 Ec.3													
DA(gr/m <sup>3</sup> )		1.25													
Prof radicular(mm)		1000													
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar		525												
Coefficiente de retención(Cfo)	Bosque		0.20												
	Otra cobertura		0.12												
Mes de inicio			Septiembre												
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	% P
P (mm)		22	13	8	25	142	172	112	130	178	192	63	26	1085	
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	17	21	13	16	21	23	8	5	144	
C	Ec.3	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90		
Pi(mm)	Ec.4	16	7	3	18	112	136	89	103	141	152	50	19	846	77.94
Esc(mm)	Ec.5	2	1	0	2	13	15	10	12	16	17	6	2	95	
ETP(mm)	Ec.7	123	129	164	171	162	139	144	154	148	135	120	120	1709	
HSi(mm)	Ec.16	498	514	521	524	456	488	525	513	525	525	525	515	6128	
C1	Ec.10	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		
ETPR(mm)	Ec.12	0	0	0	86	81	70	101	77	74	135	60	36	719	
HD(mm)	Ec.13	176	183	186	204	231	286	276	279	328	340	238	197		
ETR(mm)	Ec.14	0	0	0	86	81	70	101	77	74	135	60	36	719	66.26
HFs(mm)	Ec.15	514	521	524	456	488	525	513	525	525	525	515	498		
Rp(mm)	Ec.17	0	0	0	0	0	29	0	14	67	17	0	0	126.78	12
DCC(mm)	Ec.18	11	4	1	69	37	0	12	0	0	0	10	27		
NR(mm)	Ec.19	135	133	165	155	118	70	55	77	74	0	70	111		



BALANCE HIDRICO DE SUELO																
Zona de estudio	Los Corralitos															
uso del suelo	Bosque ripario															
Textura del suelo	Franco Arcilloso															
Fc (mm/día)	690															Datos de precipitación :
Kp	0.06	cuadro 1	CC	42	1050	Ecuación 8 y 9										Período:
Kv	0.20	cuadro 1	PMP	27	675	Ecuación 8 y 9										
Kfc	0.92	Ec.2	CC-PMP	15	375											
C	1.000	Ec.3														
DA(gr/m <sup>3</sup> )	1.25															
Prof radicular(mm)	2000															
Hsi(mm)	Valor CC al iniciar	1050														
Coefficiente de retención(Cfo)	Bosque	0.20														
	Otra cobertura	0.12														
Mes de inicio	Septiembre															
Variables	Ecuación	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	% P	
P (mm)		22	13	8	25	142	172	112	130	178	192	63	26	1085		
Ret(mm)	Ec.1	5	5	5	5	28	34	22	26	36	38	13	5	223		
C	Ec.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Pi(mm)	Ec.4	17	8	3	20	114	137	90	104	143	154	51	21	862	79.42	
Esc(mm)	Ec.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
ETP(mm)	Ec.7	123	129	164	171	162	139	144	154	148	135	120	120	1709		
HSi(mm)	Ec.16	1026	1043	986	990	1010	1042	1050	1039	1050	1050	1050	1041	12376		
C1	Ec.10	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1			
C2	Ec.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0			
ETPR(mm)	Ec.12	0	64	0	0	81	70	101	77	74	135	60	36	698		
HD(mm)	Ec.13	368	376	315	335	448	505	465	469	518	529	426	387			
ETR(mm)	Ec.14	0	64	0	0	81	70	101	77	74	135	60	36	698	64.31	
HF <sub>s</sub> (mm)	Ec.15	1043	986	990	1010	1042	1050	1039	1050	1050	1050	1041	1026			
Rp(mm)	Ec.17	0	0	0	0	0	60	0	16	69	19	0	0	163.94	15	
DCC(mm)	Ec.18	7	64	60	40	8	0	11	0	0	0	9	24			
NR(mm)	Ec.19	130	128	224	212	88	70	54	77	74	0	69	108			

Anexo 11. Muestreo de calidad de agua, microcuenca del río El Jocote



Anexo 10. Usos del suelo en la microcuenca río El Jocote, municipio de Condega

