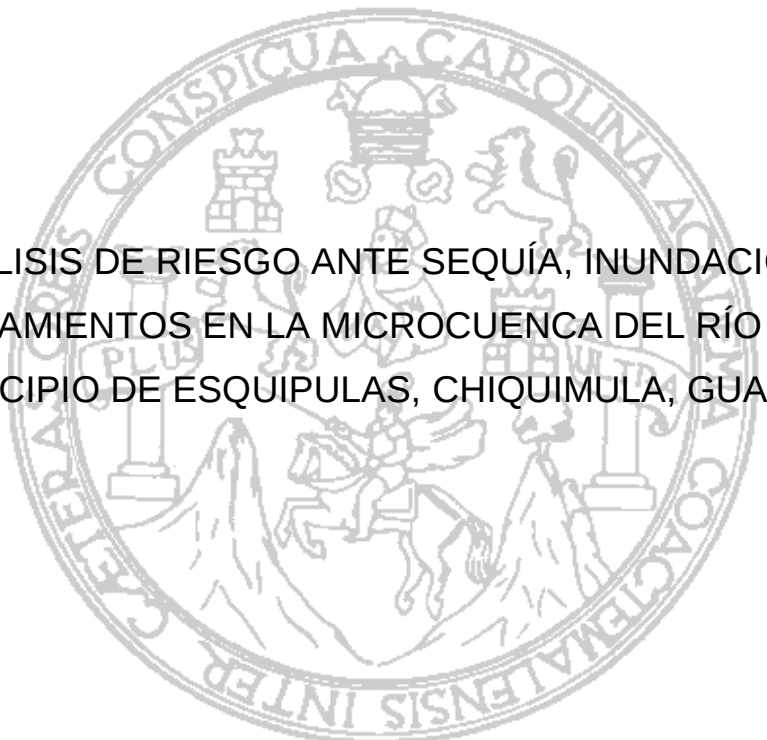


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL



ANÁLISIS DE RIESGO ANTE SEQUÍA, INUNDACIONES Y
DESLIZAMIENTOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ATULAPA,
MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, CHIQUIMULA, GUATEMALA

ELSA MARÍA PONCE HERNÁNDEZ

CHIQUIMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE 2019.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

ANÁLISIS DE RIESGO ANTE SEQUÍA, INUNDACIONES Y
DESLIZAMIENTOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ATULAPA,
MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, CHIQUIMULA, GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Sometido a consideración del Honorable Consejo Directivo

Por

ELSA MARÍA PONCE HERNÁNDEA

Al conferírsele el título de

INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

En el grado académico de

LICENCIADA

CHIQUMULA, GUATEMALA, NOVIEMBRE 2019.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**



RECTOR
M.Sc. Ing. MURPHY OLYMPO PAIZ RECINOS

CONSEJO DIRECTIVO

Presidente:	Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
Representante de Profesores:	M.Sc. Mario Roberto Díaz Moscoso
Representante de Profesores:	M.Sc. Gildardo Guadalupe Arriola Mairén
Representante de Graduados:	Inga. Evelin Dee Dee Sumalé Arenas
Representante de Estudiantes:	A.T. Estefany Rosibel Cerna Aceituno
Representante de Estudiantes:	P.C. Elder Alberto Masters Cerritos
Secretaria:	Licda. Marjorie Azucena González Cardona

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Coordinador Académico:	M. A. Edwin Rolando Rivera Roque
Coordinador de Carrera:	M. A. Marlon Alcides Valdez Velásquez

ORGANISMO COORDINADOR DE TRABAJOS DE GRADUACIÓN

Presidente:	M.Sc. David Horacio Estrada Jeréz
Secretario:	Inga. Agr. Magda Irene Medrano Guerra
Vocal:	M.Sc. José Ramiro García Álvarez

TERNA EVALUADORA

M.Sc. Fredy Samuel Coronado López
M.Sc. Dayryn Estéfany Girón Girón
Ing. Leonel Leytán Aguilar

Guatemala, octubre de 2019

Señores:

Consejo Directivo

Centro Universitario de Oriente

Ciudad de Chiquimula

Honorables Miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado **"ANÁLISIS DE RIESGO ANTE SEQUÍA, INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ATULAPA, MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, CHIQUIMULA, GUATEMALA"**, como requisito previo a optar el título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que en el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Elsa María Ponce Hernández

Chiquimula, 15 de octubre de 2019.

Ing. Edwin Filiberto Coy Cordón
Director CUNORI
Chiquimula, Ciudad

Respetable Ingeniero Coy:

En atención a la designación efectuada por el Programa de Trabajos de Graduación de la Carrera de Gestión Ambiental Local, para asesorar a la estudiante **ELSA MARÍA PONCE HERNÁNDEZ** en el trabajo de investigación denominado **"ANÁLISIS DE RIESGO ANTE SEQUÍA, INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ATULAPA, MUNICIPIO DE ESQUIPULAS, CHIQUIMULA, GUATEMALA"**, tenemos el agrado de dirigirme a usted, para informarle que se ha procedido a asesorar y orientar a la sustentante, sobre el contenido de dicho trabajo.

En nuestra opinión, el trabajo presentado reúne los requisitos exigidos por las normas pertinentes; razón por la cual, recomendamos la aprobación del informe final para su discusión en el Examen General Público, previo a optar al título de Ingeniera en Gestión Ambiental Local, en el Grado Académico de Licenciada.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



MSc. José Ramiro García Álvarez
Asesor Principal

EL INFRASCRITO DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, POR ESTE MEDIO HACE CONSTAR QUE: Conoció el Trabajo de Graduación que efectuó la estudiante **ELSA MARÍA PONCE HERNÁNDEZ** titulado **"ANÁLISIS DE RIESGO ANTE SEQUÍA, INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ATULAPA, MUNICIPIO DE ESQUIPULAS"**, trabajo que cuenta con el aval de su Revisor y Coordinador de Trabajos de Graduación, de la carrera de Gestión Ambiental Local. Por tanto, la Dirección del CUNORI con base a las facultades que le otorga las Normas y Reglamentos de Legislación Universitaria **AUTORIZA** que el documento sea publicado como Trabajo de Graduación a Nivel de Licenciatura, previo a obtener el título de **INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**.

Se extiende la presente en la ciudad de Chiquimula, a trece de noviembre de dos mil diecinueve.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. Agr. Edwin Filiberto Coy Cordón
DIRECTOR
CUNORI - USAC



ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A ti Padre celestial que eres mi guía, mi refugio y fortaleza, a ti que iluminaste mi vida con tu gracia y misericordia y hoy me permites alcanzar una meta más; que este triunfo sea para agradarte y servirte.

A MI PAPI

Luciano Ponce. Por tus enseñanzas de disciplina, dedicación y perseverancia; por enseñarme a creer en mí, por brindarme tu amor incondicional y ser el mejor compañero de vida. Mi razón de ser y motivo de seguir mis sueños, esto es para vos. Te amaré hasta el infinito y más allá.

A MI MAMI

Maribel Hernández. Por estar conmigo siempre y darme su amor y apoyo incondicionalmente, por ser mi motor para seguir adelante y ser mi ejemplo de vida. Mi tesoro más preciado, mi compañía favorita, la amo con todo mi corazón.

A MIS ABUELOS

Elsa Deras y Flavio Ponce. Por confiar en mí y apoyarme siempre, por sus enseñanzas y amor brindado durante toda mi vida. Porque son el regalo de Dios y la luz de mi vida, esto es para ustedes. Los amo mucho.

A MIS HERMANOS

José y Luciano. Por ser mi motivación e inspiración para alcanzar mis metas, por siempre compartir mis alegrías y triunfos y brindarme su amor y apoyo. Porque por ustedes mi moral siempre está

arriba, los amo infinitamente.

A MI SOBRINA

Mía Valentina, porque su vida me ha dado la más grande alegría y por ser mi mayor motivación.

A MI TÍO

Flavio Ponce. Por ser mi segundo papá y entregarme tu amor sin dudarlo, por siempre estar para nosotros, apoyarme en todo y motivarme a seguir creciendo. Te amo chato.

A MIS TÍAS

Gabriela y Uga. Porque a pesar de la distancia su amor y apoyo nunca me falta, porque creen en mí y me inspiran a ser mejor cada día. Las amo.

Brenda Archila, por brindarme su amor y quererme como una hija, por apoyarme siempre y compartir gratos momentos. La quiero mucho.

Rosa y Lilian. Mis ángeles, sé que siempre me acompañan y desde el cielo comparten este triunfo, su amor y apoyo siempre los llevo conmigo.

A MI FAMILIA

Su amor y apoyo me motivan a seguir adelante, son parte importante en mi vida. Gracias por siempre estar para mí y compartir mis alegrías.

A MIS AMIGAS

Ana Lucía Fong y Alejandra Paz. Por siempre apoyarme en las buenas y malas, por motivarme a cumplir todo lo que me proponga y compartir experiencias inolvidables. Las adoro hermanas.

A MIS AMIGOS (AS)

Su compañía hace mi vida especial, gracias por compartir conmigo los mejores momentos de mi vida, por brindarme su amistad sincera y hacerme parte de su vida, por apoyarme siempre y hacerme sentir amada. Edna Paz, Dulce Moreira, José López y Ana Jordán mi amor incondicional para ustedes.

A MIS COMPAÑEROS

Por apoyarme en los momentos de dificultad y por regalarme alegrías inolvidables. Por todas las experiencias, aprendizajes y consejos compartidos durante nuestra formación. Linda Valdez, Sindy Rivera, Coralia Muñoz, Auner Vásquez, Deisy Ramos, Luisa Jiménez, Sindy Chegüen y Andrea Najarro, gracias por regalarme los mejores recuerdos de mi vida universitaria.

A MI ASESOR

M.Sc. Ing. Ramiro García. Por su apoyo y orientación en este proceso.

AGRADECIMIENTOS ESPECIALES

- | | |
|---|--|
| AL CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE | Por darme la oportunidad de adquirir conocimientos para mi formación profesional y enriquecer mi crecimiento personal. |
| A MIS CATEDRÁTICOS | Por transmitir sus conocimientos y enseñanzas, gracias por la paciencia y la dedicación brindada durante mi formación académica. |
| A MIS ASESORES | Ing. Ramiro García e Ing. Edwin Pazos. Gracias por su dedicación y esfuerzo brindado en la investigación, su apoyo hizo posible cumplir este logro. |
| A MIS EVALUADORES | Ing. Fredy Coronado. Inga. Dayryn Girón e Ing. Leonel Leytán por los aportes y sugerencias brindados durante la investigación. |
| A MIS PADRINOS | Ing. Flavio Ponce, Inga. Coralia Muñoz, M.Sc. Ing. Ramiro García. Por el apoyo brindado durante mi formación académica y la realización de la investigación. |
| AL ING. FREDY CORONADO | Por su tiempo y orientación brindada desde el principio y por aportar conocimientos importantes para la investigación. Siempre agradecida, Dios le bendiga. |

A LA LICDA. VILMA RAMOS

Por su paciencia y apoyo brindado durante la realización de los análisis de suelo en el laboratorio Ambiental. Muchas gracias.

AL PLAN TRIFINIO

Especialmente a Ernesto y William Espinoza. Por el acompañamiento y apoyo brindado durante la recolección de muestras de suelo. Siempre agradecida.

A COOSAJO, ESQUIPULAS

En especial al Ing. Quique Villeda por el apoyo brindado durante la realización de la investigación.

**A CORALIA MUÑOZ Y AUNER
VÁSQUEZ**

Por apoyarme durante la investigación, por sus conocimientos compartidos y el tiempo dedicado. Muchas gracias.

**A LA FAMILIA LÓPEZ GARCÍA
Y FAMILIA ORELLANA
CASTAÑEDA**

Por hacerme parte de su familia y apoyarme siempre, por el cariño que me brindan y hacerme sentir en casa, que Dios bendiga sus vidas enormemente, los quiero mucho. En especial a José, por acompañarme en cada proceso y estar siempre para mí, te adoro gordito.

A LOS PRESENTES

Gracias por compartir este logro conmigo, Dios les bendiga.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
4. JUSTIFICACIÓN	7
5. OBJETIVOS	9
5.1. Objetivo general	9
5.2. Objetivos específicos	9
6. MARCO TEÓRICO	10
6.1. Cuenca hidrográfica	10
6.2. Vulnerabilidad	10
6.3. Susceptibilidad	10
6.4. Riesgo	10
6.5. Riesgo de desastres	11
6.6. Desastre	11
6.7. Desastres naturales	11
6.8. Análisis de riesgo	11
6.9. Índice de susceptibilidad a deslizamientos, inundaciones y sequías	12
6.10. Rangos de susceptibilidad	16
6.11. Indicador de vulnerabilidad estructural	17
6.12. Indicador de vulnerabilidad habitacional demográfica	17
7. MARCO REFERENCIAL	18
7.1. Ubicación del área de estudio	18
7.2. Población	18
7.3. Red hidrológica	20
7.4. Hidrografía	20

7.5. Clima	20
7.6. Zonas de vida	21
7.7. Suelos y tierras	21
7.8. Investigaciones relacionadas	23
8. MARCO METODOLÓGICO	27
8.1. Metodología para determinar el índice de susceptibilidad	27
8.2. Metodología para determinar el índice de vulnerabilidad	34
8.3. Análisis de riesgo	41
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
9.1. Determinación del índice de susceptibilidad	48
9.2. Índice de vulnerabilidad estructural de las viviendas	62
9.3. Índice de vulnerabilidad habitacional demográfica para cualquier tipo de evento	67
9.4. Análisis de riesgo normalizado	69
10. CONCLUSIONES	75
11. RECOMENDACIONES	77
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
13. ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Contenido	Página
1	Coordenadas UTM de la microcuenca del río Atulapa.	18
2	Centros poblados y número de habitantes de la microcuenca del río Atulapa.	19
3	Extensión por zona de vida dentro de la microcuenca del río Atulapa, municipio de Esquipulas.	21
4	Serie de suelos y porcentajes de cobertura dentro de la microcuenca del río Atulapa, municipio de Esquipulas.	22
5	Matriz de índice de susceptibilidad según la geología.	29
6	Índice de susceptibilidad según geología, modificado	30
7	Índice de susceptibilidad según rango de pendiente.	30
8	Índice de susceptibilidad por estructura de suelo para cada evento.	30
9	Índice de susceptibilidad según textura de suelo.	31
10	Índice de susceptibilidad según uso del suelo.	31
11	Índice de susceptibilidad por índice de plasticidad para deslizamientos.	31
12	Índice de susceptibilidad por serie de suelos para inundaciones y sequías.	32
13	Índice de susceptibilidad según precipitación.	32
14	Índice de susceptibilidad por rango de precipitación para sequía.	33
15	Rangos de susceptibilidad.	33
16	Rango numérico de vulnerabilidad normalizada.	37
17	Pesos de los componentes estructurales y los materiales para vulnerabilidad estructural de viviendas a inundaciones.	37
18	Pesos de los componentes estructurales y los materiales para vulnerabilidad estructural de viviendas por deslizamientos.	38
19	Pesos de los componentes y características para vulnerabilidad	40

	demográfica habitacional para cualquier evento.	
20	Definición de zonas homogéneas	41
21	Matriz ISDIS para deslizamientos por zona homogénea	43
22	Índice de susceptibilidad a deslizamientos, inundaciones y sequía por zona homogénea	44
23	Índice de vulnerabilidad estructural de viviendas a deslizamientos por zona homogénea	45
24	Matriz de clasificación de riesgo normalizado.	46
25	Rangos de riesgo normalizado.	47
26	Características físicas del suelo en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	49
27	Matriz “ISDIS” de susceptibilidad a deslizamientos en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	50
28	Valores máximos de susceptibilidad a deslizamientos.	51
29	Porcentaje y rango de susceptibilidad a deslizamientos para cada punto muestreado en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	52
30	Rangos de susceptibilidad a deslizamientos según la metodología “ISDIS”.	53
31	Matriz “ISDIS” de susceptibilidad a inundaciones en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	55
32	Valores máximos de susceptibilidad a inundaciones.	55
33	Porcentaje y rango de susceptibilidad a inundaciones para cada punto muestreado, microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	56
34	Matriz “ISDIS” de susceptibilidad a sequía en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	58
35	Valores máximos de susceptibilidad a sequía.	59
36	Porcentaje y rango de susceptibilidad a sequía para cada punto muestreado en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas	60

37	Susceptibilidad a desastres naturales en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas.	62
38	Porcentaje de viviendas con vulnerabilidad estructural a inundaciones en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	64
39	Rango de vulnerabilidad estructural a inundaciones según la metodología propuesta por el Dr. Villagrán (2002).	64
40	Porcentaje de viviendas con vulnerabilidad estructural a deslizamientos en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	66
41	Porcentaje de viviendas con vulnerabilidad demográfica habitacional en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	68
42	Riesgo normalizado para sequía en la microcuenca del río Atulapa.	69
43	Rango de riesgo normalizado para sequía por zona homogénea en la microcuenca del río Atulapa.	70
44	Riesgo normalizado para inundaciones en la microcuenca del río Atulapa.	70
45	Rango de riesgo normalizado para inundaciones por zona homogénea en la microcuenca del río Atulapa.	71
46	Riesgo normalizado para deslizamientos en la microcuenca del río Atulapa.	71
47	Rango de riesgo normalizado para deslizamientos por zona homogénea en la microcuenca del río Atulapa.	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
1	Puntos de muestreo establecidos en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	28
2	Zonas homogéneas de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	42
3	Zonas susceptibles a deslizamientos en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	54
4	Zonas susceptibles a inundaciones en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	57
5	Zonas susceptibles a sequía en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.	61
6	Mapa de riesgo normalizado a sequía en la microcuenca del río Atulapa.	72
7	Mapa de riesgo normalizado a inundaciones en la microcuenca del río Atulapa.	73
8	Mapa de riesgo normalizado a deslizamientos en la microcuenca del río Atulapa.	74

RESUMEN

Los impactos de los fenómenos naturales han generado pérdidas considerables de estructuras habitacionales y vidas humanas, haciendo retroceder el desarrollo social de muchas poblaciones. La vulnerabilidad se hace más evidente en los asentamientos humanos que muchos de los países en Latinoamérica presentan, debido a las condiciones económicas, ambientales y el estilo de vida que estos poseen.

Además de ser un país altamente vulnerable a los fenómenos meteorológicos, Guatemala posee un alto índice de pobreza en la mayor parte de su población, incrementando así el riesgo a sufrir daños o pérdidas por desastres. Aunado a esto, la debilidad que existe en los programas de gestión del riesgo y la incapacidad de respuesta de las instituciones competentes hacen que el país se vea amenazado ante los fenómenos climáticos.

La microcuenca del río Atulapa, ubicada en el municipio de Esquipulas, posee suelos utilizados para la agricultura y también para el asentamiento de poblaciones; en el 2015 la microcuenca poseía 23 poblados con 8,457 viviendas ubicadas en el área de 43.55 km²,.

El área que comprende la microcuenca del río Atulapa se caracteriza por pendientes muy pronunciadas y un relieve irregular particular de las cuencas montañosas, la cobertura forestal ha disminuido considerablemente en los últimos años dejando el suelo susceptible a la erosión y por consiguiente a deslaves por el avance de la frontera agrícola acompañado de la falta de prácticas de conservación de suelo. Los desastres naturales producen pérdidas económicas en infraestructura y la producción agrícola.

El análisis de riesgo en la microcuenca se realizó a través de la estimación de indicadores de vulnerabilidad y susceptibilidad, implementado la metodología de “índice de susceptibilidad a deslizamientos, inundaciones y sequía” (ISDIS) y la metodología para la estimación cuantitativa del riesgo asociado a diversas amenazas.

La estimación del índice de susceptibilidad a deslizamientos, inundaciones y sequía se realizó por medio de la caracterización de las propiedades físicas y químicas de los suelos y las condiciones climáticas de la microcuenca, por lo cual se realizó el muestreo de suelos en 23 puntos en los cuales se definieron las propiedades de: plasticidad, serie de suelos, textura de suelo, uso del suelo, profundidad del suelo, geología, precipitación, estructura del suelo y pendiente, estableciendo un indicador mediante el uso de matrices, las cuales permitieron determinar los rangos de susceptibilidad a partir de la metodología ISDIS.

La vulnerabilidad a deslizamientos e inundaciones se estableció a partir de las características estructurales de las viviendas, tomando una muestra de 96 viviendas en las cuatro aldeas de la microcuenca, donde se obtuvo la información como tipo de piso, techo, paredes y materiales de los que están elaboradas. Para la misma muestra se obtuvo información sobre: sexo del jefe del hogar, edad del jefe del hogar, número de adultos, número de niños y número de ancianos; información que fue utilizada para estimar el índice de vulnerabilidad habitacional demográfica a sequía, asignando un valor según las matrices correspondientes, lo que permitió aplicar la fórmula de vulnerabilidad normalizada y la asignación del rango correspondiente.

El riesgo normalizado a deslizamientos, inundaciones y sequía se obtiene a través de la asignación de los índices de vulnerabilidad y susceptibilidad en las áreas homogéneas según las siguientes características: uso de suelo, zonas de vida, series de suelo, geología, fisiografía y elevación estableciendo 8 áreas homogéneas donde se determinó el riesgo normalizado definido por Villagrán (2002), para obtener el rango de riesgo.

Los resultados muestran que el 82.32% del área presenta una susceptibilidad “Alta” a deslizamientos, el 63.13% una susceptibilidad “Alta” a inundaciones y el 52.20% una susceptibilidad “Muy Alta” a sequías, en la parte media y baja de la microcuenca donde se ubica el 97% de las viviendas.

Con respecto al índice de vulnerabilidad, el 26.05% de las viviendas están construidas con materiales que presenta vulnerabilidad estructural “Alta” a inundaciones siendo las viviendas de Esquipulas las más vulnerables, para deslizamientos el 28.11% de las viviendas presentan un índice de vulnerabilidad estructural “Medio” donde las viviendas de la aldea San Nicolás presentan mayor vulnerabilidad, para el índice de vulnerabilidad habitacional demográfica el 3.12% de las viviendas presentan una vulnerabilidad habitacional “Media”, donde las viviendas de la aldea Atulapa presentaron mayor vulnerabilidad.

Posteriormente, se obtuvo el resultado de riesgo a través de indicadores de susceptibilidad y vulnerabilidad para los eventos deslizamientos, inundaciones y sequía, donde el 100% del área posee un riesgo “Medio” a sequía, el 5.37% de las viviendas presenta un riesgo “Alto” a inundaciones en la parte baja de la microcuenca y el 100% de la microcuenca presenta un riesgo “Medio” a deslizamientos.

Es necesario realizar un análisis de amenazas que permita una mejor perspectiva del riesgo en el área de estudio, también es necesaria la capacitación de los líderes comunitarios, personal técnico de las instituciones y mejorar la infraestructura vial para una adecuada gestión del riesgo en áreas que presentan susceptibilidad “Alta”.

INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de desastres naturales a nivel mundial se ha incrementado considerablemente en los últimos años, debido a alteraciones de los factores climáticos. El cambio climático ha traído consigo una serie de repercusiones para el bienestar social y ambiental, especialmente para los países en desarrollo.

Los impactos de los fenómenos naturales han generado daños considerables a la estructura habitacional y pérdida de vidas humanas, haciendo retroceder el desarrollo en las poblaciones. La vulnerabilidad es más evidente en los asentamientos humanos en los países en Latinoamérica por las condiciones económicas, ambientales y el estilo de vida que poseen.

La Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas – EIRD (2004), considera que todos los años más de 200 millones de personas resultan afectadas por las sequías, inundaciones, ciclones tropicales, terremotos, incendios forestales y otros peligros.

Además de ser un país altamente vulnerable a fenómenos meteorológicos, Guatemala posee un alto índice de pobreza en la mayor parte de su población, incrementando el riesgo a sufrir daños o pérdidas a desastres. Aunado a esto, la debilidad que existe en los programas de gestión del riesgo y la incapacidad de respuesta de las instituciones competentes hacen que el país este amenazado por fenómenos climáticos y los desastres.

El presente estudio tiene como objetivo conocer las condiciones de riesgos que el área de la microcuenca del río Atulapa presenta a deslizamientos, inundaciones y sequía por medio de la estimación de indicadores de vulnerabilidad y susceptibilidad.

El análisis de vulnerabilidad y susceptibilidad se realizó mediante la caracterización de los suelos en donde se determinaron parámetros físicos y químicos para conocer las condiciones del área, además se obtuvo información de las características estructurales y habitacionales de las viviendas en la microcuenca.

El análisis de riesgo se realizó con la metodología de índices de susceptibilidad ante sequía, inundaciones y deslizamientos “ISDIS”, que consiste en matrices estructuradas para la evaluación de diferentes parámetros y características del suelo que influyen al momento de presentarse un desastre; los índices de vulnerabilidad se obtuvieron con la metodología propuesta por Villagrán (2002) en el manual para la estimación cuantitativa de riesgos asociados a diversas amenazas, que consiste en establecer valores de los diferentes componentes estructurales y habitacionales.

Los resultados muestran las matrices formuladas a partir del muestreo y la caracterización de suelos en la microcuenca, porcentajes y rangos obtenidos para los índices de susceptibilidad, índice de vulnerabilidad estructural de viviendas, índice de vulnerabilidad habitacional demográfica y riesgo normalizado por cada evento evaluado (inundación, deslizamiento y sequía), así mismo se presentan mapas temáticos para cada índice de susceptibilidad y de riesgo por zona homogénea en la microcuenca del río Atulapa.

2. ANTECEDENTES

Así como los seres humanos, los fenómenos naturales han existido desde los inicios de la vida en la tierra, fuertes lluvias, erupciones volcánicas, terremotos y un sinnúmero de desastres que han producido cambios tanto en el planeta, como en el estilo de vida de muchas especies, incluyendo la humana. La vulnerabilidad y el riesgo a desastres siempre han estado presentes, pero se ha hecho más común debido a las condiciones de vida que la propia humanidad ha desarrollado y a las condiciones climáticas que cada vez son más intensas y variables.

En Guatemala los desastres naturales se han convertido en “eventos comunes” debido a la variabilidad climática que el país posee, que va desde temperaturas muy bajas, hasta temperaturas altas, regiones muy secas y regiones muy húmedas. Guatemala es considerado uno de los países más vulnerables ante los efectos del cambio climático. Datos del perfil ambiental de Guatemala 2010-2012 indican que los desastres como inundaciones, deslizamientos e incendios se incrementaron considerablemente en el período del 2005-2009 al igual que el aumento de muertes por este tipo de desastres. Más del 10% del territorio del país está amenazado en mayor o menor grado a eventos ambientales como la sequía y esto se acentúa en el corredor seco, Reyes (2015).

En el departamento de Chiquimula, según datos del UNEPAR-UNICEF (2001), los sismos y terremotos son las amenazas que presentan mayor recurrencia en dicho territorio, al igual que los accidentes por grietas, siendo el municipio de Esquipulas el más afectado por estos fenómenos debido a su cercanía a la falla de Jocotán, IARNA-URL (2012).

Una estimación de la erosión por vertiente y cuenca hidrográfica muestra que la cuenca del río Olopa, perteneciente a la cuenca del río Atulapa, es la que reporta una mayor cantidad de suelo erosionado a nivel de todas las cuencas del país, con una cantidad de 104.93 ton/ha/año, en donde la cuenca del río Atulapa aporta una parte de dicha cantidad del suelo. Los procesos erosivos acelerados por la actividad

humana tienen una fuerte implicación en los desastres, especialmente en los derrumbes y deslizamientos, Tobías (2011).

La microcuenca del río Atulapa que se encuentra ubicada en el municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula, se vio afectada en el 2004 por fuertes lluvias que provocaron inundaciones y varios desbordamientos de ríos, causando pérdidas de muchas viviendas cercanas a los cauces. Según datos de la CONRED, el corredor seco del país fue afectado en el 2012 por una fuerte sequía presentando un 50% en pérdidas de cultivos, siendo Esquipulas uno de los afectados, Valdez (2013).

En octubre del 2004 el jefe edil de Esquipulas, Julio Roberto Lima, reportó desborde de una quebrada que provocó fuertes inundaciones que afectaron a diferentes colonias y barrios del territorio municipal, Valdez (2012).

El estudio realizado por la FODECYT sobre los riesgos a desastres en la cuenca del río Atulapa presenta los siguientes resultados: a) por las características de relieve y por la presencia de fuertes pendientes la cuenca presenta un riesgo de deslizamientos medio; b) el riesgo a inundaciones que posee la cuenca es medio, debido a su posición geográfica ya que en el municipio se presentan lluvias de tipo orográficas (duran más tiempo); c) la sequía en la cuenca del río Atulapa presentó un riesgo medio con una tendencia alta debido a las intervenciones antrópicas, Tobías (2011).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los fenómenos climáticos que actualmente se están presentando son cada vez más intensos (temperaturas extremas, lluvias intensas, sequías prolongadas, entre otras), provocando así una serie de desastres naturales que afectan principalmente a los asentamientos poblacionales de escasos recursos ubicados en zonas de alto riesgo, siendo los países en vías de desarrollo los más afectados.

De los diez países que poseen altas cifras de muertes provocadas por desastres naturales, Guatemala está ubicado en el quinto lugar, además se constituye como un país propenso a la ocurrencia de desastres naturales por la incidencia de amenazas meteorológicas; su débil programa de mitigación y prevención a desastres naturales incrementa el riesgo de pérdidas, en infraestructura y vidas humanas, especialmente en las poblaciones más excluidas, IARNA-URL (2012).

La microcuenca del río Atulapa, ubicada en el municipio de Esquipulas, posee grandes extensiones de tierra utilizadas para la agricultura y también el asentamiento de poblaciones; en la actualidad la cuenca posee 23 poblados pertenecientes a cuatro aldeas.

Los suelos que constituyen la microcuenca Atulapa presentan una baja capacidad de infiltración por ser su textura de tipo arcillosa, los cuales son más susceptibles a las erosiones; las pendientes más pronunciadas son de 110% en las partes más altas de la cuenca las cuales tienen un peligro de erosión elevado. La microcuenca se caracteriza también por presentar altas temperaturas, un período con déficit hídrico y la influencia de lluvias intensas provocados por sistemas de baja presión, tormentas y ciclones tropicales que afectan a nivel nacional, Fong (2010).

Según el quinto informe presentado por el IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático), los efectos del cambio climático se están viviendo y tienen una probabilidad bastante alta de incrementar en un futuro, presentando un aumento en

la temperatura, sequías más constantes e inundaciones urbanas impredecibles, por lo que los gobiernos deben de mejorar los sistemas de mitigación y prevención de desastres naturales que son cada vez más probables y que afectarán con mayor intensidad a Latinoamérica por la deficiente capacidad de respuesta y de recuperación que estos poseen, IPCC (2014).

Es por ello, que la investigación sobre el riesgo de zonas con mayor probabilidad a la ocurrencia de deslizamientos, inundaciones y sequías permite crear un sistema de prevención más eficiente y priorizar las zonas que presenta mayor riesgo para ejecutar acciones que permitan contrarrestar los daños que provocan este tipo de desastres.

4. JUSTIFICACIÓN

El cambio climático global se presenta como un riesgo ante la sociedad por las amenazas climáticas que le acompañan, generando así poblaciones más vulnerables. La Unión de Naciones Suramericanas (UNASUR, 2015), considera que la creación de sistemas de adaptación, mitigación y/o prevención, puede convertirse en una herramienta eficaz para disminuir el riesgo que se acrecienta cada vez más.

Guatemala se categoriza como uno de los países más propensos a sufrir daños por la incidencia de fenómenos climatológicos, siendo a la vez un país altamente vulnerable ante esta situación por su mala gestión y ordenamiento territorial, un deterioro ambiental evidente y un alto nivel de pobreza en la mayoría de la población (PubliNews, 2015). La influencia de estos fenómenos se produce en todo el territorio nacional, por lo que muchos de los municipios se ven afectados y están altamente amenazados por esta situación.

El municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula presenta una alta variabilidad en las condiciones climatológicas, que van desde temperaturas muy altas hasta estaciones de lluvias intensas y prolongadas, conocido por poseer diversidad biológica y una extensa área que alberga diferentes zonas de vida (DeGuate, 2017).

La microcuenca del río Atulapa, ubicada en dicho municipio, es considerada una de las más importantes debido a su alto aporte a la recarga hídrica del río Atulapa que es la principal fuente de agua para el municipio de Esquipulas y la cual posee una diversidad climática y un alto valor económico por las extensas tierras utilizadas para la producción de café, que es el principal cultivo de dicho municipio.

El área que comprende el río Atulapa se caracteriza por sus pendientes muy pronunciadas y su relieve irregular particular de una cuenca montañosa, su cobertura forestal ha disminuido considerablemente en los últimos años dejando el suelo susceptible a erosiones y por consiguiente la ocurrencia de deslaves debido al avance de la frontera agrícola y las malas prácticas de conservación de suelo; los

desastres naturales producen pérdidas económicas en infraestructura y la producción agrícola, relacionados siempre a las actividades antrópicas mal planificadas que se establecen en lugares no adecuados (CTPT, 2005).

Las condiciones marginales en las que muchas de las poblaciones del país viven, los obligan a establecerse sobre zonas con condiciones de riesgo que pueden afectar su bienestar habitacional; sin importar el peligro que estas zonas presentan, la riqueza natural que muchas de estas zonas poseen, es la razón principal por la que muchas comunidades habitan este tipo de territorios.

Una de las amenazas a las que está expuesta la microcuenca del río Atulapa son los deslizamientos, eso por sus condiciones físicas y climáticas; del mismo modo existen datos históricos sobre la ocurrencia de inundaciones en la parte aluvial de la cuenca. Esto indica que la microcuenca del río Atulapa es una zona de alto riesgo para el asentamiento de poblaciones, no solo por las condiciones que esta presenta sino también por los fenómenos climáticos que inciden en el territorio.

Conocer las características físicas y climáticas de la microcuenca permitirá una mejor ejecución de los programas de reducción de desastres, por lo que la investigación sobre el riesgo a sequía, inundaciones y deslizamientos servirá para identificar las comunidades más expuestas y las características que la hacen más susceptibles a estos eventos.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Analizar el riesgo ante sequía, deslizamientos e inundaciones en la microcuenca del río Atulapa, municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula.

5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los suelos de la microcuenca del río Atulapa, para determinar la susceptibilidad utilizando la metodología ISDIS.
- Determinar el índice de susceptibilidad a deslizamientos, inundaciones y sequías en la microcuenca del río Atulapa, utilizando de la metodología ISDIS.
- Determinar el índice de vulnerabilidad física estructural de las viviendas ubicadas dentro de la microcuenca del río Atulapa a deslizamientos e inundaciones.
- Determinar el índice de vulnerabilidad demográfica habitacional de las viviendas ubicadas dentro de la microcuenca del río Atulapa.
- .Estimar el riesgo normalizado a deslizamientos, inundaciones y sequía en la microcuenca del río Atulapa.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica o cuenca de drenaje es el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico; una cuenca hidrográfica es delimitada por la línea de las cumbres, también llamada divisoria de aguas. El uso de los recursos naturales se regula administrativamente separando el territorio por cuencas hidrográficas (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2011).

6.2. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es una condición de fragilidad o susceptibilidad construida histórica y socialmente, determinada por factores socioculturales y ambientales, asociados al desarrollo que caracteriza y predispone a un individuo o sociedad a sufrir daños en caso del impacto de un fenómeno natural, amenaza socio-natural o antropogénica afectando su capacidad de recuperación (CONRED, 2015).

6.3. Susceptibilidad

La susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que pueda ocurrir un proceso geológico, Ize, I; Zuk, M. (2010).

6.4. Riesgo

La palabra “riesgo” tiene dos connotaciones distintas: en el lenguaje popular, por lo general se hace énfasis en el concepto de la probabilidad o la posibilidad de algo, tal como el “riesgo de un accidente”, mientras que en un contexto técnico, con frecuencia se hace más énfasis en las consecuencias, en términos de “pérdidas posibles” relativas a cierta causa, lugar y momento en particular (UNISDR, 2009).

6.5. Riesgo de desastres

Las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, y que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro, como resultado del riesgo presente en forma continua. (UNISDR, 2009).

6.6. Desastre

Con frecuencia, se describe a un desastre como el resultado de la combinación de la exposición a una amenaza, las condiciones de vulnerabilidad presentes, y capacidades o medidas insuficientes para reducir o hacer frente a las posibles consecuencias negativas (UNISDR, 2009).

6.7. Desastres naturales

La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) los define como cambios violentos, súbitos y destructivos en el medio ambiente cuya causa no es la actividad humana, sino los fenómenos naturales. De acuerdo con esto, un desastre natural es el resultado de un proceso que ocurre normalmente en la naturaleza, pero que al contacto con la civilización humana provoca efectos adversos y a menudo demoledores que una simple lluvia o la exhalación de un volcán no ocasionan. Sin humanos, una inundación u ola de calor no constituye un desastre natural (GeoEnciclopedia, 2017).

6.8. Análisis de Riesgo

El uso de la información disponible para estimar el riesgo de los individuos o la población, propiedades o el ambiente, debido a las amenazas. El análisis de riesgo generalmente comprende tres pasos: definición del alcance, identificación de la amenaza, determinación de la vulnerabilidad y estimación de riesgo (CDKN, 2014)

6.9. Índice de susceptibilidad a deslizamientos, inundaciones y sequías¹

Según Zepeda (2011), la metodología para obtener el índice consiste en matrices estructuradas y diseñadas para la evaluación de diferentes parámetros y características físicas del suelo presentes en el terreno y que se identifican como los que más influyen para que se presente un desastre. También considera la influencia del clima con relación a su efecto en el desarrollo de los desastres estudiados.

Con el fin de facilitar la recolección de información para determinar el grado de susceptibilidad para cada uno de los eventos, en cada matriz son considerados los diferentes parámetros edáficos, climáticos y de uso de suelo que son más factibles de medir en campo. Los parámetros que utiliza la metodología son:

6.9.1. Pendiente

La pendiente es uno de los factores de la topografía que más influye en las propiedades y características físicas del suelo y por consiguiente, lo hace menos o más susceptible a determinados factores externos que pueden provocar los eventos conocidos como desastres. La pendiente se refiere “al ángulo que forma cualquier parte de la superficie terrestre con un dato de horizonte” según Buol, Hole y McCracken (1988) citado por Zepeda (2011). Mientras más pronunciada sea una pendiente de un terreno, las propiedades de estos suelos serán diferentes a los localizados en sitios con menor pendiente.

6.9.2. Estructura del suelo

Según Pineda (1997), citado por Zepeda (2011), es “la forma en que las partículas de suelo se juntan”. El tipo de estructura determina la formación de cavidades y grietas que facilitan la infiltración del agua en el suelo, jugando un papel muy importante en la susceptibilidad o resistencia de los suelos.

¹ Diseño y aplicación de metodología para la determinación de un índice de susceptibilidad a deslizamientos, inundaciones y sequía. Zepeda, 2011.

A continuación, se describe cada una de las agrupaciones realizadas para las matrices, basadas en la clasificación de estructura hecha por Buckman y Brady (1996), citados por Zepeda (2011).

- a. Permeabilidad alta:** Dentro de esta clasificación se ubica la estructura esferoidal, dentro de la cual se encuentran los subtipos granular y grumosa, de las cuales la granular posee mayor infiltración. Este tipo de estructura posee una permeabilidad adecuada para el cultivo de alimentos. Para Buckman y Brandy (1996), estos tipos de suelo son característicos de las capas superficiales, especialmente aquellas que son ricas en materia orgánica y son comúnmente influenciados por acciones de laboreo para las prácticas agrícolas.
- b. Permeabilidad moderada:** Se identifica la estructura blocosa (blocosa angular y subangular), en la cual sus características están vinculadas y definidas por el drenaje, la aireación y la penetración de las raíces de las plantas.
- c. Permeabilidad mala:** Dentro de esta última categoría se ubica la estructura laminar, que posee una mala infiltración. Esta estructura compuesta de una serie de láminas o lengüetas distribuidas de forma horizontal. Según Fitzpatrick (1984), citado por Bukman y Brandy (1996) por lo general se localizan en horizontes superiores y son producto de la compactación de estos horizontes.

6.9.3. Textura del suelo

Se refiere a la diferencia de tamaño existente entre las partículas que forman el suelo y les proporciona características propias que los diferencian entre ellos. La textura es importante porque por medio de ella se puede determinar cuándo un suelo puede absorber fácilmente el agua, el calor y el oxígeno y así poder saber la susceptibilidad de este hacia algún fenómeno o influencia externa que puede provocar o iniciar un desastre como lo indica. Existen muchos tipos de suelos, dependiendo de la textura que posean. Se define textura como el porcentaje de arena, limo y arcilla que contiene el suelo, Buckman, y Brandy (1996) citado por Zepeda (2011).

La matriz considera el grado de retención de humedad de cada textura del suelo para el desarrollo de los fenómenos. Esta característica se toma en cuenta debido a que de esta depende la cantidad de agua que puede almacenar el suelo y el efecto que provoca el peso del agua al quedar retenido por las partículas del suelo. Para los deslizamientos se considera ya que, el peso que el agua ejerce en el suelo puede ser superado por la fuerza ejercida por la gravedad, arrastrando las capas superficiales del suelo y provocando así un deslizamiento. En el caso de las inundaciones el efecto de la textura es similar al de la estructura del suelo, en el sentido de que a mayor retención de agua, mayor escorrentía en los suelos saturados (Zepeda, 2011).

6.9.4. Profundidad del suelo no consolidado

Buckman y Brady (1996), considera como suelo no consolidado a los horizontes superficiales del suelo y que están antes del lecho rocoso del cual estos se han formado. Esta capa del suelo al estar en contacto con la atmósfera, es la más influenciada por la acción transformadora del viento, del agua y de los cambios de temperatura, esto le da características propias que sirven para reconocer sus potenciales usos, (Zepeda, 2011).

6.9.5. Uso del suelo

Junta de Castillo y León (2000), lo explican como cualquier tipo de utilización humana de un terreno, incluido el subsuelo y el vuelo que le correspondan, y en particular su urbanización y edificación (Zepeda, 2011).

6.9.6. Plasticidad del suelo

Se refiere a la capacidad de suelo a adoptar la forma a que es sometida por una fuerza externa y se relaciona notablemente con el grado de arcilla que posee un suelo (Zepeda, 2011).

La plasticidad del suelo influye en los deslizamientos, debido a que el nivel de plasticidad determina la facilidad con la que se erosiona y se desprende el suelo del

lecho rocoso. La plasticidad se determina aplicando el método de tacto a las muestras recolectadas.

6.9.7. Tipo de suelo

De acuerdo con el mapa de clasificación taxonómica de suelos, del municipio de Esquipulas pertenecen en un gran porcentaje a Inceptisoles, Entisoles, y en menor grado a Ultisoles, según metodología del USDA (Reyes, 2015).

- a. Suelos Entisoles:** Suelos de desarrollo muy limitado, provienen de depósitos aluviales recientes que se establecen en capas delgadas sobre la roca, en áreas con pendientes fuertes y de escasa acumulación de materia orgánica.
- b. Suelos Inceptisoles:** Suelos con horizonte B bien definido. Presentan un horizonte superficial negro con alto contenido de materia orgánica y con mayor grado de desarrollo que los entisoles. Clasificados como epipedon úmbrico, mólico o plágico.
- c. Suelos Ultisoles:** Estos suelos tienen un horizonte B bien definido por su incremento de arcilla con relación al horizonte A. Su bajo contenido de nutrientes se debe a que son suelos muy lixiviados y por lo que su rendimiento depende de la fertilización que se les proporcione.

6.9.8. Geología

Las rocas que forman el suelo están hechas de minerales y se pueden agrupar en cuatro grandes grupos: ígneas, sedimentarias, metamórficas y rocas fragmentadas y sueltas. Esta clasificación se realiza a partir del proceso de formación que sufrieron esas rocas; en este estudio se tomaron en cuenta en base a la estabilidad y a la resistencia de estas a los factores externos tales como la lluvia y temperatura (Zepeda, 2011).

- a. Rocas ígneas.** Freeman (1996), indica que este tipo de roca se forman por la solidificación del magma, una masa mineral fundida que incluye volátiles, gases disueltos (Zepeda, 2011).

- b. Rocas sedimentarias.** Se constituyen por diagénesis (compactación y cementación) de los sedimentos, materiales procedentes de la alteración en superficie de otras rocas, que posteriormente son transportados y depositados por el agua, el hielo y el viento, con ayuda de la gravedad o por precipitación desde disoluciones, según Freeman (1996) (Zepeda, 2011).
- c. Rocas metamórficas.** Freeman (1996), explica que en sentido estricto es metamórfica cualquier roca que se ha producido por la evolución de otra anterior al quedar está sometida a un ambiente energéticamente muy distinto de su formación, mucho más caliente o más frío, o a una presión muy diferente. Cuando esto ocurre la roca tiende a evolucionar hasta alcanzar características que la hagan estable bajo esas nuevas condiciones (Zepeda, 2011).

La geología influye directamente en los deslizamientos, debido a que determina la estabilidad de los suelos, principalmente los ubicados en laderas, por lo tanto sólo se utiliza para determinar la susceptibilidad a deslizamientos.

6.9.9. Precipitación

Kohler (1986), define la precipitación, como la cantidad de agua meteórica total, líquida o sólida, que cae sobre una superficie horizontal determinada, llamada sección pluviométrica. En general, es la superficie colectora del pluviómetro. Las precipitaciones agrupan todas las aguas meteóricas recogidas en una cuenca vertiente o una zona determinada. Se presenta en forma líquida (lluvia, niebla, rocío) o sólida (nieve, granizo, escarcha) (Zepeda, 2011).

La precipitación, es considerada en la metodología por su efecto en las condiciones físicas del suelo y su influencia en los procesos de crecimiento de las plantas.

6.10. Rangos de susceptibilidad

Los rangos de los porcentajes de las probabilidades de ocurrencia de un desastre, se definieron en baja, media y alta susceptibilidad. Estos parámetros se aplican simultáneamente para la elaboración de los respectivos mapas de susceptibilidad a

deslizamientos e inundaciones. Estos rangos son establecidos previamente a la aplicación del “ISDI”, mediante la utilización de un proceso en el cual se suman todos los valores de las matrices que poseen una misma susceptibilidad, para posteriormente dividirlos entre la sumatoria de los índices, ya sean para deslizamientos o inundaciones (Zepeda, 2011).

6.11. Indicador de vulnerabilidad estructural

Este indicador refleja lo propensas que están las viviendas de una comunidad o pablado a ser dañadas por un evento natural. Reconociendo los componentes típicos de las viviendas: pisos, paredes y techos, se ha considerado como base para la ponderación de cada uno de estos componentes el tipo de material con el cual están contruidos. Para la asignación numérica de los pesos de han tomado como referencia los daños observados en eventos catastróficos históricos y su impacto en cada uno de dichos componentes, así como su importancia relativa respecto a los demás (Villagrán, 2002).

6.12. Indicador de vulnerabilidad habitacional demográfica

Los indicadores habitacionales son iguales para las diferentes amenazas que puedan presentarse. Se maneja la vulnerabilidad habitacional, que se asocia con parámetros demográficos tales como el sexo del jefe del hogar, edad del jefe del hogar y dependencia familiar. Tomado como base el tipo de datos disponibles para su estimación concluye que las expresiones que pueden deducir para dichas vulnerabilidad son prácticamente independientes de las amenazas (Villagrán, 2002).

7. MARCO REFERENCIAL

7.1. Ubicación del área de estudio

La microcuenca del río Atulapa se sitúa al sur del municipio de Esquipulas, del departamento de Chiquimula, en la región III. (USAC-CTPT, 2008) (Anexo 1).

Tabla 1. Coordenadas UTM de la microcuenca del río Atulapa

Ubicación	Coordenadas	
	Longitud Oeste	Latitud Norte
Norte	894355	1614121
Sur	894355	1603358
Este	899538	1608879
Oeste	888854	1608879

Fuente: Hojas topográficas, escala 1: 50,000

La microcuenca tiene una extensión de 43.55 km² (4,354.77 ha), nace por la unión entre la quebrada el Raspado y quebrada de Piedra, ubicadas en el caserío Plan de La Arada. Es la principal fuente de abastecimiento de agua en el área urbana de Esquipulas y caseríos cercanos, correspondiente al 90% de la población.

7.2. Población

La microcuenca tiene 23 centros poblados de los cuales 4 son aldeas y el resto caseríos, estos se muestran en la tabla 2 (Dirección Municipal de Medio Ambiente, 2017).

Tabla 2. Centros poblados, número de habitantes y viviendas de la microcuenca del río Atulapa.

Aldea	Caserío	Habitantes	Viviendas
Atulapa	Atulapa	689	113
	Montesinas	569	91
	Espinos	175	25
	Agua Caliente	121	30
	Total	1554	259
Santa Rosalía	Santa Rosalía	1219	185
	San Joaquín	350	65
	El Limón	141	34
	El Jocotal	158	27
	La Cuestona	313	43
	El Duraznal	345	68
	Las Toreras	400	63
	Portezuelo	276	65
	Buena Vista	64	8
	Plan de la Arada	251	42
	Total	3517	600
San Nicolás	San Nicolás	775	132
	El Cascajal	23	4
	Guayabito	111	17
	El Barrial	78	16
	Las Toreras	288	58
	Miramundo	44	5
	Total	1319	232
Esquipulas, Ciudad	Esquipulas	29054	7263
	San Joaquín	283	42
	Tizaquín	408	61
	Total	29745	7366
TOTAL		36135	8457

Fuente: Dirección Municipal de Medio Ambiente, 2017.

De acuerdo al INE en el año 2,015 la población en la microcuenca del río Atulapa es de 36,135 habitantes, lo que corresponde al 55% de la población total del municipio.

7.3. Red hidrológica

La microcuenca del río Atulapa forma parte de la subcuenca del río Olopita u Olopa que a su vez forma parte de la cuenca del río Lempa. La red hidrológica está conformada por el río principal Atulapa, nace en la parte alta de la microcuenca que lleva su mismo nombre, cuenta con afluentes como: río San Nicolás, río El Limón, río El Portezuelo, río El Mal Paso, río La Cuestona, río El Volcán. También en la microcuenca se originan la quebrada Porvenir, quebrada El Volcán y quebrada Duraznal (Fong, 2010).

7.4. Hidrografía

7.4.1. Clase de corrientes

Dentro de la microcuenca del río Atulapa, existen tres tipos de corrientes superficiales (CTPT, 2005):

- **Permanente:** Atulapa y sus afluentes río Manzano y Matapalo.
- **Intermitentes:** Quebrada Parritas, Terrero, Honduras, el Realejo y otras.
- **Efímeras:** Son corrientes que se trazan en base a las curvas de nivel y que no están marcadas en las hojas cartográficas.

7.4.2. Aspectos de relieve

La pendiente media de la cuenca es baja (16.47%); además la baja pendiente del cauce principal (5.11%), indican que la velocidad de flujo es baja a media, lo que explica que el caudal total, recibe una alta contribución de las aguas subterráneas. (USAC-CTPT, 2008).

7.5. Clima

El sistema de clasificación climática de Thornthwaite, indica que el área donde se localiza la microcuenca posee un clima semi cálido húmedo con invierno benigno, - BB'-, cubierta por bosque (USAC-CTPT, 2008).

Según datos del INSIVUMEH de Esquipulas, se reporta una temperatura media de 22.02°C para el año 2,006, la cual no ha variado significativamente en los últimos años (USAC-CTPT, 2008).

La precipitación media anual en el municipio de Esquipulas es de 1,706.72 mm. La precipitación media mensual es de 175.7 mm, siendo los meses de febrero y marzo los de menor precipitación y los meses de junio a septiembre los de mayor precipitación (USAC-CTPT, 2008).

7.6. Zonas de vida

Según el sistema de clasificación de Holdridge, modificado por de la Cruz, en la microcuenca del río Atulapa, se ubican 3 zonas de vida: i) Bosque húmedo Subtropical Templado (bh-S(t)), ii) Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmh-MB) y iii) Bosque muy húmedo Subtropical Frío (bmh S(f)) en menor cantidad que los anteriores (Gómez, 2016).

Tabla 3. Extensión por zona de vida dentro de la microcuenca del río Atulapa, municipio de Esquipulas

Zona de vida	Código	Area km2	Area (%)
Bosque húmedo subtropical templado	Bh - S (t)	20.211	45.92
Bosque muy húmedo montano bajo	Bmh - MB	21.85	46.65
Bosque muy húmedo subtropical frío	Bmh - S (f)	1.949	4.93
Total		44.01	100

Fuente: USAC-CTPT. 2008.

7.7. Suelos y tierras

7.7.1. Geología

El área en estudio pertenece a la placa del Caribe, en donde los diferentes procesos geológicos conformaron la Sierra Volcánica de Chiquimula, a la que pertenece la microcuenca del Atulapa (Gómez, 2016).

La descripción de las principales formaciones geológicas:

- a. Qa/Qal, Aluviones Cuaternarios: Sedimentos continentales y marinos recientes, incluyendo depósitos de pie de monte y terrazas de grava: planicies de inundaciones y depósitos de cauce, en una franja al norte de la microcuenca.
- b. Tv, Materiales Volcánicos Terciarios: Rocas volcánicas sin dividir. Predominante del Mio-Plioceno. Incluye tobas, coladas de lava, material lahártico y sedimentos volcánicos que constituyen el grupo Padre Miguel, formado por ignimbritas, tobas y rocas piroclásticas asociadas del tipo riolítico y andesítico, rocas sedimentarias derivadas de rocas volcánicas, coladas de riolita, andesita y basalto, en el resto de la microcuenca (USAC-CTPT, 2008).

7.7.2. Suelos existentes

De acuerdo al estudio de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala por Simons, Tárano y Pinto, se determinó que en el área se encuentran las siguientes series de suelos (USAC-CTPT, 2008).

Tabla 4. Series de suelos y porcentajes de cobertura dentro de la microcuenca del río Atulapa, municipio de Esquipulas

Serie	Area (km2)	Area (%)
Ansay	3.779	8.59
Chuctal	25.947	58.95
Series Aluviales	0.909	2.07
Atulapa	13.377	30.39

Fuente: USAC-CTPT, 2007.

- **Serie Ansay (As):** Se encuentra extendida en la parte baja de la cuenca, abarcando las aldeas de Atulapa y Santa Rosalía.
- **Serie Suelos Aluviales (SA):** Se encuentra en la parte baja de la cuenca, abarcando parte de la aldea Atulapa y Santa Rosalía.
- **Serie Chuctal (Chu):** Cubre las comunidades del Duraznal, Plan de la Arada, El Limón y Jocotal.

- **Serie Atulapa (Au):** Cubre las comunidades de Las Toreras, San Nicolás y Miramundo (USAC-CTPT, 2008).

7.8. Investigaciones relacionadas

La metodología ISDIS se ha utilizado para determinar la susceptibilidad en otras áreas en el departamento de Chiquimula, que ha permitido conocer zonas con riesgo a desastre. Además, en la microcuenca del río Atulapa se han realizado diferentes estudios relacionados a las condiciones físicas y climáticas que facilitaron la recolección de información para el estudio.

7.8.1. Evaluación y análisis de riesgos a desastres en el manejo de los recursos naturales de la cuenca del río Atulapa y su impacto en la población de Esquipulas (Tobías, H; Gutiérrez, G; Santos, E; Sáenz, L. 2011)

En el año 2009 diferentes docentes de la Facultad de Agronomía de la universidad de San Carlos de Guatemala se unen al proyecto FODECYT para realizar la investigación sobre riesgos ambiental en la cuenca del río Atulapa en el municipio de Esquipulas; la investigación fue realizada con el propósito de identificar y evaluar la ocurrencia de fenómenos naturales e inducidos que provocaran daños tanto a la población que vive dentro de la cuenca como a los recursos naturales que esta posee.

La metodología utilizada consistió en la recolección de información de diferentes fuentes secundarias y la generada en el campo, con la cual se conformó una base de datos por medio de la cual se elaboraron diferentes mapas que muestran el grado de riesgo de ocurrencia de los diferentes fenómenos evaluados dentro del área de estudio. La información fue analizada a través del Sistema de Información Geográfico (SIG), que permitió determinar el riesgo a través de las condiciones climáticas y físicas del área.

La investigación realizada dio como resultado que los principales riesgos ambientales que posee la cuenca del río Atulapa son: deslizamientos, erosión, inundaciones, incendios forestales, sequía y sismos. Así mismo, se determinaron las principales causas que motivan la ocurrencia de estos eventos, siendo estas: a) las características naturales del área, especialmente por su relieve y la fragilidad del territorio; b) el manejo de los recursos naturales (deforestación), sobreutilización de la tierra y los procesos de transformación; c) los cambios globales, principalmente el cambio climático.

7.8.2. Diagnóstico de la cuenca del río Atulapa Esquipulas, Chiquimula, Guatemala (USAC-CTPT, 2008).

En el año 2008, la Comisión Trinacional del Plan Trifinio junto con la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tenían como objetivo realizar un diagnóstico integral de la microcuenca del río Atulapa que sirviera como base para formular un plan de manejo integral de la misma.

Con base a las investigaciones realizadas y los resultados obtenidos se determinó que los principales problemas que presenta la microcuenca según los actores locales son: contaminación de las fuentes de agua (vertido de aguas mieles); apropiación de las fuentes de agua; falta de protección de las fuentes de agua, pues no existe protección alguna que garantice la sostenibilidad de las fuentes de agua; pérdida de la cobertura boscosa, debido al avance de la frontera agrícola.

7.8.3. Aproximación y coincidencia entre a metodología ISDIS y mapeo participativo (Díaz, 2013).

En el 2013 se realizó el estudio titulado: “Aproximación y coincidencia entre metodología ISDIS y Mapeo Participativo en el río Tacó, Chiquimula, Chiquimula”, teniendo como objetivo contribuir al ordenamiento territorial del país; a través de

información cartográfica de zonas con riesgo a deslizamientos e inundaciones en vías de elaborar planes de intervención en el departamento de Chiquimula.

El estudio está relacionado a identificar las zonas con mayor potencial a los deslizamientos e inundaciones, considerando la cuenca del río Tacó por su alta influencia sobre la ciudad de Chiquimula. El análisis de riesgos a inundaciones y deslizamientos en la cuenca del río Tacó, se realizó a través de la metodología de índices de susceptibilidad de inundaciones y deslizamientos “ISDIS” adaptada a la región, esta metodología fue diseñada y aplicada en Honduras.

Según el estudio se concluyó que en la época de lluvia el caudal de muchos ríos aumenta, provocando deslizamientos en la parte alta y media, e inundaciones en la parte baja de las cuencas. Por consiguiente, la amenaza física no es la lluvia sino las inundaciones y los deslizamientos que esta ocasiona. Los datos analizados fueron obtenidos de información geo referencial y de criterios según en la experiencia de los líderes comunitarios, por lo que se realizó una comparación para conocer la aproximación y coincidencia basadas en dos tipos de información.

7.8.4. Identificación de manera participativa de riesgos ambientales en la finca El Cascajal, municipio de Esquipulas (Reyes, 2015)

En el 2015 se utilizó la metodología ISDIS para la identificación de riesgos ambientales en la finca el Cascajal en el municipio de Esquipulas, Chiquimula, con el objetivo de prevenir y mitigar impactos sobre los sistemas de producción. Para la investigación se utilizó el método participativo como herramienta para la obtención de información relevante, basada en el conocimiento y experiencias vividas por los trabajadores y pobladores de la finca, que permitiera obtener resultados más cercanos a la realidad.

La aplicación de la metodología ISDIS consistió en la definición de valores a las diferentes matrices según las características climáticas, edáficas y geológicas que posee el lugar, a través del análisis geoespacial que permitiera interpolar las características biofísicas similares.

La investigación presenta resultados con rangos altos y medios en cuanto a la susceptibilidad a inundaciones, deslizamientos y sequías que posee la finca a través de la metodología ISDIS; mientras que con la metodología de mapeo participativo se obtuvieron rangos bajos en cuanto a la susceptibilidad a inundaciones, deslizamientos y sequías dentro de la finca.

8. MARCO METODOLÓGICO

El análisis de riesgo sobre la cuenca del río Atulapa, se realizó a través de la determinación de indicadores de vulnerabilidad (físico-estructural y demográfica-habitacional de viviendas) y la susceptibilidad que presenta la microcuenca Atulapa ante la posible ocurrencia de deslizamientos, inundaciones y sequía. Las metodologías utilizadas fueron adaptadas a las condiciones fisiográficas y climáticas del área de estudio.

8.1. Metodología para determinar el índice de susceptibilidad

La metodología empleada para el establecimiento del índice de susceptibilidad se conoce como “ISDIS” (índice de susceptibilidad a deslizamientos, inundaciones y sequía). Esta metodología consiste en matrices estructuradas y diseñadas para la evaluación de diferentes parámetros y características físicas del suelo presentes en el terreno y que se identifican como los que más influyen para que se presente un desastre.

8.1.1. Delimitación de puntos de muestreo

Los puntos de muestreo se establecieron con el apoyo del programa SIG, para obtener un muestreo sistemático en el área de la microcuenca. El muestreo sistemático se realizó con la herramienta *ArcToolbox* (create random points), ubicando un punto de muestro a una distancia de 2km², logrando establecer 23 puntos de muestreo en la microcuenca, como se muestra en la figura 1.

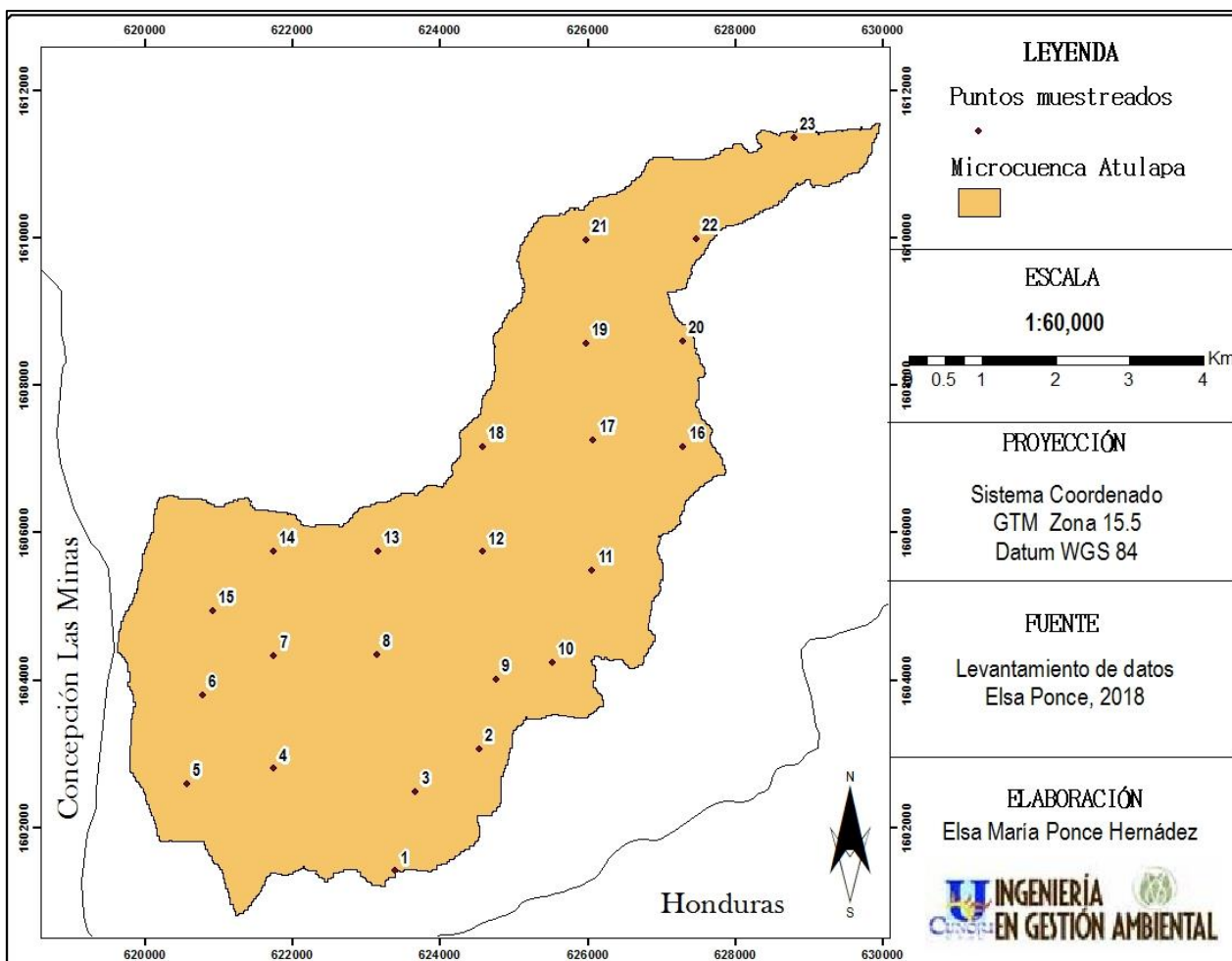


Figura 1. Puntos de muestreo establecidos en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

8.1.2. Caracterización de suelos de la microcuenca del río Atulapa

La caracterización de suelos de la microcuenca del río Atulapa, se hizo a través de un recorrido de campo donde se tomaron muestras de suelo (extracción de 2 lb de suelo aproximadamente) en cada uno de los puntos delimitados como se muestra en la figura 1, las cuales fueron analizadas en laboratorio para determinar las características físicas que la metodología ISDIS requiere, que son: plasticidad, textura, estructura, uso del suelo, pendiente, profundidad, serie del suelo, geología y precipitación.

Además de las características para aplicar la metodología, también se realizó el análisis físico y químico de las muestras de suelo los cuales sirvieron para la elaboración del documento adjunto en la investigación titulado “Caracterización de los suelos de la microcuenca del río Atulapa” en donde se describen cada uno de los parámetros analizados y se presentan mapas con la distribución de los valores de cada parámetro (Anexo 9).

8.1.3. Adaptación de matriz de geología a las condiciones de la microcuenca y definición de matrices de la metodología ISDIS.

Los datos modificados en la matriz de geología son los que representan los grupos de rocas, a través de visitas de campo en las que se hizo el recorrido por la microcuenca y se determinó visualmente el tipo de material rocoso presente en los taludes visibles. La información obtenida en campo se verificó con la ayuda de un geólogo a través de fotografías, de igual manera se geo-referenciaron los puntos con diferente tipo de material rocoso.

Tabla 5. Matriz ISDIS según la geología

Grupo de rocas	Índice de susceptibilidad
Rocas Ígneas	1
Rocas Metamórficas	2
Rocas Sedimentarias	3
Rocas Fragmentadas y Sueltas	4

Fuente: Zepeda, 2011.

Posteriormente se establecieron los valores de susceptibilidad con los tipos de roca establecidos, siendo los materiales sueltos los de mayor susceptibilidad y los materiales más densos los de menor susceptibilidad como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Índice de susceptibilidad según geología, modificado

Grupo de rocas	Índice de susceptibilidad
Toba Masiva Dura	1
Toba Dura Fracturada	2
Toba Caolinítica	3
Toba Volcánica Suelta	4
Material Aluvional	5
Suelos	6

Fuente: Leytán, L. 2018.

Las matrices de pendiente, uso de suelo, textura de suelo, series de suelo, estructura del suelo, plasticidad y precipitación son las propuestas por Zepeda (2011) y se describen a continuación:

Tabla 7. Índice de susceptibilidad según rango de pendiente

Rango de Pendiente	Índice de susceptibilidad		
	Delizamientos	Inundaciones	Sequías
0° - 15°	1	4	4
15° - 30°	2	3	3
30° - 45°	3	2	2
>45°	4	1	1

Fuente: Zepeda, 2011.

Tabla 8. Índice de susceptibilidad por estructura de suelo para cada evento

Estructura del suelo	Índice de susceptibilidad		
	Delizamientos	Inundaciones	Sequías
Láminar y Material Parental	1	4	4
Prismática	2	3	3
Blocosa	3	2	2
Esferoidal	4	1	1

Fuente: Zepeda, 2011.

Tabla 9. Índice de susceptibilidad según textura de suelo

Textura del suelo	Índice de susceptibilidad		
	Delizamientos	Inundaciones	Sequías
Arenosa	7	1	3
Arenosa Franca	6	2	2
Franco Arenosa Franca Franco Arcillo Limosa Franco Arcillo Arenosa Franco Arcillosa	5	3	1
Franco limosa	4	4	2
Arcillo arenosa	3	5	3
Arcillo limosa	2	6	4
Arcillosa	1	7	5

Fuente: Zepeda, 2011.

Tabla 10. Índice de susceptibilidad según uso del suelo

Uso de suelo	Índice de susceptibilidad
	Deslizamientos e Inundaciones
Café	4
Café bajo sombra	3
Bosque Latifoliado	1
Bosque de Coníferas	2
Bosque Mixto	1,2
Guamil	5
Suelo desnudo	6

Fuente: Zepeda, 2011.

Tabla 11. Índice de susceptibilidad por índice de plasticidad para deslizamientos

Término usado	Índice de plasticidad	Índice de susceptibilidad a deslizamientos
No plástico	0 - 3	4
Ligeramente plástico	3 -- 15	3
Medianamente plástico	15 - 30	2
Muy plástico	> 31	1

Fuente: Zepeda, 2011.

Tabla 12. Índice de susceptibilidad por serie de suelos para inundaciones y sequías

Serie de suelo	Índice de susceptibilidad para inundaciones y sequía
Inceptisoles	3
entisoles	2
Ultisoles	1

Fuente: Zepeda, 2011.

Los registros de precipitación y temperatura fueron solicitados al INSIVUMEH, de la estación climática ubicada en el municipio de Esquipulas, utilizando los registros de precipitación y temperatura de los últimos 15 años para poder estimar los datos máximos y mínimos que pudieran contribuir a las amenazas climáticas dentro de la microcuenca del río Atulapa.

Tabla 13. Índice de susceptibilidad según precipitación

Precipitación (mm/día)	Índice de susceptibilidad	
	Deslizamientos	Inundaciones
0 - 5	1	1
5 -- 7	2	2
7 -- 10	3	3
> 10	4	4

Fuente: Zepeda. 2011.

En el aspecto de sequía, el parámetro de precipitación se consideró en un período de tres meses, ya que este fenómeno se presenta en períodos de tiempo largo y no se puede estimar su presencia en pocos días, (tabla 14). Sin embargo, en la determinación de la susceptibilidad de inundaciones y deslizamientos se tomó en cuenta las precipitaciones diarias, debido a que estos desastres por lo general ocurren en un período de tiempo relativamente corto después de iniciada una tormenta.

Tabla 14. Índice de susceptibilidad por rango de precipitación para sequía

Rango de precipitación (mm* tres meses)	Índice de susceptibilidad para sequía
0 - 20	5
20 - 40	4
40 - 60	3
60 - 80	2
>80	1

Fuente: Zepeda, 2011.

El rango de susceptibilidad se determina a partir de la aplicación de la formula ISDIS que se describe más adelante, y según el valor numérico se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 15. Rangos de susceptibilidad

Clasificación de susceptibilidad	Rangos (%)
Susceptibilidad baja	0 - 30
Susceptibilidad media	31 - 65
Susceptibilidad alta	66 - 100

Fuente: Zepeda. 2011.

8.1.4. Aplicación de la metodología ISDIS

Para analizar los índices de susceptibilidad en cada desastre, se implementó el procedimiento conocido como número de índice. Este consiste en un conjunto de rangos de valores, los cuales se han asignado de acuerdo a parámetros establecidos con anterioridad, se calcula la probabilidad que el evento suceda.

Paso 1. A partir de las características del análisis del suelo se aplicó la metodología ISDIS por cada punto muestreado. Según las matrices se asignó el valor correspondiente a cada parámetro (estructura, pendiente, plasticidad, textura, serie de suelo, uso de suelo, precipitación y geología) en cada punto muestreado.

Paso 2. Se realizó la sumatoria de los índices de susceptibilidad para cada parámetro medido en cada evento, y posteriormente determinar el índice de riesgo de ocurrencia de ese evento.

Paso 3. Se cuantificaron los máximos y mínimos valores que adquirieron los índices para ese desastre.

Paso 4. Se Implementó la fórmula para determinar el índice susceptibilidad a desastres para cada punto.

Ecuación 1.

$$ISDIS = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum P_i \text{ max}} \times 100$$

$\sum P_i$ = Sumatoria de los Índices de Susceptibilidad de todos los parámetros para cada evento.

$\sum P_i \text{ max}$ = Sumatoria de los valores máximos de los Índices de Susceptibilidad para todos los parámetros de cada evento.

Paso 5. Se estableció el rango de susceptibilidad (alto, medio, bajo) que presenta cada punto muestreado a partir del porcentaje del índice de susceptibilidad obtenido.

8.1.5. Análisis de la información

La información recabada sobre la microcuenca del río Atulapa, fue analizada mediante el Sistema de Información Geográfica –SIG-, realizando mapas temáticos que describen la susceptibilidad de la microcuenca Atulapa a los diferentes eventos evaluados.

8.2. Metodología para determinar el índice de vulnerabilidad

Para estimar el índice de vulnerabilidad, estructural de viviendas y habitacional demográfica se utilizó la metodología contenida en el “Manual para la estimación cuantitativa de riesgos asociados a diversas amenazas” propuesta por Villagrán

(2002) e implementada en el proyecto “Gestión local de desastres” de Acción Contra El Hambre en 2003.

La metodología consiste en la asignación de “pesos” definidos por profesionales expertos, a diferentes componentes estructurales de las viviendas y los materiales empleados para su elaboración, así como a las características de los habitantes. Dichos pesos fueron definidos para cada tipo de amenaza, que fueron evaluados para las cuatro aldeas de la microcuenca.

8.2.1. Recolección de información para determinar la vulnerabilidad estructural de viviendas y vulnerabilidad habitacional demográfica

Para recopilar la información y determinar la vulnerabilidad estructural de viviendas y la vulnerabilidad habitacional demográfica se realizó un muestreo irrestricto a 8,457 viviendas en la microcuenca del río Atulapa utilizando la fórmula:

Ecuación 2.

$$n = \frac{Z^2 \left[1 - \frac{\infty}{2}\right] PQ + d^2}{\frac{d^2 + Z^2 \left[1 - \frac{\infty}{2}\right]}{N}}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población

∞ = 0.05

Z = 1.96

P = Probabilidad de éxito (0.5)

Q = Probabilidad de fracaso (0.5)

d= Precisión de los estándares (0.10)

La muestra de 96 viviendas obtenida se distribuyó en las cuatro aldeas de la microcuenca, por medio de las cuales se obtuvo la información para la aplicación de la metodología de vulnerabilidad estructural de viviendas y habitacional demográfica.

La información recopilada en campo fue:

- Tipo de las paredes de las viviendas
- Tipo de techo de las viviendas
- Tipo de piso de las viviendas
- Sexo del jefe del hogar
- Edad del jefe del hogar
- Número de adultos que habitan en el hogar
- Número de niños que habitan en el hogar
- Número de ancianos que habitan en el hogar

8.2.2. Determinación de la vulnerabilidad estructural de viviendas (Villagrán, 2002)

El índice de vulnerabilidad estructural de viviendas se obtiene a partir de la sumatoria de los pesos de los componentes estructurales por los pesos de los materiales utilizados, quedando expresada como:

Ecuación 3.

$$V = \sum \text{Peso Comp.} \times \text{Peso opción}$$

La información de las estructuras y los materiales se extrae de las boletas, por lo que el índice de vulnerabilidad estructural de viviendas que se obtuvo es sobre el número total de viviendas en la microcuenca.

Los valores del índice de vulnerabilidad se pueden clasificar en alto, medio y bajo según el rango numérico que se presente, siendo éstos:

Tabla 16. Rango numérico de vulnerabilidad normalizada

Rango numérico de vulnerabilidad normalizada	Clasificación
0 - 40	Bajo
41 - 70	Medio
71 - 100	Alto

Fuente: Villagrán, 2002.

a. Vulnerabilidad estructural de viviendas por inundaciones

Paso 1. Definir los pesos para los componentes estructurales y materiales.

Tabla 17. Pesos de los componentes estructurales y materiales para vulnerabilidad estructural de viviendas a inundaciones

Variable	Peso componente	Peso opción
Paredes	10	
adobe o bajareque		10
block, concreto o ladrillo		1
madera, lepa, palo o caña		5
lámina metálica u otro material		5

Fuente: Villagrán, 2002.

Paso 2. Aplicar la fórmula de índice de vulnerabilidad estructural de viviendas.

$$V = \text{Peso Comp.} \times \text{Peso opción}$$

Paso 3. Asignar el rango para niveles de vulnerabilidad normalizada según el índice de vulnerabilidad.

b. Vulnerabilidad estructural de viviendas por deslizamientos

Paso 1. Definición de los pesos para los componentes estructurales y los materiales.

Tabla 18. Pesos para los componentes estructurales y los materiales para vulnerabilidad estructural de viviendas a deslizamientos

Variable	Peso componente	Peso opción
<i>Piso</i>	1	
Ladrillo o cemento		1
Torta de cemento o barro		1
Madera		3
Tierra		7
<i>Paredes</i>	6	
Adobe o bajareque		6
Block, concreto o ladrillo		2
Madera, lepa, palo o caña		3
Lámina metálica u otro material		3
<i>Techo</i>	3	
Concreto		2
Lámina metálica, asbesto-cemento		3
Paja, palma o similar		3
Teja		7

Fuente: Villagrán, 2002.

Paso 2. Aplicar la fórmula de índice de vulnerabilidad estructural de viviendas.

Ecuación 4.

$$V = \text{Peso Comp.} \times \text{Peso opción} + \text{Peso Comp.} \times \text{Peso opción} \\ + \text{Peso Comp.} \times \text{Peso opción}$$

Paso 3. Asignar el rango para niveles de vulnerabilidad normalizada según el índice de vulnerabilidad obtenido.

8.2.3. Determinación de la vulnerabilidad habitacional demográfica (Villagrán, 2002)

Para estimar la vulnerabilidad habitacional demográfica se utilizó la metodología propuesta en el manual para la estimación cuantitativa de riesgos asociados a diversas amenazas.

La metodología utilizada considera tres componentes para la vulnerabilidad habitacional demográfica: sexo del jefe del hogar, edad del jefe del hogar y la relación adultos/niños y ancianos para lo cual se asignan “pesos” tomando en cuenta las diferentes características que pueden presentar (sexo, edad y número de personas) definidos por profesionales expertos.

A diferencia de la vulnerabilidad estructural de viviendas, la vulnerabilidad habitacional demográfica se considera igual para cualquier tipo de amenaza, este indicador fue establecido sobre el número total de viviendas de la microcuenca del río Atulapa.

El índice de vulnerabilidad habitacional demográfica se obtiene a partir de la sumatoria de los productos de los pesos de los componentes por los pesos de las características, quedando expresada como:

Ecuación 5.

$$V = \sum \text{Peso Comp.} \times \text{Peso opción}$$

Al obtener los valores del índice de vulnerabilidad éstos se clasifican en alto, medio y bajo según el rango numérico en el que se encuentren.

Los pasos para el cálculo de la vulnerabilidad habitacional demográfica son:

Paso 1. Asignar pesos para los componentes y características.

Tabla 19. Pesos para los componentes y características.

Variable	Peso componente	Peso opción
<i>Sexo del jefe del hogar</i>	3	
Hombre		3
Mujer		5
<i>Edad del jefe del hogar</i>	4	
Adolescente (menor de 20 años)		3
Adulto (20-55 años)		2
Anciano (mayor de 55 años)		5
<i>Relación adultos/niños y ancianos</i>	5	
1 adulto por cada niño o anciano		1
1 adulto por cada 2 niños o ancianos		3
1 adulto por cada 3 o más niños o acianos		5

Fuente: Villagrán, 2002.

Paso 2. Aplicar la fórmula del índice de vulnerabilidad habitacional demográfica:

Ecuación 6.

$$V = \text{Peso Comp.} \times \text{Peso opción} + \text{Peso Comp.} \times \text{Peso opción} \\ + \text{Peso Comp.} \times \text{Peso opción}$$

Paso 3. Asignar el rango para niveles de vulnerabilidad normalizada según el índice de vulnerabilidad obtenido.

8.2.4. Análisis de la información

El resultado de los índices de vulnerabilidad se presenta en matrices, las que describen las características estructurales de las viviendas propensas a sufrir un daño según la amenaza expuesta.

Los índices de vulnerabilidad se calcularon sobre el número total de viviendas en la microcuenca (8,457 viviendas).

8.3. Análisis de riesgo

Para el análisis del riesgo se utilizó a metodología planteada por el Dr. Villagrán en el “Manual para la estimación cuantitativa del riesgos asociados a diversas amenazas” basada en modelos diseñados por Villatek S.A. que no es más que la combinación de números enteros.

8.3.1. Delimitación de zonas homogéneas

Para realizar el análisis de riesgo se delimitaron zonas homogéneas en la microcuenca, con el fin de enfocar el análisis a las zonas que tienen características de suelo y pendientes similares.

La delimitación de zonas homogéneas se realizó con el programa de SIG, analizando las capas de fisiografía, series de suelos y curvas de nivel. A partir de la serie de suelos y la pendiente se delimitaron 5 zonas homogéneas dentro de la región fisiográfica “cerros y colinas irregulares de Esquipulas” que se dividió en tres categorías según la pendiente: alta (1700-2000), media (1300-1600) y baja (1200-100). Otras tres zonas homogéneas fueron delimitadas según la región fisiográfica y series de suelos, como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20. Delimitación de zonas homogéneas

Región fisiográfica	Altitud	Serie de suelos	Zona homogénea
Cerros y colinas irregulares de Esquipulas	Alta (1600-2000)	Chuctal	H-VIII
	Media (1300-1600)	Chuctal	H-VII
		Atulapa	H-VI
	Baja (1000-1200)	Chuctal	H-V
		Atulapa	H-IV
Montañas volcánicas orientales	1000-1100	Atulapa	H-III
Avanico aluvial de Esquipulas	900-1000	Ansay	H-II
	900-1000	Suelos aluviales	H-I

Fuente: Coronado, 2018.

La delimitación de zonas se realizó con la herramienta *Editor*, identificando ocho zonas homogéneas en la microcuenca, como se muestra en la figura 2.

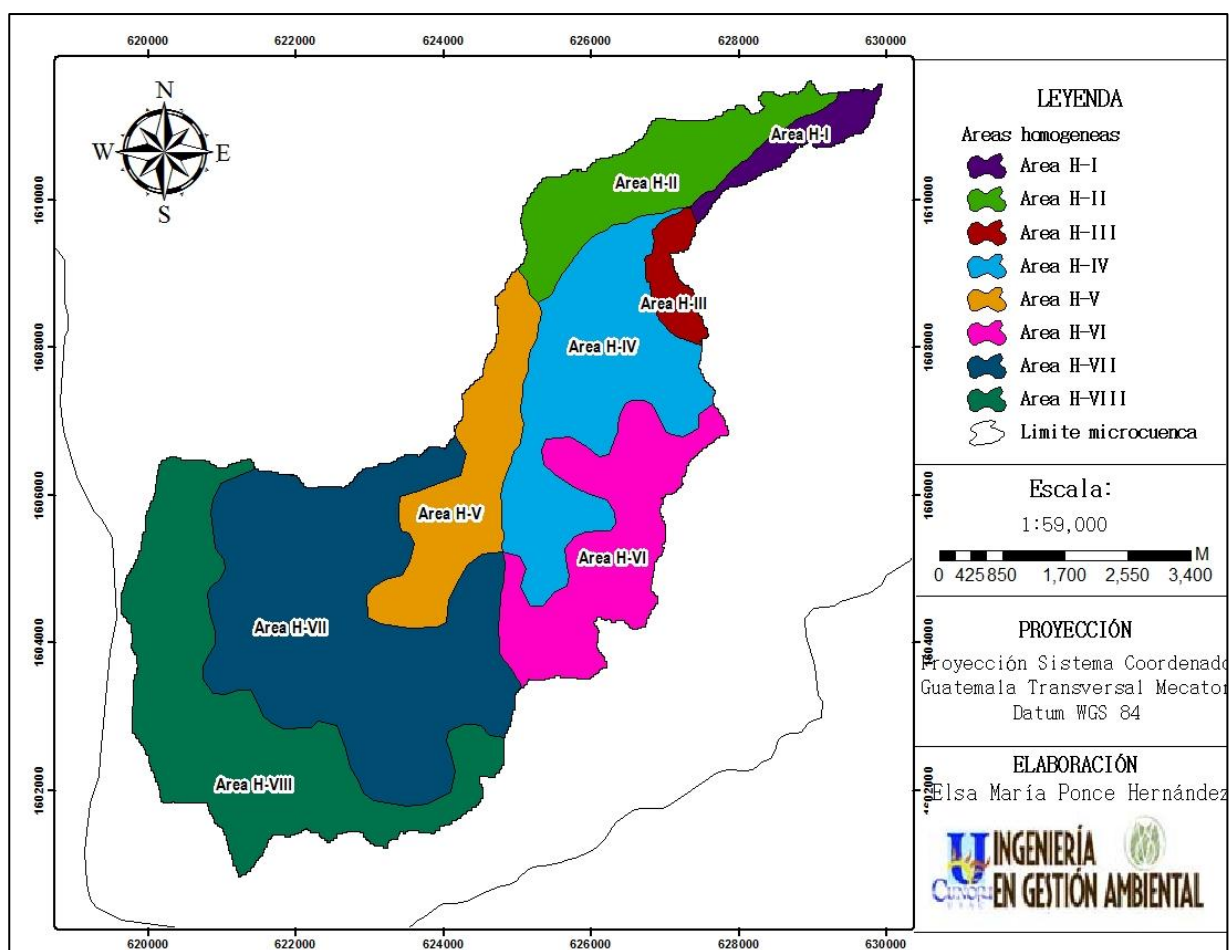


Figura 2. Zonas homogéneas de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

8.3.2. Determinación de indicadores de vulnerabilidad y susceptibilidad por zonas homogéneas

Para aplicar la metodología del riesgo, se establecieron indicadores de susceptibilidad y vulnerabilidad a deslizamientos, inundaciones y sequía para cada zona homogénea.

Para la susceptibilidad, se identificaron puntos muestreados dentro de cada zona homogénea y asignando el índice de susceptibilidad según el promedio de cada variable evaluada, en cada evento correspondiente, obteniendo como resultado el índice de susceptibilidad por zona homogénea.

Tabla 21. Matriz ISDIS para deslizamientos por zonas homogéneas

Zona homogénea	Puntos	Pendiente	Estructura	Textura	Profundidad	Uso	Plasticidad	Geología	Precipitación	Total
I	P22	1	3	1	4	4	3	4	4	24
II	P23	1	2	1	4	4	2	5	4	23
	P21									
III	P20	1	3	1	4	4	3	2	4	22
IV	P19	1	3	1	4	4	3	2	4	22
	P17									
	P16									
V	P18	1	2	2	4	4	3	3	4	23
	P12									
	P8									
VI	P11	1	3	1	4	4	3	1	4	21
	P10									
	P9									
VII	P14	1	3	3	4	4	3	2	4	24
	P13									
	P7									
	P3									
	P2									
VIII	P15	1	3	3	4	2	3	3	4	23
	P6									
	P5									
	P4									
	P1									

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Este proceso se realizó para los eventos inundaciones y sequía; luego se procedió a aplicar la formula ISDIS generando el índice de susceptibilidad para cada zona homogénea por evento.

Tabla 22. Índice de susceptibilidad a deslizamientos, inundaciones y sequía por zona homogénea

Zona homogénea	Puntos	Susceptibilidad a deslizamientos	Susceptibilidad a inundaciones	Susceptibilidad a sequía
I	P22	88.89	95.59	89.47
II	P23	85.19	100	100
	P21			
III	P20	81.48	88.89	84.21
IV	P19	81.48	88.89	84.21
	P17			
	P16			
V	P18	85.19	88.89	84.21
	P12			
	P8			
VI	P11	77.78	88.89	84.21
	P10			
	P9			
VII	P14	88.89	85.19	73.68
	P13			
	P7			
	P3			
	P2			
VIII	P15	85.19	74.07	63.16
	P6			
	P5			
	P4			
	P1			

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para el índice de vulnerabilidad (estructural de viviendas y habitacional demográfico), se identificaron las comunidades dentro de cada zona homogénea, después se les asignó los pesos correspondientes según las características que presentaban las viviendas. Se estableció el índice de vulnerabilidad por comunidad y luego se determinó un promedio para obtener el índice por zona homogénea por evento.

Tabla 23. Índice de vulnerabilidad estructural de viviendas a deslizamientos por zonas homogéneas

Zona homogénea	Comunidades	Índice de vulnerabilidad estructural por deslizamientos
I	Agua Caliente	32.5
	Montesinas	
II	Atulapa	33.73
	Espinos	
	San Joaquín	
	Tizaquín	
	Esquipulas	
	San Joaquín	
	Santa Rosalía	
III	Guayavito	39.33
	El Barrial	
IV	Toreras	38.77
	San Nicolás	
V	El Limón	38.2
	La Cuestona	
VI	Miramundo	39.33
	Toreras	
	Cascajal	
VII	El Duraznal	38.2
	Plan de la Arada	
	Buena Vista	
	Jocotal	
VIII	Portezuelo	38.2

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El mismo procedimiento se realizó para determinar el índice de vulnerabilidad estructural de viviendas a inundaciones y el índice de vulnerabilidad habitacional demográfica a sequías.

8.3.3. Definición de riesgo

Villagrán (2002) explica en su obra “Manual para la estimación cuantitativa del riesgos asociados a diversas amenazas” que el riesgo se compone de diferentes factores: amenazas naturales y socio-naturales; las distintas vulnerabilidades, así como la deficiencia en las medidas de preparación para afrontar dichos desastres.

También explica que para poder analizar las amenazas, es necesario integrar una serie de factores cualitativos característicos de un área geográfica conocida y que su cuantificación o análisis requiere de una extensa evaluación de los distintos factores que propician dicha amenaza. Por ello él hace énfasis en la utilización de la “susceptibilidad” como término para poder integrar todos los factores a los que está ligada la amenaza.

Es así como se realiza un análisis del riesgo, integrando las amenazas y vulnerabilidades del territorio geográfico, para lo cual el Villagrán (2002) utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Indicador del riesgo} = \text{Amenaza (susceptibilidad)} \times \text{cobertura geográfica intrínseca} \times \text{indicador de vulnerabilidad}$$

Así mismo, realizó la matriz de clasificación de riesgos con base a las amenazas (susceptibilidad) y las vulnerabilidades, donde establece tres niveles de riesgo (alto, medio, bajo) a partir de la multiplicación de los coeficientes numéricos respectivos.

Tabla 24. Matriz de clasificación de riesgo normalizado

Amenaza	Vulnerabilidad				
	Baja: 0 - 40		Media: 41 - 70		Alta: 71 - 100
Baja = 1 (ISDIS 0- 30)	0 - 40		41 -70		71 - 80 81 - 100
Media = 2 (ISDIS 31 - 65)	0 - 80		82 - 140		142- 160 161 - 200
Alta = 3 (ISDIS 66 - 100)	0 - 80	81 - 120	123 - 160	161 - 210	213 - 300

Fuente: Villagrán, 2002.

Tabla 25. Rangos de riesgo normalizado

Rango de riesgo normalizado	Clasificación
0 - 80	Bajo
81 - 160	Medio
161 - 300	Alto

Fuente: Villagrán, 2002.

En base a la información, se procede a determinar el riesgo normalizado para cada evento por zona homogénea en la microcuenca.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La investigación realizada en la microcuenca del río Atulapa, en el municipio de Esquipulas, tiene como objeto determinar el riesgo a sequías, deslizamientos e inundaciones aplicando la metodología del Índice de Susceptibilidad a Inundaciones, Deslizamientos y Sequías “ISDIS” y la metodología propuesta por Villagrán (2002) en el “Manual para la estimación cuantitativa del riesgo asociado a diversas amenazas”.

9.1. Determinación del índice de susceptibilidad

Para determinar el Índice de Susceptibilidad a Deslizamientos, Inundaciones y Sequía se determinaron 7 características principales del área de estudio basada en los lineamientos descritos por la metodología “ISDIS”: estructura, textura del suelo, profundidad del suelo, plasticidad, uso de suelo, serie de suelo y geología, que fueron determinadas en cada punto muestreado como se muestran en la tabla 26.

Tabla 26. Características físicas del suelo, microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

Punto	Estructura del suelo	Textura del suelo	Profundidad del suelo	Plasticidad del suelo	Uso del suelo	Serie de suelo	Geología	Punto	Estructura del suelo	Textura del suelo	Profundidad del suelo	Plasticidad del suelo	Uso del suelo	Serie de suelo	Geología
P1	Esferoidal	Arcillo arenoso	80	Ligeramente plástico	Latifoliadas	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Toba masiva sobreyaciendo a toba volcánica clástica	P12	Esferoidal	Arcilla	80	Plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Toba volcánica consolidada
P2	Blocosa	Franco arcilloso	80	Plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Toba densa masiva coloración blanca	P13	Esferoidal	Arcilla	80	Ligeramente plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Volcánico no diferenciado
P3	Esferoidal	Franco	80	No plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Toba volcánica consolidada	P14	Esferoidal	Franco arcilla limoso	80	Ligeramente plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Toba masiva dura coloración beige
P4	Esferoidal	Franco arcillo arenoso	80	No plástico	Latifoliadas	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Volcánico no diferenciado	P15	Esferoidal	Franco arcilloso	80	No plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Suelo negro pardo
P5	Blocosa	Arcillo arenoso	80	Ligeramente plástico	Latifoliadas	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Toba densa masiva coloración blanca	P16	Esferoidal	Franco arcilla limoso	100	Plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Toba volcánica dacítica consolidada poco fracturada
P6	Esferoidal	Franco arcillo arenoso	80	No plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Volcánico no diferenciado	P17	Esferoidal	Franco arcilla limoso	100	Ligeramente plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Toba masiva dura coloración beige
P7	Esferoidal	Franco arcillo arenoso	80	Ligeramente plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Toba masiva dura coloración beige	P18	Blocosa	Franco limoso		Ligeramente plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Toba volcánica dura fracturada
P8	Esferoidal	Franco	80	No plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Suelo negro pardo	P19	Blocosa	Franco limoso	100	Plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Material aluvional
P9	Esferoidal	Arcilla	100	Ligeramente plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Toba masiva muy dura coloración beige	P20	Blocosa	Arcilloso	100	Plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Toba volcánica muy densa poco fracturada
P10	Blocosa	Arcilla	100	Plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Toba masiva dura coloración beige	P21	Esferoidal	Franco arcillo arenoso	50	Ligeramente plástico	Café	Andosoles, Entisoles, Alfisoles, Molisoles	Suelo negro pardo
P11	Esferoidal	Arcilla	100	Muy plástico	Café	Andosoles, Alfisoles, Ultisoles	Conglomerado volcánico consolidado	P22	Esferoidal	Franco arcilloso	50	No plástico	Cultivo Limpio Anual	Andosoles, Entisoles, Alfisoles, Molisoles	Toba volcánica suelta
								P23	Blocosa	Arcilloso	50	Muy plástico	Cultivo Limpio Anual	Andosoles, Entisoles, Alfisoles, Molisoles	Toba caolinitica

Fuente: Elaboración propia, 2019.

9.1.1. Susceptibilidad a deslizamientos

Para determinar la susceptibilidad a deslizamientos con la metodología “ISDIS”, se evaluaron las variables: pendiente, estructura, textura, profundidad, uso, plasticidad, geología y precipitación, de manera que se les asigno un índice (valor numérico) en cada punto de muestreo de la microcuenca del río Atulapa. Después de asignar el índice de susceptibilidad, se procedió a realizar la sumatoria de los índices obtenidos de cada variable en cada punto y posteriormente determinar el índice de susceptibilidad.

La tabla 27, muestra el índice de susceptibilidad asignado por variable para obtener el índice de susceptibilidad a deslizamientos en cada punto de muestreo.

Tabla 27. Matriz “ISDIS” de susceptibilidad a deslizamientos en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

Punto	Pendiente	Estructura	Textura	Profundidad	Uso	Plasticidad	Geología	Precipitación	Total
P1	1	4	3	4	1	3	2	4	22
P2	1	3	5	4	4	2	1	4	24
P3	1	4	5	4	4	4	1	4	27
P4	1	4	5	4	1	4	4	4	27
P5	1	3	3	4	1	3	1	4	20
P6	1	4	5	4	4	4	4	4	30
P7	1	4	5	4	4	3	1	4	26
P8	1	1	5	4	4	3	6	4	28
P9	1	4	1	4	4	4	1	4	23
P10	1	3	1	4	4	3	1	4	21
P11	1	3	1	4	4	3	1	4	21
P12	1	3	1	4	4	3	1	4	21
P13	1	3	1	4	4	3	4	4	24
P14	1	3	1	4	4	3	1	4	21
P15	1	1	1	4	4	3	6	4	24
P16	1	3	1	4	4	3	1	4	21
P17	1	3	1	4	4	3	1	4	21
P18	1	3	1	4	4	3	2	4	22
P19	1	3	1	4	4	3	5	4	25
P20	1	3	1	4	4	3	2	4	22
P21	1	1	1	4	4	3	6	4	24
P22	1	3	1	4	4	3	4	4	24
P23	1	3	1	3	3	1	3	4	19

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los valores máximos obtenidos de los índices para los deslizamientos, se muestran en la tabla 28.

Tabla 28. Valores máximos de susceptibilidad a deslizamientos

Parámetro	Números Máximos
Pendiente	1
Estructura	4
Textura	5
Profundidad	4
Uso	4
Plasticidad	4
Geología	6
Precipitación	4
Total	32

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La tabla 29, muestra la ponderación obtenida a partir de la aplicación de la metodología “ISDIS” para cada uno de los puntos muestreados en la microcuenca, así mismo se presenta el porcentaje de susceptibilidad, donde se observa que el punto P6, ubicado en la parte alta de la microcuenca, es el de mayor susceptibilidad con un 93.75%.

El punto P23, ubicado en la parte baja de la microcuenca, presenta menor susceptibilidad con un 59.38%. El promedio de susceptibilidad a deslizamientos en la microcuenca del río Atulapa, es de 72.96%.

De acuerdo al rango de susceptibilidad el punto P23 posee susceptibilidad a deslizamientos “Media”, los puntos P3, P4, P6. P7 y P8 poseen una susceptibilidad a deslizamientos “Muy alta” y los puntos P1, P2, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21 y P22 poseen una susceptibilidad a deslizamientos “Alta”; según los valores el promedio indica que la microcuenca del río Atulapa posee una susceptibilidad “Alta” a deslizamientos.

Tabla 29. Porcentaje y rango de susceptibilidad a deslizamientos para cada punto de muestreo en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

Descripción	Fórmula ISDIS	Porcentaje de Susceptibilidad	Rango de Susceptibilidad
P1	(22/32) 100	68.75	Alta
P2	(24/32) 100	75.00	Alta
P3	(27/32) 100	84.38	Muy Alta
P4	(27/32) 100	84.38	Muy Alta
P5	(20/32) 100	62.50	Alta
P6	(30/32) 100	93.75	Muy Alta
P7	(26/32) 100	81.25	Muy Alta
P8	(28/32) 100	87.50	Muy Alta
P9	(23/32) 100	71.88	Alta
P10	(21/32) 100	65.63	Alta
P11	(21/32) 100	65.63	Alta
P12	(21/32) 100	65.63	Alta
P13	(24/32) 100	75.00	Alta
P14	(21/32) 100	65.63	Alta
P15	(24/32) 100	75.00	Alta
P16	(21/32) 100	65.63	Alta
P17	(21/32) 100	65.63	Alta
P18	(22/32) 100	68.75	Alta
P19	(25/32) 100	78.13	Alta
P20	(22/32) 100	68.75	Alta
P21	(24/32) 100	75.00	Alta
P22	(24/32) 100	75.00	Alta
P23	(19/32) 100	59.38	Media
Promedio		72.96	Alta

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 30, se muestran los rangos de porcentaje de susceptibilidad a deslizamientos establecidos por la metodología “ISDIS”.

Tabla 30. Rangos de susceptibilidad a deslizamientos según la metodología “ISDIS”

Porcentaje de susceptibilidad	Rangos
0 - 30	Baja
30 - 60	Media
60 - 80	Alta
> 80	Muy alta

La figura 3, muestra que las comunidades de Llano Verde, Los Pinos, Santa Rosalía, San Nicolás, El Limón, Jocotal, La Cuestona, La Torera, El Duraznal y La Granadilla se encuentran dentro de las zonas con susceptibilidad “Alta” a deslizamientos, y las comunidades Plan de la Arada, El Porvenir y parte de la aldea Atulapa están en la zona con susceptibilidad “Media”, es decir que el 3.01% (245 viviendas) de la población de la microcuenca tiene susceptibilidad “Media” a deslizamientos y el 96.99% (8,212 viviendas) tiene susceptibilidad “Alta” a deslizamientos.

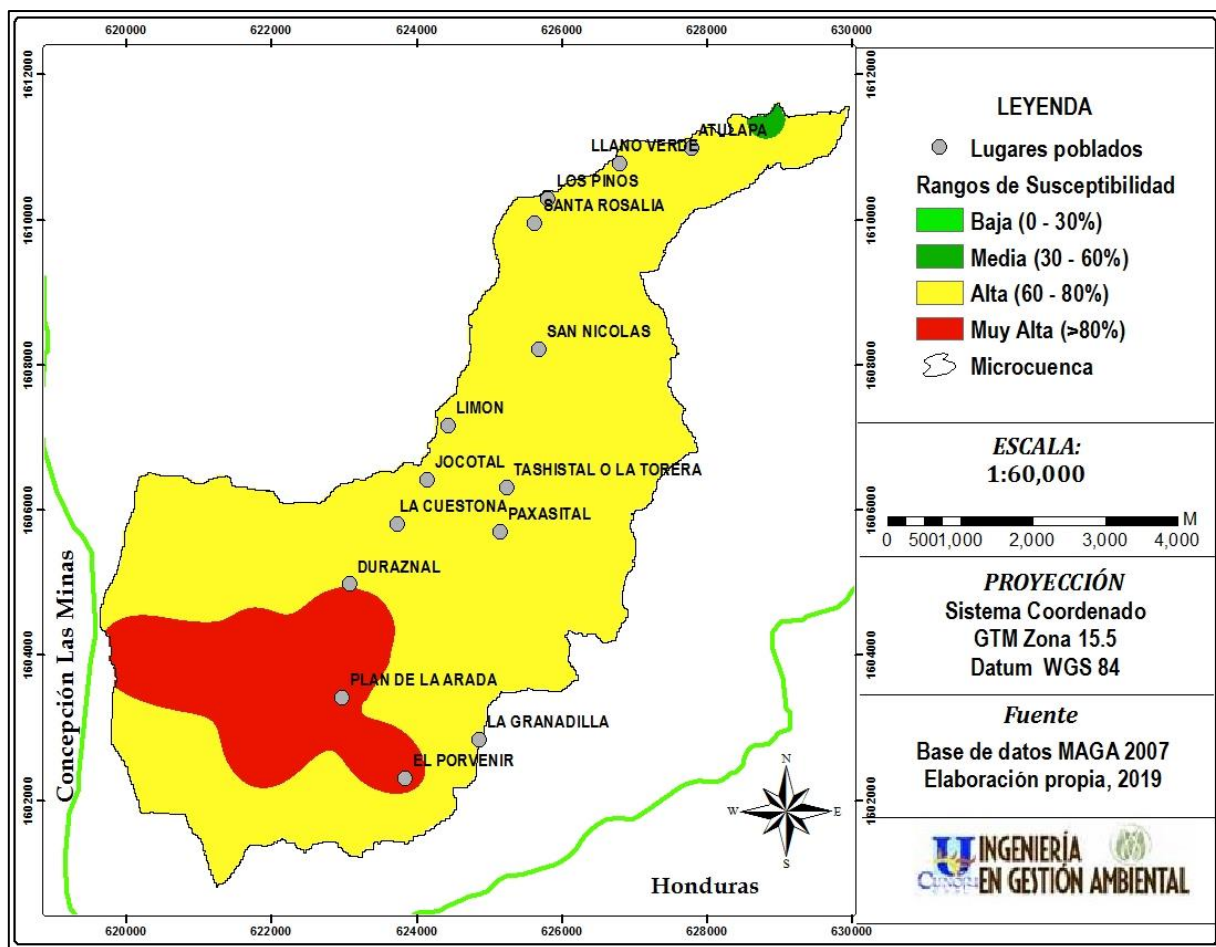


Figura 3. Zonas susceptibles a deslizamientos en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

El área en la microcuenca con una susceptibilidad a deslizamientos “Alta” tiene 35.86 km², donde se ubican 20 comunidades de las 23 y el área con susceptibilidad a deslizamientos “Muy Alta” es de 7.54 km² donde se ubican tres comunidades.

9.1.2. Susceptibilidad a inundaciones

Para determinar la susceptibilidad a inundaciones se evaluaron las variables: pendiente, estructura del suelo, textura del suelo, profundidad del suelo, uso del suelo, tipo de suelo y precipitación (mm/día) asignándoles el índice según la metodología “ISDIS”. La tabla 31, muestra el índice de susceptibilidad a inundaciones para cada punto muestreado en la microcuenca.

Tabla 31. Matriz “ISDIS” de susceptibilidad a inundaciones en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

Punto	Pendiente	Estructura	Textura	Profundidad	Uso	Tipo	Precipitación	Total
P1	4	1	5	2	1	1	4	18
P2	4	2	3	2	4	1	4	20
P3	4	1	3	2	4	1	4	19
P4	4	1	3	2	1	1	4	16
P5	4	2	5	2	1	1	4	19
P6	4	1	3	2	4	1	4	19
P7	4	1	3	2	4	1	4	19
P8	4	4	3	2	4	1	4	22
P9	4	1	7	2	4	1	4	23
P10	4	2	7	2	4	1	4	24
P11	4	2	7	2	4	1	4	24
P12	4	2	7	2	4	1	4	24
P13	4	2	7	2	4	1	4	24
P14	4	2	7	2	4	1	4	24
P15	4	4	7	2	4	1	4	26
P16	4	2	7	2	4	1	4	24
P17	4	2	7	2	4	1	4	24
P18	4	2	7	2	4	1	4	24
P19	4	2	7	2	4	1	4	24
P20	4	2	7	2	4	1	4	24
P21	4	4	7	2	4	2	4	27
P22	4	2	7	2	4	2	4	25
P23	4	2	7	3	3	2	4	25

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 32, se muestran los valores máximos de susceptibilidad a inundaciones según la metodología “ISDIS”

Tabla 32. Valores máximos de susceptibilidad a inundaciones

Parámetro	Números Máximos
Pendiente	4
Estructura	4
Textura	7
Profundidad	3
Uso	4
Tipo	2
Precipitación	4
Total	28

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 33, se muestra la ponderación obtenida con la aplicación de la metodología “ISDIS” en cada punto de muestreo de la microcuenca, así como el porcentaje de susceptibilidad; donde se puede observar que el punto P21, ubicado en la parte baja de la microcuenca, es el que presenta un mayor porcentaje de susceptibilidad a inundaciones con 96.46% y el punto P4 ubicado en la parte alta de la microcuenca, es el que presenta el menor porcentaje de susceptibilidad con 57.14%. En promedio, el porcentaje de susceptibilidad a inundaciones en la microcuenca del río Atulapa es de 80.43%.

De acuerdo al rango de susceptibilidad uno de los 23 puntos tienen susceptibilidad a inundaciones “Media”, 7 puntos tienen susceptibilidad a inundaciones “Alta” y 15 puntos tienen susceptibilidad a inundaciones “Muy Alta”.

Tabla 33. Porcentaje y rango de susceptibilidad a inundaciones para cada punto de muestreo, en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

Descripción	Fórmula ISDIS	Porcentaje de Susceptibilidad	Rango de Susceptibilidad
P1	(18/28) 100	64.29	Alta
P2	(20/18) 100	71.43	Alta
P3	(19/28) 100	67.86	Alta
P4	(16/28) 100	57.14	Media
P5	(19/28) 100	67.86	Alta
P6	(19/28) 100	67.86	Alta
P7	(19/28) 100	67.86	Alta
P8	(22/28) 100	78.57	Alta
P9	(23/28) 100	82.14	Muy Alta
P10	(24/28) 100	85.71	Muy Alta
P11	(24/28) 100	85.71	Muy Alta
P12	(24/28) 100	85.71	Muy Alta
P13	(24/28) 100	85.71	Muy Alta
P14	(24/28) 100	85.71	Muy Alta
P15	(26/28) 100	92.86	Muy Alta
P16	(24/28) 100	85.71	Muy Alta
P17	(24/28) 100	85.71	Muy Alta
P18	(24/28) 100	85.71	Muy Alta
P19	(24/28) 100	85.71	Muy Alta
P20	(24/28) 100	85.71	Muy Alta
P21	(27/28) 100	96.43	Muy Alta
P22	(25/28) 100	89.29	Muy Alta
P23	(25/28) 100	89.29	Muy Alta
Promedio		80.43	Muy Alta

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La figura 4, muestra las comunidades ubicadas en la parte baja de la microcuenca con susceptibilidad a inundaciones “Muy Alta”: Atulapa, Llano Verde, Los Pinos, Santa Rosalía, San Nicolás, El Limón, Jocotal, La Cuestona, Paxastal, La Torera y parte de El Duraznal con el 97.94% de la población. El 2.06% de la población posee susceptibilidad a inundaciones “Alta” que corresponden a las comunidades de Plan de la Arada, La Granadilla y El Porvenir ubicadas en la parte alta de la microcuenca.

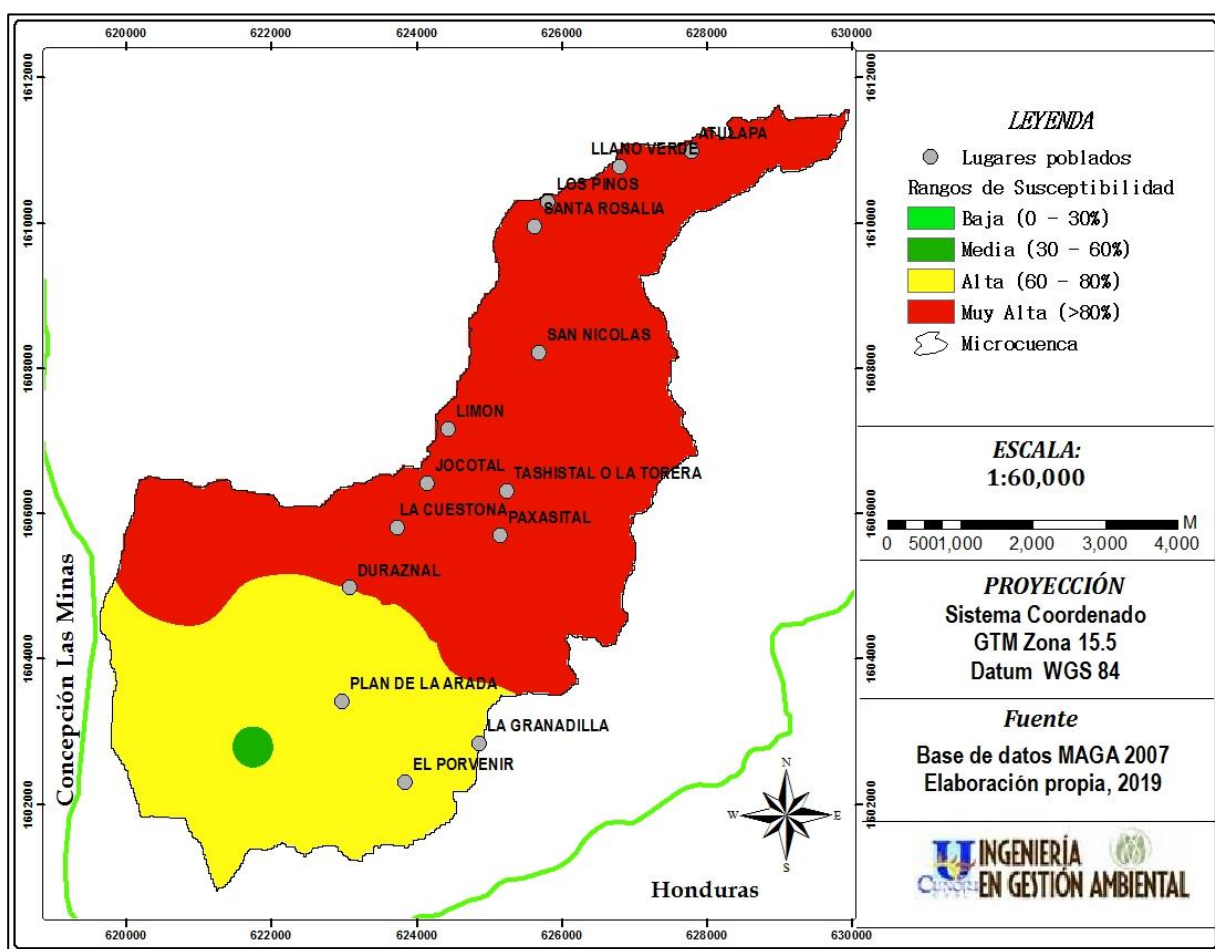


Figura 4. Zonas susceptibles a inundaciones en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

La susceptibilidad “Muy Alta” a inundaciones ocupa un área de 27.50 km² de la microcuenca donde se encuentran ubicadas 18 comunidades y el área con susceptibilidad “Alta” a inundaciones es de 15.81 km² donde se ubican cinco comunidades.

9.1.3. Susceptibilidad a sequía

Para determina la susceptibilidad a sequía se evaluaron: pendiente, estructura del suelo, textura del suelo, profundidad del suelo, uso del suelo, tipo de suelo, precipitación (mm/trimestre) asignándoles el índice según la metodología “ISDIS”. El índice de susceptibilidad a sequía asignado a cada punto de muestreo en la microcuenca se muestra en la tabla 34.

Tabla 34. Matriz “ISDIS” de susceptibilidad a sequía en la microcuenca del Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

Punto	Pendiente	Estructura	Textura	Profundidad	Uso	Tipo	Precipitación	Total
P1	1	1	3	2	1	1	1	10
P2	1	2	1	2	4	1	1	12
P3	1	1	1	2	4	1	1	11
P4	1	1	1	2	1	1	1	8
P5	1	2	3	2	1	1	1	11
P6	1	1	1	2	4	1	1	11
P7	1	1	1	2	4	1	1	11
P8	1	4	1	2	4	1	1	14
P9	1	1	5	2	4	1	1	15
P10	1	2	5	2	4	1	1	16
P11	1	2	5	2	4	1	1	16
P12	1	2	5	2	4	1	1	16
P13	1	2	5	2	4	1	1	16
P14	1	2	5	2	4	1	1	16
P15	1	4	5	2	4	1	1	18
P16	1	2	5	2	4	1	1	16
P17	1	2	5	2	4	1	1	16
P18	1	2	5	2	4	1	1	16
P19	1	2	5	2	4	1	1	16
P20	1	2	5	2	4	1	1	16
P21	1	4	5	2	4	2	1	19
P22	1	2	5	2	4	2	1	17
P23	1	2	5	3	3	2	1	17

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La tabla 35, muestra los valores máximos de susceptibilidad a inundaciones según la metodología “ISDIS”.

Tabla 35. Valores máximos de susceptibilidad a sequía

Parámetro	Números Máximos
Pendiente	1
Estructura	4
Textura	5
Profundidad	2
Uso	4
Tipo	2
Precipitacion	1
Total	19

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La tabla 36, muestra la ponderación obtenida con la aplicación de la metodología “ISDIS” en cada punto de muestreo en la microcuenca, así mismo, se presenta el porcentaje de susceptibilidad donde se observa que el punto P21, ubicado en la parte baja de la microcuenca, es el de mayor porcentaje de susceptibilidad a sequía con el 100%, el punto P4, ubicado en la parte alta de la microcuenca, es el de menor porcentaje de susceptibilidad a sequía con el 42.11%. En promedio, el porcentaje de susceptibilidad a sequía de la microcuenca es de 76.43%.

De acuerdo al rango de susceptibilidad, 6 puntos de muestreo en la microcuenca tienen susceptibilidad a sequía “Media”, tres puntos tienen una susceptibilidad a sequía “Alta” y 14 puntos tienen una susceptibilidad a sequía “Muy Alta”.

Tabla 36. Porcentaje y rango de susceptibilidad a sequía para cada punto de muestreo en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

Descripción	Fórmula ISDIS	Porcentaje de Susceptibilidad	Rango de Susceptibilidad
P1	(10/19) 100	52.63	Media
P2	(12/19) 100	63.16	Alta
P3	(11/19) 100	57.89	Media
P4	(8/19) 100	42.11	Media
P5	(11/19) 100	57.89	Media
P6	(11/19) 100	57.89	Media
P7	(11/19) 100	57.89	Media
P8	(14/19) 100	73.68	Alta
P9	(15/19) 100	78.95	Alta
P10	(16/19) 100	84.21	Muy Alta
P11	(16/19) 100	84.21	Muy Alta
P12	(16/19) 100	84.21	Muy Alta
P13	(16/19) 100	84.21	Muy Alta
P14	(16/19) 100	84.21	Muy Alta
P15	(18/19) 100	84.21	Muy Alta
P16	(16/19) 100	94.74	Muy Alta
P17	(16/19) 100	84.21	Muy Alta
P18	(16/19) 100	84.21	Muy Alta
P19	(16/19) 100	84.21	Muy Alta
P20	(16/19) 100	84.21	Muy Alta
P21	(19/19) 100	100.00	Muy Alta
P22	(17/19) 100	89.47	Muy Alta
P23	(17/19) 100	89.47	Muy Alta
Promedio		76.43	Alta

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La figura 5, muestra que la comunidad de El Porvenir se encuentra dentro de la zona con susceptibilidad a sequía “Media” con el 0.88% de la población, las comunidades de Plan de la Arada, La Granadilla y El Duraznal se encuentran en la zona con susceptibilidad a sequía “Alta” con el 1.99% de la población y el 97.13% de la población se encuentra en las comunidades dentro de la zona con susceptibilidad a sequía “Muy Alta” las cuales son: Atulapa, Llano verde, Los Pinos, Santa Rosalía, San Nicolás, El Limón, Jocotal, La Torera, Las Cuestona, y Paxastal.

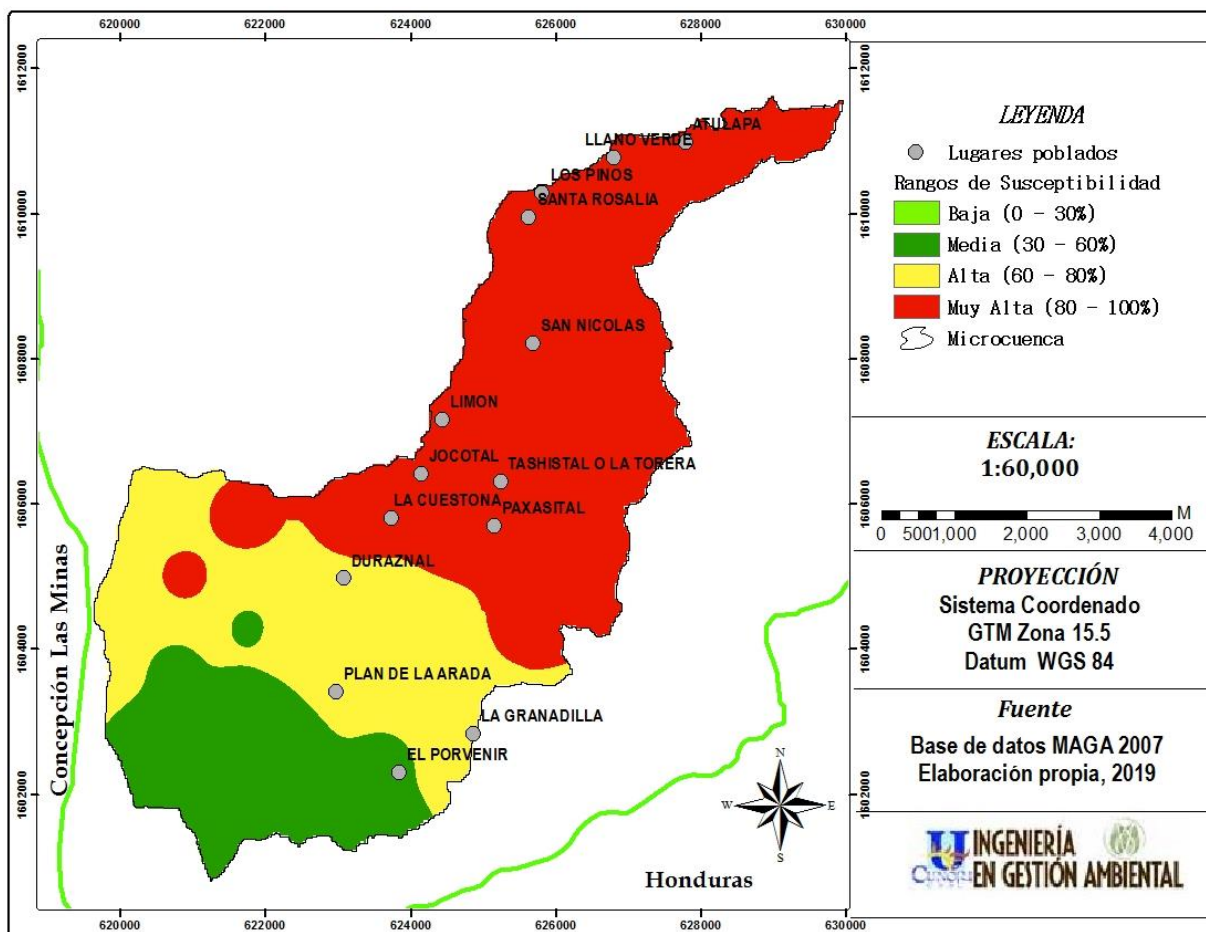


Figura 5. Zonas susceptibles a sequía en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

La microcuenca del río Atulapa tiene 22.74 km² con susceptibilidad “Muy Alta” a sequía donde se ubican 17 comunidades, el área con susceptibilidad “Alta” a sequía es de 12.53 km² con 3 comunidades y el área con susceptibilidad “Media” a sequía es de 8.12 km² con 3 comunidades.

La tabla 37, muestra el resumen del rango de susceptibilidad para cada evento evaluado en la microcuenca del río Atulapa, donde los rangos “Muy alta” se muestra con mayor frecuencia para los eventos de inundaciones y sequía. Según los resultados el rango promedio de susceptibilidad de la microcuenca es “Alta”.

Tabla 37. Susceptibilidad a desastres naturales en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas.

Punto	Susceptibilidad a inundaciones	Susceptibilidad a deslizamientos	Susceptibilidad a sequía
P1	Alta	Alta	Media
P2	Alta	Alta	Alta
P3	Alta	Muy Alta	Media
P4	Media	Muy Alta	Media
P5	Alta	Alta	Media
P6	Alta	Muy Alta	Media
P7	Alta	Muy Alta	Media
P8	Alta	Muy Alta	Alta
P9	Muy Alta	Alta	Alta
P10	Muy Alta	Alta	Muy Alta
P11	Muy Alta	Alta	Muy Alta
P12	Muy Alta	Alta	Muy Alta
P13	Muy Alta	Alta	Muy Alta
P14	Muy Alta	Alta	Muy Alta
P15	Muy Alta	Alta	Muy Alta
P16	Muy Alta	Alta	Muy Alta
P17	Muy Alta	Alta	Muy Alta
P18	Muy Alta	Alta	Muy Alta
P19	Muy Alta	Alta	Muy Alta
P20	Muy Alta	Alta	Muy Alta
P21	Muy Alta	Alta	Muy Alta
P22	Muy Alta	Alta	Muy Alta
P23	Muy Alta	Media	Muy Alta
Promedio			Alta

Fuente: Elaboración propia, 2019.

9.2. Índice de vulnerabilidad estructural de las viviendas

La información para determinar el índice de vulnerabilidad estructural de viviendas, se obtuvo con el levantamiento de información producto de la muestra de las viviendas en la microcuenca. Para determinar la muestra se utilizó el muestreo aleatorio irrestricto, con un tamaño de muestra de 96 viviendas.

Las variables utilizadas para determinar el índice de vulnerabilidad estructural de viviendas fueron: materiales de construcción de paredes, materiales de construcción del techo y materiales de construcción del piso de las viviendas. Donde el análisis de la información se realizó por medio de la prueba de Chi-cuadrado para determinar la significancia.

9.2.1. Índice de vulnerabilidad estructural de las viviendas por inundaciones

Para determinar el índice de vulnerabilidad estructural de las viviendas a inundaciones se consideró el componente “paredes” y las variables de este. Con la información se procedió a asignar los pesos correspondientes al componente y sus variables según la metodología propuesta por Villagrán (2002).

Los rangos de vulnerabilidad fueron definidos por el valor del índice de vulnerabilidad estructural obtenido a partir de la aplicación de la metodología. Después se determinó el porcentaje de viviendas, utilizando la muestra, que presentaron las características de las variables evaluadas.

La variable de mayor índice es adobe/bajareque con un valor de 100, mientras que el índice más bajo lo obtuvo block/concreto/ladrillo con un valor de 10, estas variables corresponden al componente “paredes” y hacen referencia al material con el que está elaborada.

La tabla 38, muestra el porcentaje de viviendas con paredes correspondientes a las variables evaluadas, donde las paredes de “block/concreto/ladrillo” tienen el mayor con 79.22%, mientras que las paredes “madera/lepa/palo/caña” y “lámina metálica/otro” presentan un menor porcentaje con 2.36% cada una. De igual manera se determinaron los rangos de vulnerabilidad estructural a partir de los índices establecidos, donde las viviendas con paredes de block/concreto/ladrillo tienen “Bajo” rango de vulnerabilidad estructural a inundaciones y las viviendas con paredes de adobe/bajareque tienen un “Alto” rango de vulnerabilidad estructural a inundaciones.

Tabla 38. Porcentaje de viviendas con vulnerabilidad estructural a inundaciones en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

Variable	Índice de vulnerabilidad	Porcentaje de viviendas	Rango de Vulnerabilidad
Adobe/bajareque	$(10 \times 10) = 100$	26.05	Alto
Block/concreto/ladrillo	$(10 \times 1) = 10$	69.79	Bajo
Madera/lepa/palo/caña	$(10 \times 5) = 50$	2.08	Medio
Lámina metálica/otro	$(10 \times 5) = 50$	2.08	Medio

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La tabla 39, muestra los rangos de vulnerabilidad estructural de las viviendas a inundaciones de la metodología propuesta por Villagrán (2002), donde se observan los intervalos establecidos para cada rango, “Bajo”, “Medio” y “Alto”.

Tabla 39. Rango de vulnerabilidad estructural a inundaciones según la metodología propuesta por Villagrán (2002)

Rango numérico de vulnerabilidad normalizada	Clasificación
0 - 40	Bajo
41 - 70	Medio
71 - 100	Alto

9.2.2. Índice de vulnerabilidad estructural de viviendas a deslizamientos

Para el índice de vulnerabilidad estructural de viviendas a deslizamientos se consideraron los componentes “paredes” “piso” y “techo” y las combinaciones de éstos; por lo que se agruparon en “combinaciones” para facilitar la aplicación de la metodología. De acuerdo a la información se procedió a asignar los pesos correspondientes a los componentes y sus combinaciones según la metodología de Villagrán (2002).

Al aplicar la metodología se obtuvo el valor del índice de vulnerabilidad estructural con el cual se estableció el rango correspondiente. Para cada “combinación” se estableció el porcentaje de viviendas que presentaron las características de las variables evaluadas.

La combinación 12 (piso de tierra, paredes de adobe/bajareque y techo de teja) es la que obtuvo el mayor índice de vulnerabilidad estructural con 64, mientras que el menor índice corresponde a la combinación 10 (piso de ladrillo/cemento, paredes block/concreto/ladrillo y techo de concreto) con un valor de 19.

La tabla 40, muestra la vulnerabilidad estructural a deslizamientos, donde la combinación 2 (piso de torta de cemento, paredes de adobe/bajareque y techo de teja) tiene un 28.13% de viviendas, mientras que la combinación 12 (piso de tierra, paredes de adobe/bajareque y techo de teja) y 13 (piso de ladrillo/cemento, paredes de block/concreto/ladrillo y techo de teja) tienen el menor porcentaje de viviendas con 1.04% cada una. De igual manera se establecieron los rangos de vulnerabilidad estructural a partir de los índices establecidos, de los que 7 combinaciones tienen un “Bajo” rango de vulnerabilidad estructural a deslizamientos y 6 combinaciones tienen clasificación “Media” de vulnerabilidad estructural a deslizamientos.

Tabla 40. Porcentaje de viviendas con vulnerabilidad estructural a deslizamientos en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

Variable	Descripción		Índice de vulnerabilidad estructural	Rango de Vulnerabilidad	Porcentaje de viviendas
	Componentes	Material			
Combinación 1	Piso	Torta de cemento/barro	$(1*1)+(6*6)+(3*7) = 58$	Medio	4.16
	Paredes	Adobe/bajareque			
	Techo	Teja			
Combinación 2	Piso	Ladrillo/cemento	$(1*1)+(6*2)+(3*3) = 22$	Bajo	28.13
	Paredes	Block/concreto/ladrillo			
	Techo	Lámina metálica/asbesto-cemento			
Combinación 3	Piso	Torta de cemento/barro	$(1*1)+(6*6)+(3*3) = 46$	Medio	10.41
	Paredes	Adobe/bajareque			
	Techo	Lámina metálica/asbesto-cemento			
Combinación 4	Piso	Torta de cemento/barro	$(1*1)+(6*2)+(3*3) = 22$	Bajo	16.67
	Paredes	Block/concreto/ladrillo			
	Techo	Lámina metálica/asbesto-cemento			
Combinación 5	Piso	Tierra	$(1*7)+(6*3)+(3*3) = 34$	Bajo	2.08
	Paredes	Lámina metálica/otro			
	Techo	Lámina metálica/asbesto-cemento			
Combinación 6	Piso	Tierra	$(1*7)+(6*3)+(3*3) = 34$	Bajo	2.08
	Paredes	Madera/Lepa/caña			
	Techo	Lámina metálica/asbesto-cemento			
Combinación 7	Piso	Tierra	$(1*7)+(6*2)+(3*3) = 28$	Bajo	5.21
	Paredes	Block/concreto/ladrillo			
	Techo	Lámina metálica/asbesto-cemento			
Combinación 8	Piso	Tierra	$(1*7)+(6*6)+(3*3) = 52$	Medio	7.29
	Paredes	Adobe/bajareque			
	Techo	Lámina metálica/asbesto-cemento			
Combinación 9	Piso	Ladrillo/cemento	$(1*1)+(6*6)+(3*7) = 58$	Medio	3.12
	Paredes	Adobe/bajareque			
	Techo	Teja			
Combinación 10	Piso	Ladrillo/cemento	$(1*1)+(6*2)+(3*2) = 19$	Bajo	16.67
	Paredes	Block/concreto/ladrillo			
	Techo	Concreto			
Combinación 11	Piso	Ladrillo/cemento	$(1*1)+(6*6)+(3*3) = 46$	Medio	2.08
	Paredes	Adobe/bajareque			
	Techo	Lámina metálica/asbesto-cemento			
Combinación 12	Piso	Tierra	$(1*7)+(6*6)+(3*7) = 64$	Medio	1.05
	Paredes	Adobe/bajareque			
	Techo	Teja			
Combinación 13	Piso	Ladrillo/cemento	$(1*1)+(6*2)+(3*7) = 34$	Bajo	1.05
	Paredes	Block/concreto/ladrillo			
	Techo	Teja			

Fuente: Elaboración propia, 2019.

9.3. Índice de vulnerabilidad habitacional demográfica para cualquier tipo de evento

Para el índice de vulnerabilidad habitacional demográfica se consideraron los componentes “sexo del jefe del hogar” “edad del jefe del hogar” y “relación adultos/niños y ancianos” y las diferentes variables de éstos que se agruparon en “casos” para facilitar la aplicación de la metodología. Con la información se procedió a asignar el peso correspondiente a los componentes y sus combinaciones según la metodología de Villagrán (2002).

Los rangos de vulnerabilidad fueron asignados según el valor del índice de vulnerabilidad habitacional demográfica determinado a partir de la aplicación de la metodología. Se determinó el porcentaje de viviendas que presentaron las características de las variables evaluadas por cada caso establecido.

La combinación con el índice más alto es el caso 11 (mujer, 56 años o mayor, un adulto por cada dos niños) con valor de 50 y el índice más bajo lo tiene el caso 2 (hombre, 20-55 años, un adulto por cada niño/anciano) con valor de 18.

En la tabla 41, se muestra el porcentaje de las viviendas con vulnerabilidad habitacional demográfica que presentan las características de las variables evaluadas, siendo el caso 2 (hombre, 20-55 años, un adulto por cada niño/anciano) el mayor con valor de 51.04% y los casos 1, 6, 9 y 11 presentan el menor porcentaje con 1.04% cada uno. De igual manera se establecieron los rangos de vulnerabilidad habitacional demográfica a partir de los índices establecidos, donde 8 casos tienen “Bajo” rango de vulnerabilidad habitacional demográfica y 3 casos tienen un rango de vulnerabilidad demográfica habitacional “Medio”.

Tabla 41. Porcentaje de viviendas con vulnerabilidad habitacional demográfica en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

Variable	Descripción		Índice de vulnerabilidad habitacional	Rango de Vulnerabilidad	Porcentaje de Viviendas
	Componente	Opción			
Caso 1	Sexo	Hombre	$(3*3)+(4*3)+(5*1) = 26$	Bajo	1.04
	Edad	menor de 20			
	Relación	1 adulto por cada niño o anciano			
Caso 2	Sexo	Hombre	$(3*3)+(4*1)+(5*1) = 18$	Bajo	51.04
	Edad	20 - 55			
	Relación	1 adulto por cada niño o anciano			
Caso 3	Sexo	Hombre	$(3*3)+(4*1)+(5*3) = 28$	Bajo	9.37
	Edad	20 - 55			
	Relación	1 adulto por cada dos niños o ancianos			
Caso 4	Sexo	Hombre	$(3*3)+(4*1)+(5*5) = 38$	Bajo	3.12
	Edad	20 - 55			
	Relación	1 adulto por cada 3 o más niños o ancianos			
Caso 5	Sexo	Hombre	$(3*3)+(4*5)+(5*1) = 34$	Bajo	9.37
	Edad	Mayor de 55			
	Relación	1 adulto por cada niño o anciano			
Caso 6	Sexo	Hombre	$(3*3)+(4*5)+(5*3) = 44$	Medio	1.04
	Edad	Mayor de 55			
	Relación	1 adulto por cada dos niños o ancianos			
Caso 7	Sexo	Mujer	$(3*5)+(4*1)+(5*1) = 24$	Bajo	17.7
	Edad	20 - 55			
	Relación	1 adulto por cada niño o anciano			
Caso 8	Edad	20- 55	$(3*5)+(4*1)+(5*3) = 34$	Bajo	2.08
	Relación	1 adulto por cada dos niños o ancianos			
Caso 9	Sexo	Mujer	$(3*5)+(4*1)+(5*5) = 44$	Medio	1.04
	Edad	21 - 55			
	Relación	1 adulto por cada 3 o más niños o ancianos			
Caso 10	Sexo	Mujer	$(3*5)+(4*5)+(5*1) = 40$	Bajo	3.12
	Edad	Mayor de 55			
	Relación	1 adulto por cada niño o anciano			
Caso 11	Sexo	Mujer	$(3*5)+(4*5)+(5*3) = 50$	Medio	1.04
	Edad	56 o myor			
	Relación	1 adulto por cada dos niños o ancianos			

Fuente: Elaboración propia, 2019.

9.4. Análisis del riesgo normalizado

El análisis del riesgo se realizó con la metodología propuesta por Villagrán (2002), para ello se utilizó el índice de vulnerabilidad estructural de viviendas y el índice de susceptibilidad correspondiente para los eventos “deslizamientos” e “inundaciones” y para el evento “sequía” se utilizó el índice de vulnerabilidad habitacional demográfico y el índice de susceptibilidad a sequía.

Con base a la información, se determinó el riesgo normalizado en cada evento por zona homogénea (ver figura 1) en la microcuenca del río con los siguientes resultados.

La tabla 42, muestra que para el evento “sequía” los indicadores utilizados en la determinación del riesgo normalizado fueron: índice de susceptibilidad para sequía y el índice de vulnerabilidad demográfica habitacional, que fueron operados siguiendo la metodología, con lo que se determinó el valor de riesgo normalizado para cada zona homogénea.

Para el caso de la microcuenca del río Atulapa todas las zonas homogéneas presentaron valores entre 85.20 – 99.42 que se clasifican en nivel “Medio” de riesgo normalizado, como se muestra en la tabla 43.

Tabla 42. Riesgo normalizado para sequía en la microcuenca del río Atulapa

Zona homogénea	Índice de susceptibilidad	Índice de vulnerabilidad DH	Riesgo normalizado
I	3	33.14	99.42
II	3	30.37	91.11
III	3	33.14	99.42
IV	3	29.06	87.17
V	3	29.71	89.13
VI	3	28.4	85.20
VII	3	29.06	87.17
VIII	3	29.71	89.13

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 43. Rango de riesgo normalizado para sequía por zona homogénea en la microcuenca del río Atulapa

Zona homogénea	Rango de Riesgo Normalizado
I	Medio (81 - 160)
II	Medio (81 - 160)
III	Medio (81 - 160)
IV	Medio (81 - 160)
V	Medio (81 - 160)
VI	Medio (81 - 160)
VII	Medio (81 - 160)
VIII	Medio (81 - 160)

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para el evento “inundaciones” los indicadores utilizados para la determinar el riesgo normalizado son: índice de susceptibilidad a inundaciones e índice de vulnerabilidad estructural de viviendas, a los que se les aplicó la operación descrita en la metodología para determinar el valor de riesgo normalizado para cada zona homogénea, como se muestra en la tabla 44.

En la microcuenca del río Atulapa la zona homogénea II tiene un rango de riesgo normalizado “Alto”, mientras que el resto de zonas homogéneas tienen rangos entre 157.50 – 159.90 clasificados en nivel “Medio” de riesgo normalizado, como muestra la tabla 45.

Tabla 44. Riesgo normalizado para inundaciones en la microcuenca del río Atulapa

Zona homogénea	Índice de susceptibilidad	Índice de vulnerabilidad EV	Riesgo normalizado
I	3	53.3	159.90
II	3	54.5	163.50
III	3	53.3	159.90
IV	3	52.5	157.50
V	3	53.3	159.90
VI	3	52.5	157.50
VII	3	53.3	159.90
VIII	3	53.3	159.90

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 45. Rango de riesgo normalizado para inundaciones por zona homogénea en la microcuenca del río Atulapa

Zona homogénea	Rango de Riesgo Normalizado
I	Medio (81-160)
II	Alto (161-300)
III	Medio (81-160)
IV	Medio (81-160)
V	Medio (81-160)
VI	Medio (81-160)
VII	Medio (81-160)
VIII	Medio (81-160)

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La tabla 46, muestra que para el evento “deslizamientos” los índice utilizados para determinar el riesgo normalizado son: índice de susceptibilidad para inundaciones e índice de vulnerabilidad estructural de viviendas con los que se aplicó la metodología y se determinaron los valores de riesgo normalizado para cada zona homogénea.

En la microcuenca del río Atulapa todas las zonas homogéneas tienen valores entre 94.50 – 117.99 clasificados en nivel “Medio” de riesgo normalizado, como se muestra en la tabla 47.

Tabla 46. Riesgo normalizado para deslizamientos en la microcuenca del río Atulapa

Zona homogénea	Índice de susceptibilidad	Índice de vulnerabilidad EV	Riesgo Normalizado
I	3	32.50	97.50
II	3	31.50	94.50
III	3	32.50	97.50
IV	3	39.33	117.99
V	3	38.20	114.60
VI	3	39.33	117.99
VII	3	38.20	114.60
VIII	3	38.20	114.60

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 47. Rango de riesgo normalizado para deslizamientos por zona homogénea en la microcuenca del río Atulapa

Zona homogénea	Rango de Riesgo Normalizado
I	Medio (81 - 160)
II	Medio (81 - 160)
III	Medio (81 - 160)
IV	Medio (81 - 160)
V	Medio (81 - 160)
VI	Medio (81 - 160)
VII	Medio (81 - 160)
VIII	Medio (81 - 160)

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En los mapas se muestran los rangos de riesgo normalizado por zona homogénea para los eventos: sequía, inundaciones y deslizamientos en la microcuenca del río Atulapa.

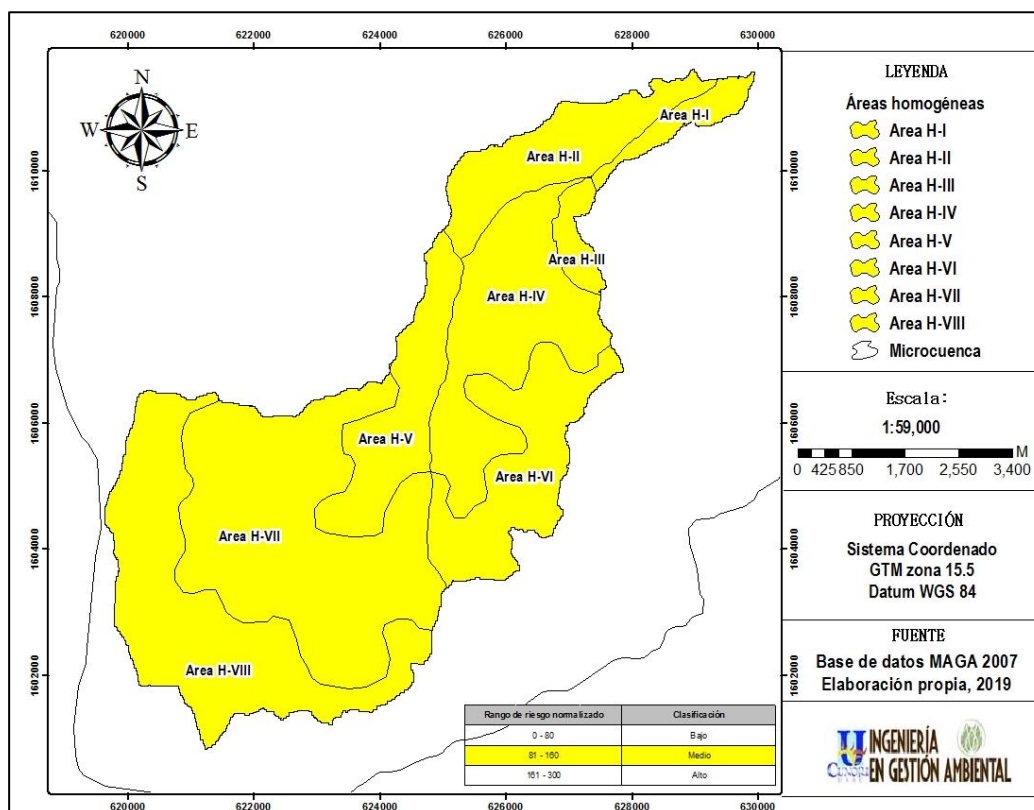


Figura 6. Mapa de riesgo normalizado a sequía en la microcuenca del río Atulapa

La figura 6, muestra el riesgo normalizado para el evento sequía, donde se puede observar que todas las zonas homogéneas tienen riesgo a sequía “Medio”.

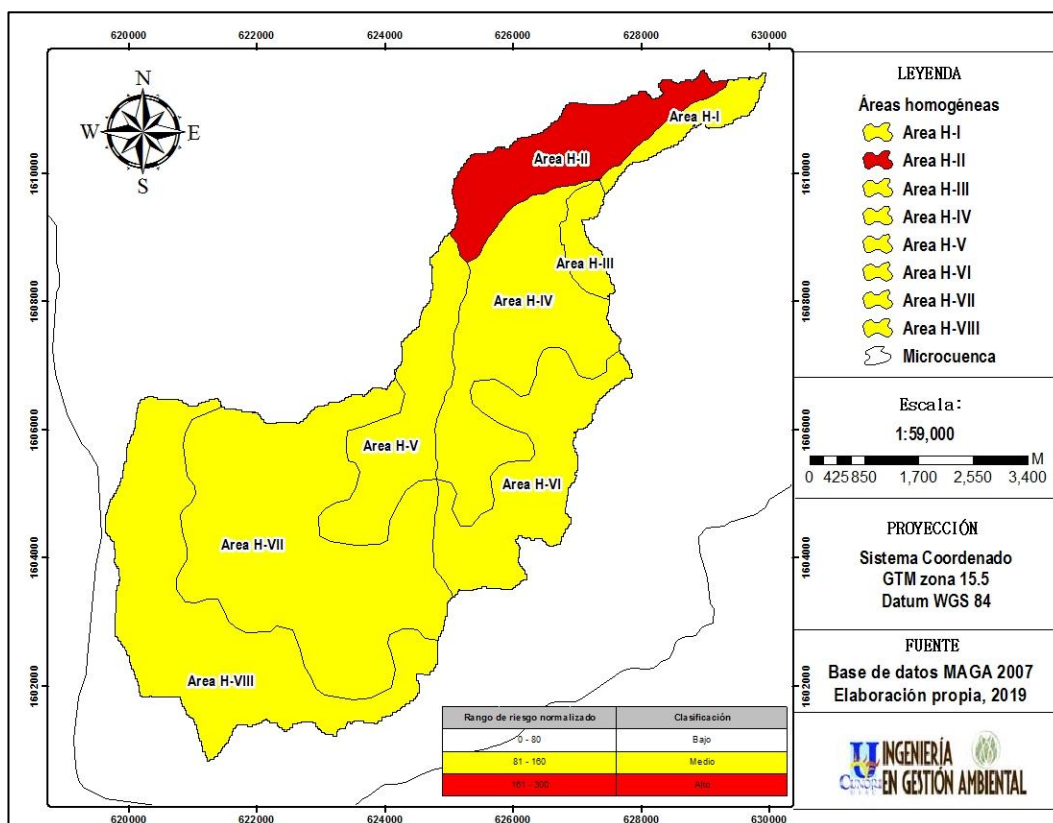


Figura 7. Mapa de riesgo normalizado a inundaciones en la microcuenca del río Atulapa

El riesgo normalizado a inundaciones se muestra en la figura 7, donde se observa que únicamente el área homogénea II tiene riesgo a inundaciones “Alto”, y el resto de zonas tienen riesgo a inundaciones “Medio”.

En el área homogénea II que tiene riesgo “Alto” a inundaciones, se ubica el 5.37% de las viviendas que pertenecen a las aldeas de Atulapa y Santa Rosalía, que corresponden a la parte baja y llana de la microcuenca.

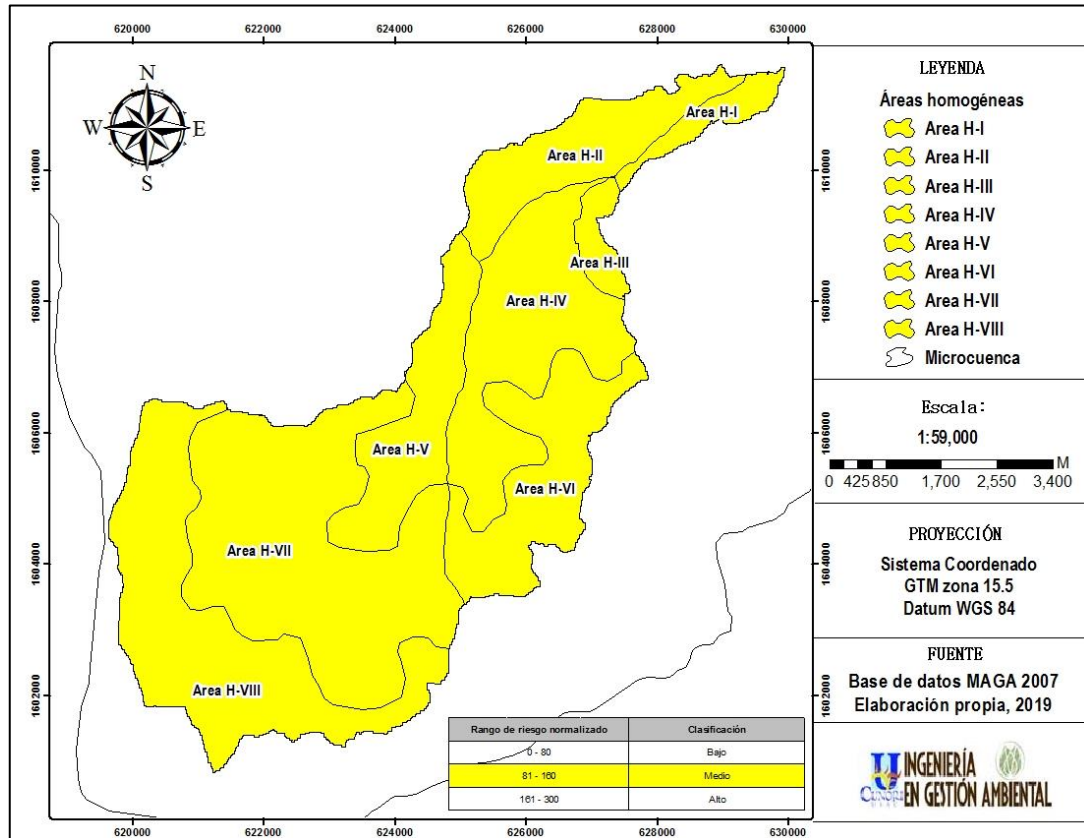


Figura 8. Mapa de riesgo normalizado a deslizamientos en la microcuenca del río Atulapa

La figura 7, muestra el mapa de riesgo normalizado para deslizamientos, donde se observa que todas las áreas homogéneas establecidas tienen un riesgo “medio a deslizamientos”.

10. CONCLUSIONES

1. La microcuenca del río Atulapa tiene suelos pocos profundos con alto contenido de arcilla, de estructuras poco estables, lo cuales son utilizados en gran parte para la agricultura.
2. La microcuenca del río Atulapa tiene susceptibilidad “Alta” a deslizamientos en el 82.32% de la superficie, por sus condiciones topográficas.
3. La susceptibilidad a inundaciones en la microcuenca del río Atulapa es “Muy Alta” en el 63.13% del área, principalmente en la parte media y baja.
4. De acuerdo a la metodología ISDIS, la microcuenca del río Atulapa tiene una susceptibilidad a sequía “Muy Alta” en el 52.20% del área que corresponde a la parte baja.
5. Las viviendas de adobe/bajareque tienen vulnerabilidad estructural “Alta” a inundaciones, que corresponde al 26.05% de las viviendas, especialmente las ubicadas en la parte baja de la microcuenca.
6. El índice de vulnerabilidad estructural a deslizamientos en el 28.11% de las viviendas es “Medio”, donde las viviendas con estructuras de piso de tierra, paredes de adobe/bajareque y techo de teja son las más vulnerables.
7. La vulnerabilidad habitacional demográfica en el 3.12% de las viviendas en la microcuenca es “Media”, donde la aldea Atulapa es la más vulnerable.
8. La microcuenca del río Atulapa tiene riesgo a inundaciones “Medio” en siete áreas homogéneas y riesgo a inundaciones “Alto” en la zona homogénea II donde se ubica el 5.37% de las viviendas.

9. La microcuenca del río Atulapa tiene riesgo a deslizamientos y sequía “Medio” en todas las zonas homogéneas identificadas.
10. La microcuenca es susceptible a riesgos ambientales en la parte baja y media debido a las condiciones edáficas y climáticas presentes.

11.RECOMENDACIONES

1. Coordinar con la municipalidad e instituciones con incidencia en la microcuenca la actualización y delimitación geográfica de las comunidades en la microcuenca del río Atulapa para identificar los poblados ubicados en zonas vulnerables a deslizamientos e inundaciones.
2. Implementar sistemas de alerta temprana a través de CONRED, en la parte media y baja de la microcuenca, donde se presenta la mayor susceptibilidad a deslizamientos e inundaciones.
3. Mejorar la infraestructura vial en la microcuenca del río Atulapa con apoyo de la municipalidad, para facilitar acciones de respuesta por parte de las instituciones locales en caso de desastre.
4. Capacitar por medio de CONRED, a líderes comunitarios y personal técnico de las instituciones con incidencia en el área sobre gestión de riesgos, para la mejor ejecución de los planes de respuesta.
5. Gestionar con la municipalidad y líderes comunitarios la actualización del mapa de uso de la tierra de la microcuenca, para identificar las áreas con suelos sin vegetación, los cuales son susceptibles a deslizamientos.
6. Implementar a través de la municipalidad planes de ordenamiento territorial en la microcuenca, que permitan la ubicación de viviendas en zonas de menor riesgo a desastres.
7. Realizar investigaciones de las principales amenazas en la microcuenca, donde se analicen las características que influyen en el desastre, estudios geológicos que permite evaluar la estructura y composición de los materiales en un espacio geográfico.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CDKN (Alianza Clima y Desarrollo); Overseas Development Institute. 2014. El quinto de reporte evaluación del IPCC: ¿Qué implica para Latinoamérica? resumen ejecutivo (en línea). Reino Unido, CDKN. 40 p. Consultado 1 oct. 2016. Disponible en <http://cdkn.org/wp-content/uploads/2014/12/INFORME-del-IPCC-Que-implica-para-Latinoamerica-CDKN.pdf>
- CONRED (Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, Guatemala). 2015. Manual de gestión para la reducción de los riesgos a desastres en los procesos de desarrollo municipal (en línea). Guatemala, PNUD; ECHO. 46 p. Consultado 1 oct. 2016. Disponible en <https://conred.gob.gt/site/documentos/proyexionacion/herr/MANUAL-GESTION-REDUCCIONRIESGO-ALOSDESASTRES-PROCESOS-DESARROLLOMUNICIPAL.pdf>
- CTPT (Comisión Trinacional del Plan Trifinio, El Salvador, Guatemala, Honduras). 2005. Plan de manejo integrado del área protegida Trinacional Montecristo (en línea, sitio web). Esquipulas, Chiquimula, Guatemala, CTPT; Banco Interamericano de Desarrollo. 112 p. Consultado 1 oct. 2016. Disponible en <http://plantrifinio.int/nuestra-institucion/biblioteca/category/11-area-protegida-trinacional-montecristo>
- DeGuate. 2017. Recursos naturales de Esquipulas; recursos naturales del municipio de Esquipulas (en línea, sitio web). Chiquimula, Guatemala. Consultado 7 feb. 2017. Disponible en http://www.deguate.com/municipios/pages/chiquimula/esquipulas/recursos-naturales.php#.WMcOLm81_IU
- Dirección Municipal de Medio ambiente. 2017. Diagnóstico ambiental del municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula año 2016 (documento en word). Esquipulas, Chiquimula, Guatemala, Municipalidad de Esquipulas. 53 p.

- EIRD (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Suiza). 2004. Terminología: términos principales relativos a la reducción del riesgo de desastres (en línea, sitio web). Ginebra, Suiza. Consultado 3 feb. 2017. Disponible en: <http://www.eird.org/esp/terminologia-esp.htm>
- Fong, G. 2010. Proyecto SINREM, cuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula, Comisión Trinacional del Plan Trifinio y Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala (en línea). Tesis Lic. Guatemala, FAUSAC. 138 p. Consultado 1 oct. 2016. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2604.pdf
- GeoEnciclopedia. 2017. Desastres naturales; fenómenos naturales que afectan a los seres vivos (en línea, blog). Estados Unidos. Consultado 7 feb. 2017. Disponible en: <http://www.geoenciclopedia.com/desastres-naturales/>
- Gómez Aguilar, CM. 2016. Determinación de la contaminación provocada por los subproductos del café (aguas mieles y pulpa) en la red hidrológica superficial de la microcuenca del río Atulapa, municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula, 2014 (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI, Ingeniería en Gestión Ambiental Local. 147 p. Consultado 7 feb. 2017. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Determinacion_de_la_contaminacion_provocada_por_los_subproductos_del_cafe_en_la_red_hidrologica_superficial_de_la_microcuenca_del_rio_atulapa_municipio_de_esquipulas_departamento_de_chiquimula_2014.pdf
- Greenpeace. 2014. Quinto informe de evaluación del Grupo de Trabajo II del IPCC: impactos, adaptación y vulnerabilidad del cambio climático (en línea). España, Greenpeace. 8 p. Consultado 1 oct. 2016. Disponible en: [http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/2014/Report/cambio-climatico/Resultados%20clave%20del%20GTII%20IPCC\(2\).pdf](http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/2014/Report/cambio-climatico/Resultados%20clave%20del%20GTII%20IPCC(2).pdf)

IARNA-URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente-Universidad Rafael Landívar, Guatemala). 2012. Perfil ambiental de Guatemala 2010-2012; vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo (en línea). Guatemala, Serviprensa, S.A. 440 p. Consultado 7 feb. 2017. Disponible en: <https://www.url.edu.gt/publicacionesurl/FileCS.ashx?Id=40177>

Instituto Nacional de Defensa Civil. 2011. Guía técnica para elaborar el plan de prevención y reducción del riesgo de desastres a nivel de cuenca hidrográfica (en línea). Lima, Perú. 132 p. (Cuaderno Técnico no. 04). Consultado 7 feb. 2017. Disponible en: <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1745/doc1745.pdf>

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2014. Cambio climático 2014: impactos, adaptación y vulnerabilidad; resumen para responsables de políticas (en línea). Ginebra, Suiza, OMM; PNUMA. 34 p. Consultado 1 oct. 2016. Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf

Ize, I; Zuk, M. 2010. Conceptos básicos de análisis de riesgo ambientales (en línea). *In* Introducción al análisis de riesgos ambientales. Lema, II; Zuk, M; Rojas-Bracho, L (eds.). 2 ed. México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. p. 21-29. Consultado 17 feb. 2017. Disponible en [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/E50951BDD32362E005257D4D0074F7D1/\\$FILE/Introducci%C3%B3nAlAn%C3%A1lisisDeRiesgosAmbientales.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/E50951BDD32362E005257D4D0074F7D1/$FILE/Introducci%C3%B3nAlAn%C3%A1lisisDeRiesgosAmbientales.pdf)

PubliNews. 2015. Guatemala, un país vulnerable ante los fenómenos naturales (en línea, sitio web). Guatemala. Consultado 17 feb. 2017. Disponible en <https://www.publinews.gt/gt/guatemala/2015/10/02/guatemala-pais-vulnerable-fenomenos-naturales.html>

Reyes López, El. 2015. Identificación de manera participativa de riesgos ambientales en la finca El Cascajal, municipio de Esquipulas, departamento de Chiquimula, 2013. Tesis Lic. Chiquimula, Guatemala, USAC-CUNORI. Ingeniería en Gestión Ambiental Local. 115 p. Consultado 17 feb. 2017. Disponible en http://cunori.edu.gt/descargas/Identificacin__de_manera_participativa_de_riesgos_ambientales_en_finca_el_cascajal_municipio_de_esquipulas_departamento_de_chiquimula.pdf

Tobías Vásquez, HA. 2011. Evaluación y análisis de riesgo a desastres en el manejo de los recursos naturales en la cuenca del río Atulapa y su impacto en la población de Esquipulas, Chiquimula, Guatemala (en línea). Guatemala, Proyecto FODECYT; CONCYT; SENACYT; FONACYT; FAUSAC; USAC. 165 p. Consultado 7 oct. 2016. Disponible en <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202009.08.pdf>

USAC (Universidad de San Carlos de Guatemala); CTPT (Comisión Trinacional del Plan Trifinio, Guatemala, El Salvador, Honduras). 2008. Diagnóstico de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula (en línea). Guatemala, FAUSAC. 156 p. Consultado 7 oct. 2016. Disponible en http://sintet.net/images/bliblioteca_digital/Diagnstico-de-la-microcuenca-del-Ro-Atulapa-Esquipulas-Chiquimula.pdf

UNASUR (Unión de Naciones Suramericanas). 2015. Consideraciones para fortalecer una estrategia suramericana para la reducción del riesgo a desastres (en línea). Montevideo, Uruguay, Grupo de trabajo de alto nivel para la gestión integral del riesgo de desastres. 58 p. Consultado 17 feb. 2017. Disponible en https://www.unisdr.org/files/43861_consideracionesparaunaestrategiarrd.pdf

UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas). 2009. Terminología sobre reducción del riesgo de desastres (en línea). Ginebra, Suiza. 43 p. Consultado 17 feb. 2017. Disponible en https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf

Valdez, M. 2013. Daños y preocupaciones por las fuertes lluvias (en línea, sitio web). Chiquimula, Guatemala. Chiquimulaonline. Consultado 16 feb. 2017. Disponible en <http://www.chiquimulaonline.com/2013/05/danos-y-preocupacion-por-las-fuertes-lluvias/>

Valdez, M. 2012. Sequía golpea a Chiquimula (en línea, sitio web). Chiquimula, Guatemala, Chiquimulaonline. Consultado 16 feb. 2017. Disponible en: <http://www.chiquimulaonline.com/2012/09/sequia-golpea-a-chiquimula/>

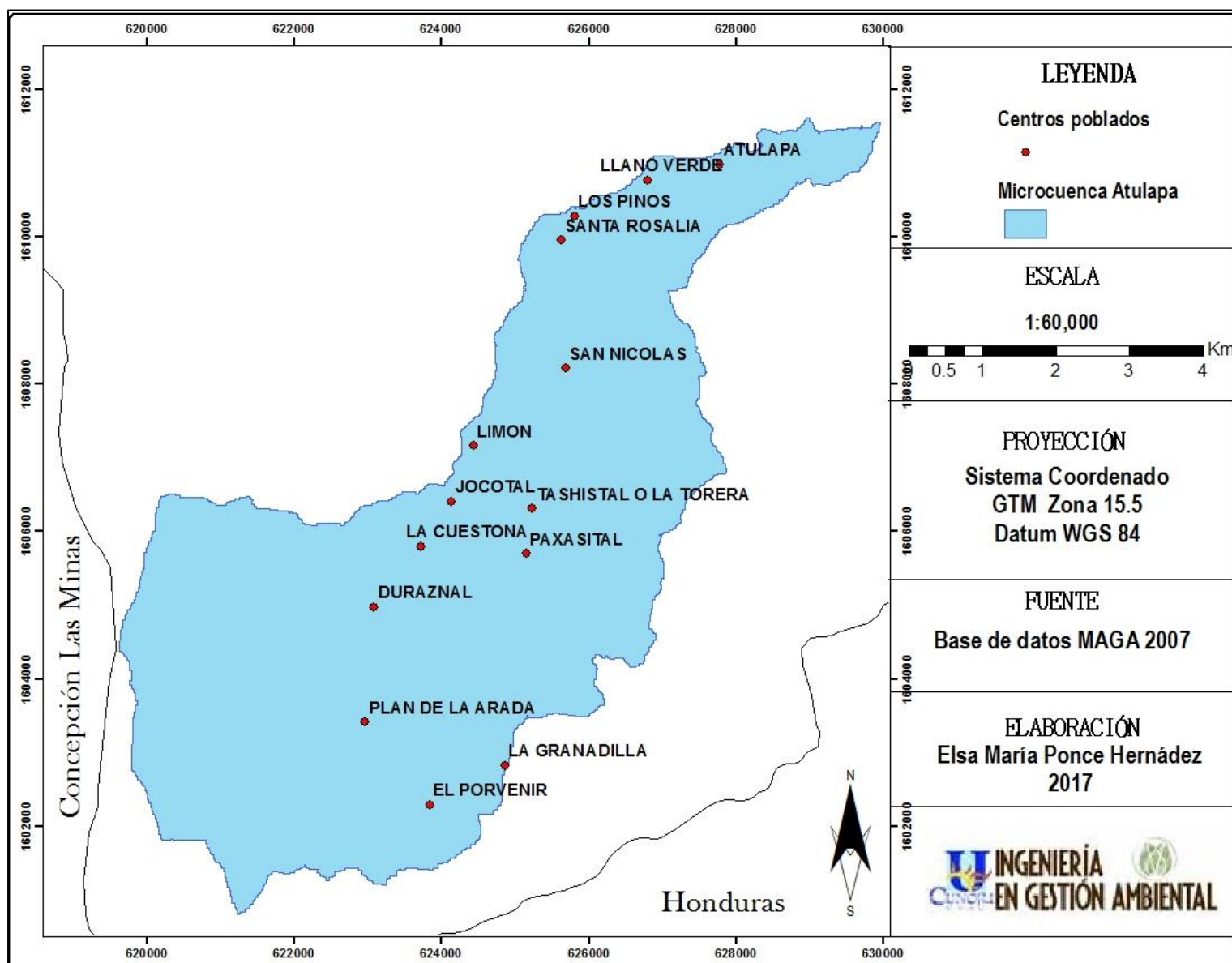
Villagrán de León, JC. 2002. Manual para la estimación cuantitativa del riesgo asociado a diversas amenazas. Guatemala, Acción contra el Hambre; CONRED; ECHO. 59 p.

Zepeda González, AF. 2011. Diseño y aplicación de metodología para la determinación de un índice de susceptibilidad a deslizamientos, inundaciones y sequías (en línea, diapositivas). Santa Bárbara, Honduras, CONFOR. 37 diapositivas. Consultado 7 feb. 2017. Disponible en <https://slideplayer.es/slide/3176998/>

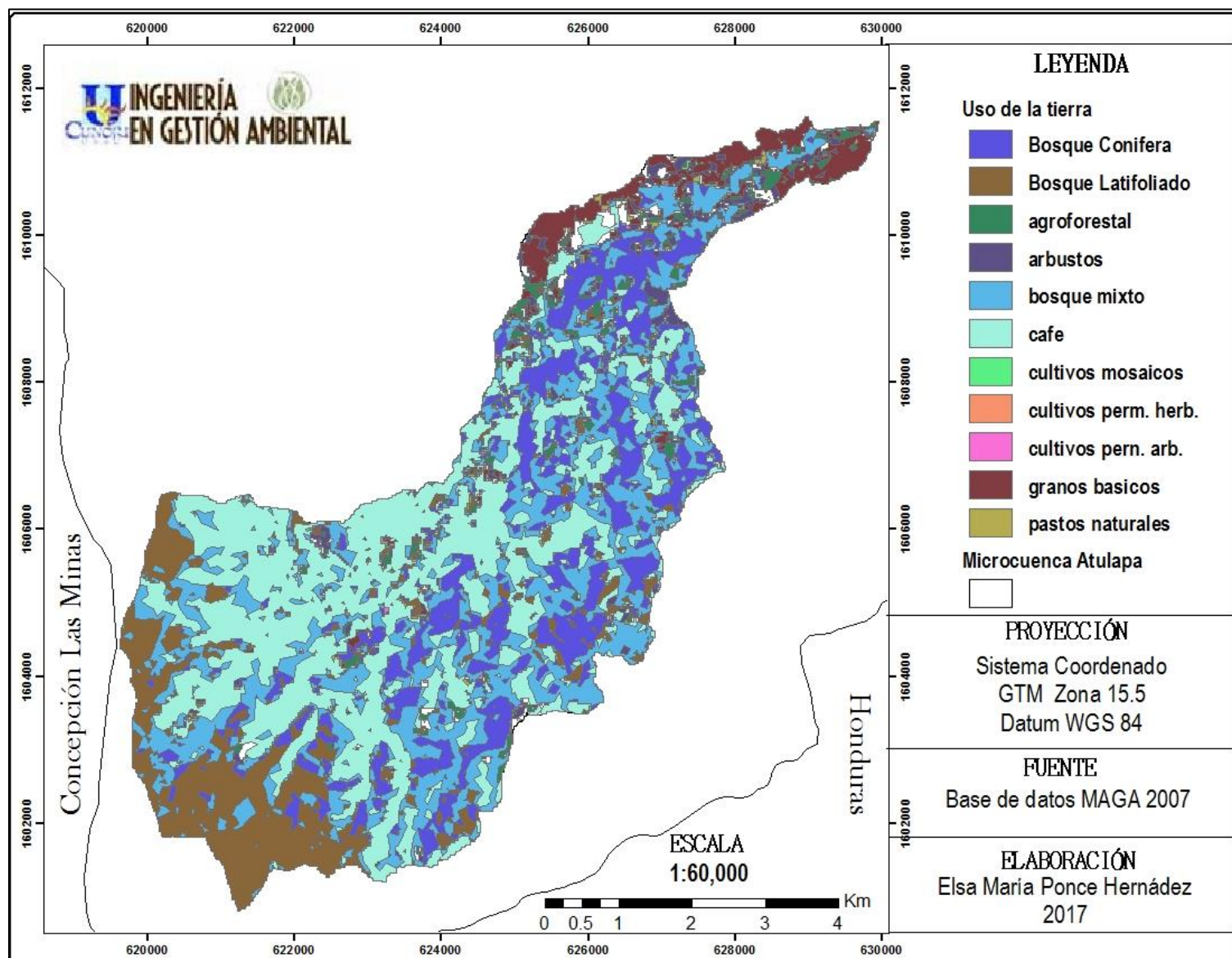


13. ANEXOS

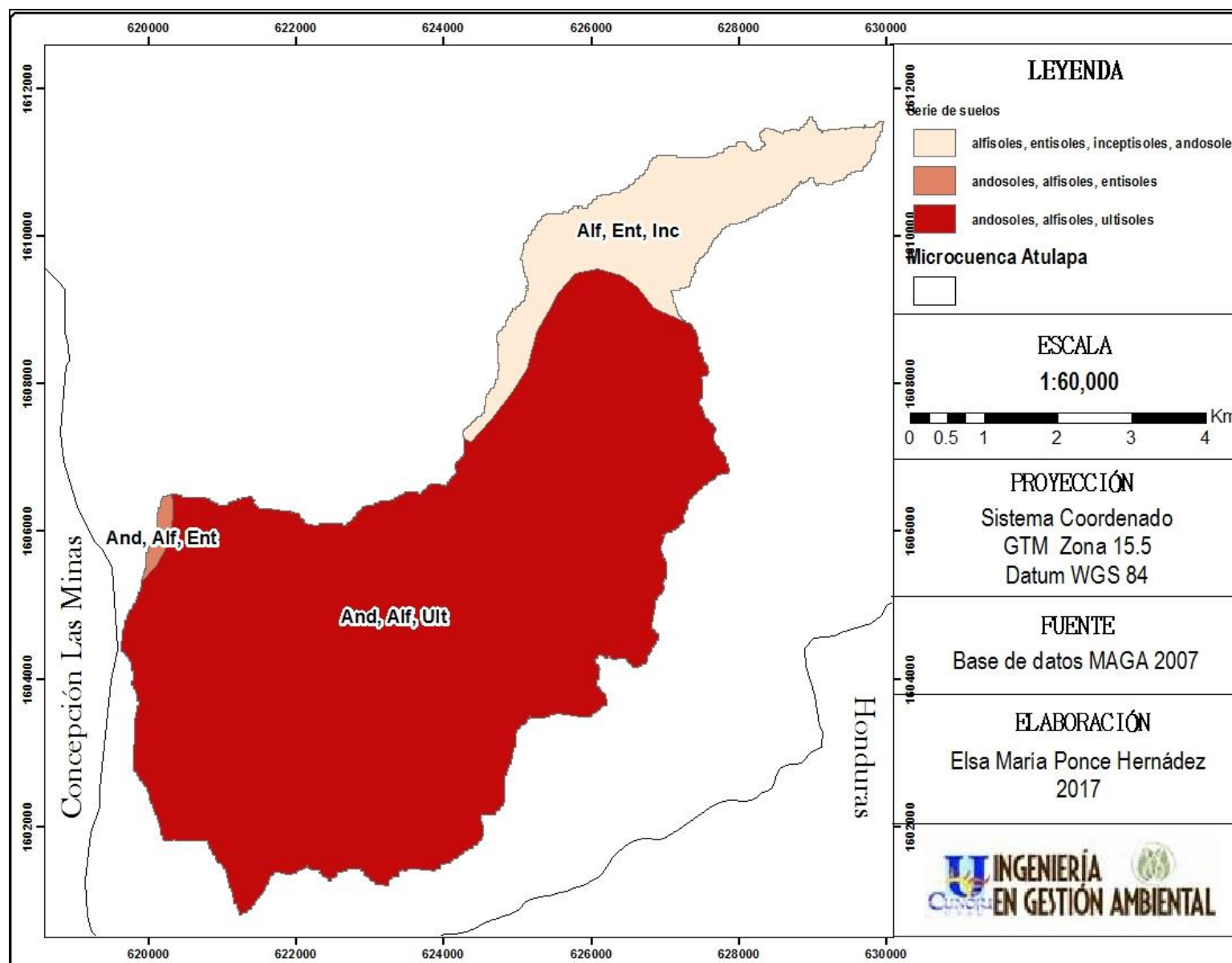
Anexo 1. Mapa de centros poblados de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas Chiquimula



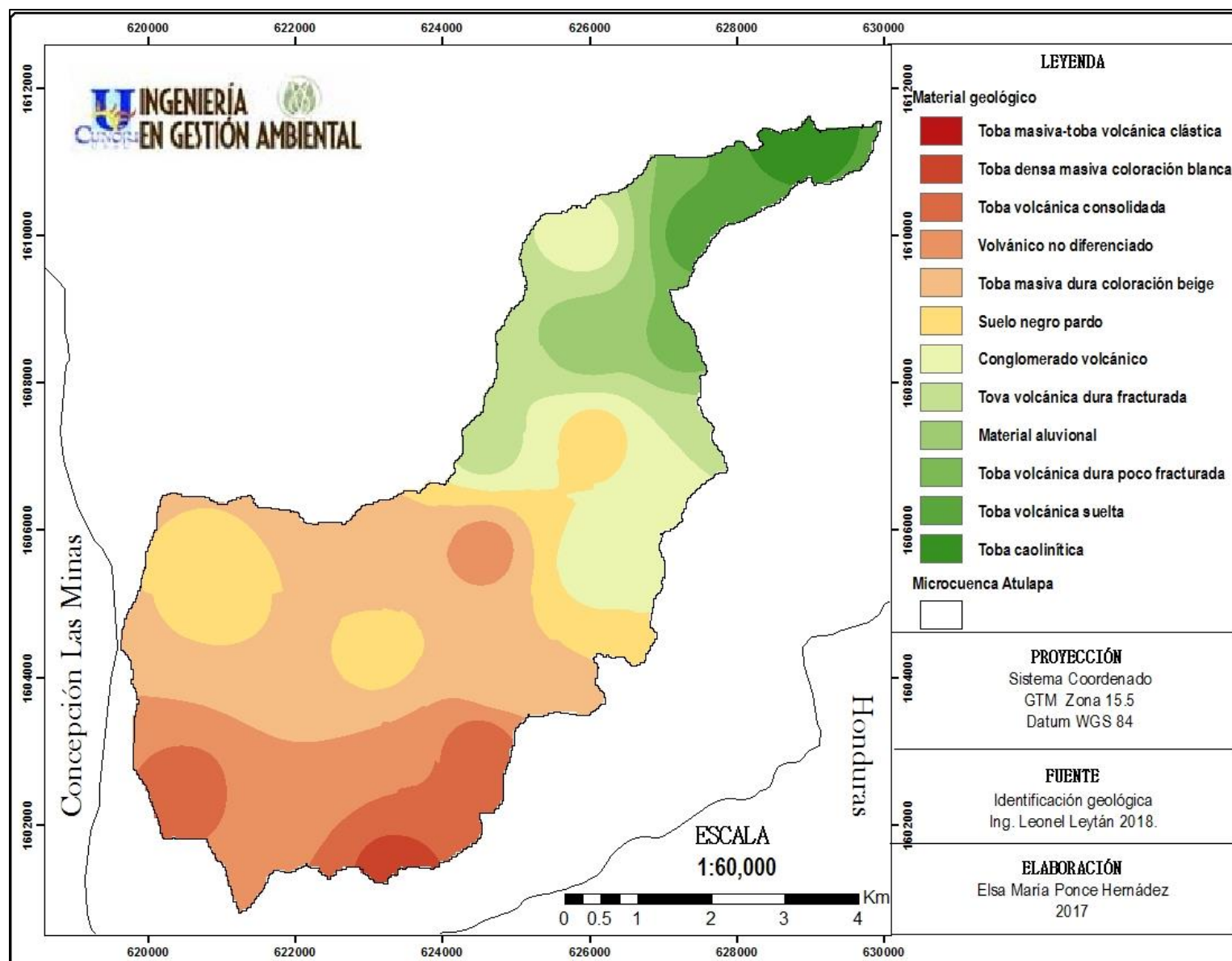
Anexo 2. Mapa de uso de la tierra de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula



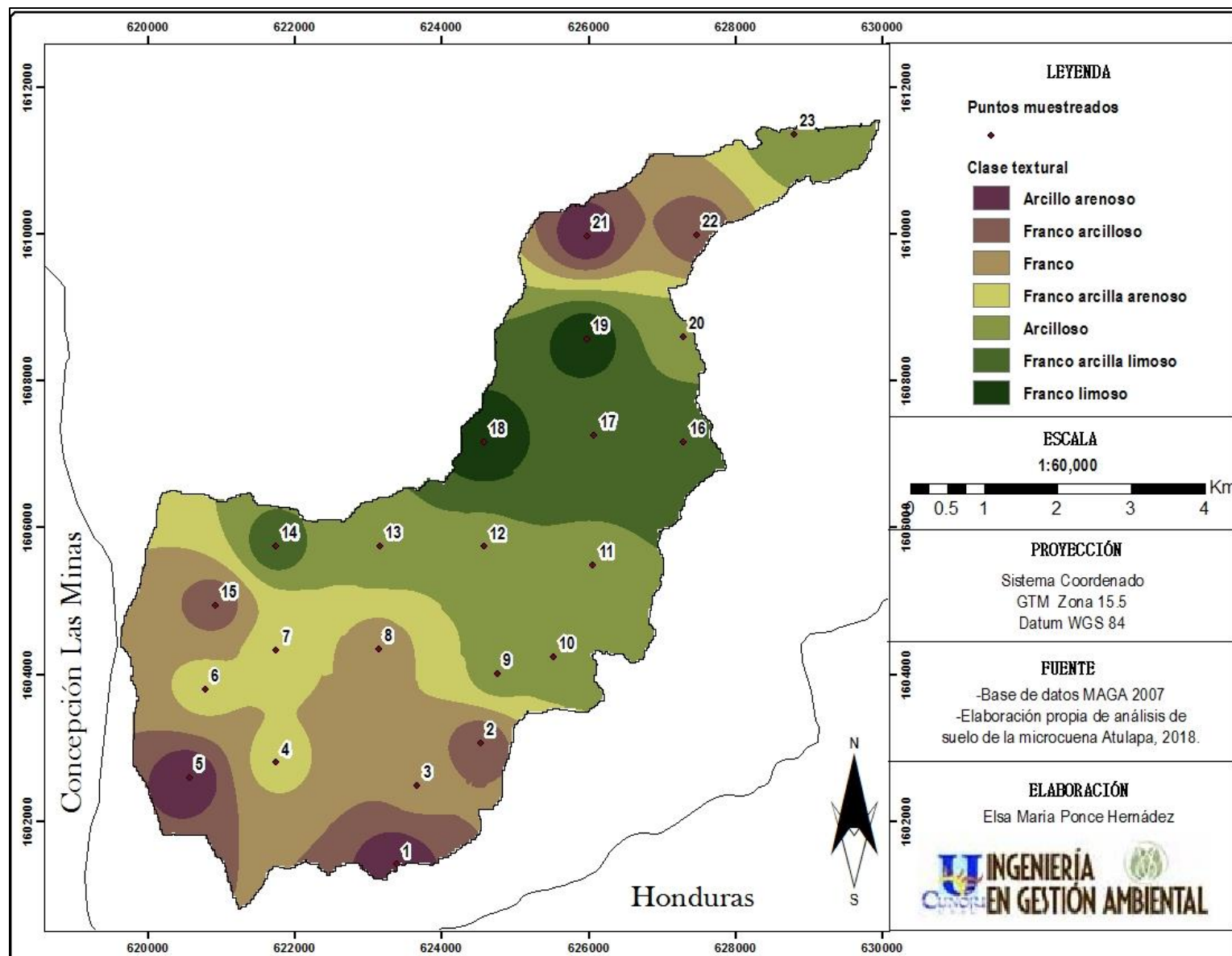
Anexo 3. Mapa de serie de suelos de la cuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula



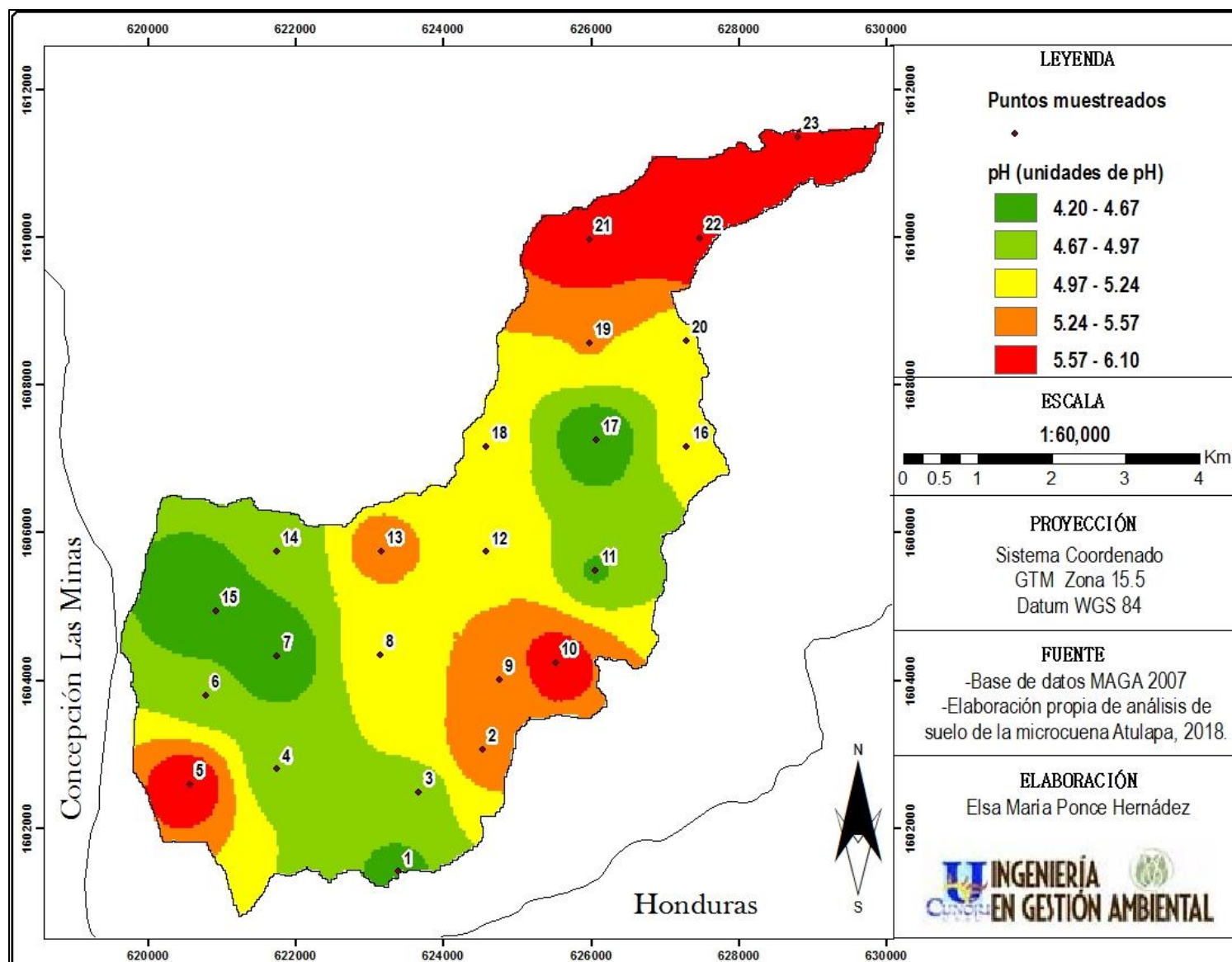
Anexo 4. Mapa de la geología de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula



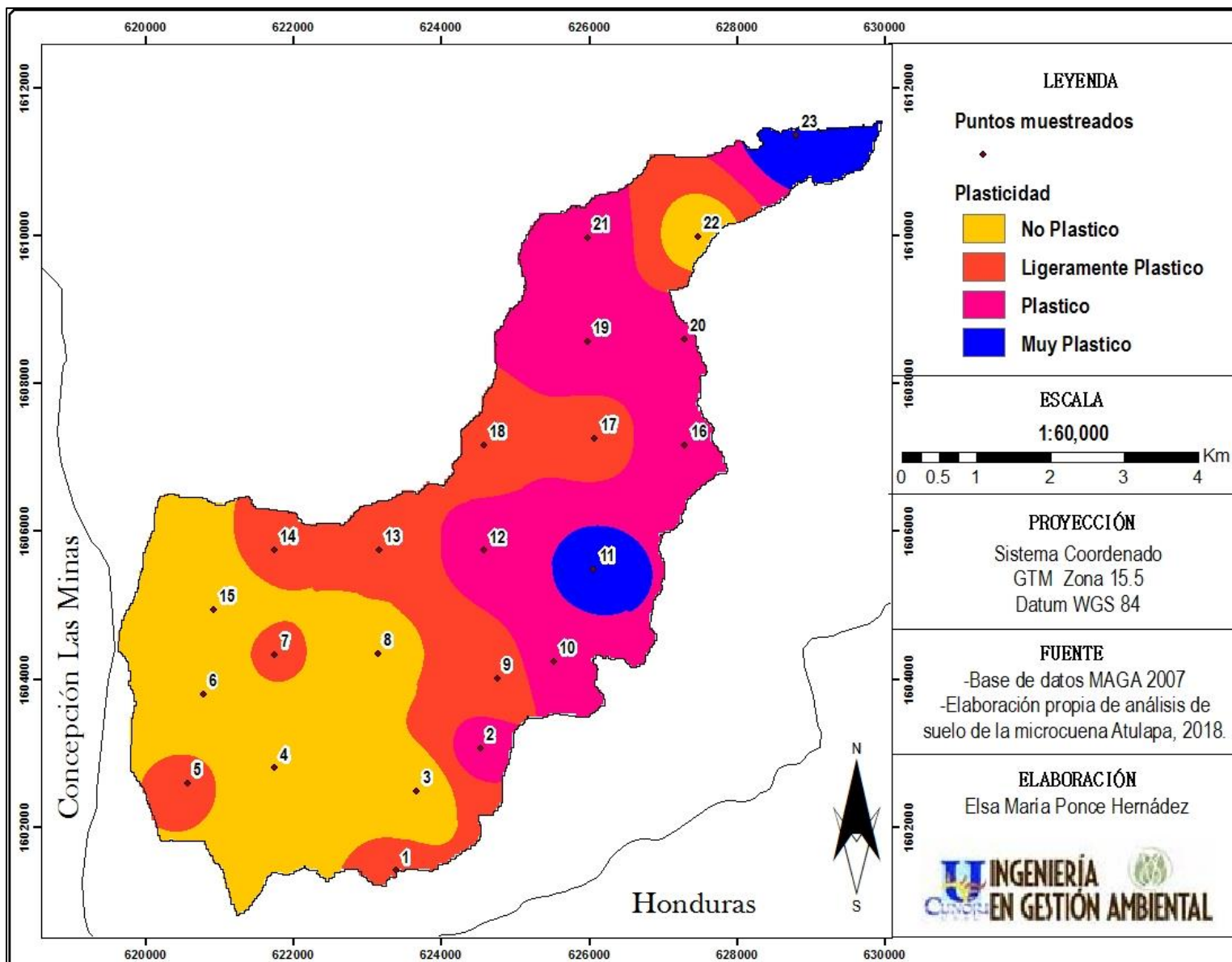
Anexo 5. Mapa de las clases texturales de los suelos en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula



Anexo 6. Mapa de pH en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula



Anexo 7. Mapa de plasticidad en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula



Anexo 8. Boleta para la recopilación de información sobre las características habitacionales y estructurales de las viviendas.

Boleta no. _____

Fecha __/__/__

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE ORIENTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL**

Boleta de campo para recolección de datos sobre las características de las viviendas y habitantes de los asentamientos establecidos sobre la cuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

1. Sexo del jefe del hogar:

Masculino ☐

Femenino ☐

2. Rango de edad:

20 años o menor ☐

21 a 55 años ☐

56 años o mayor ☐

3. ¿Cuántos adultos viven en el hogar?:

Ninguno ☐

Uno ☐

Dos ☐

Más _____

4. ¿Cantidad de niños que viven en el hogar?

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Más: _____

5. ¿Cantidad de ancianos que viven en el hogar?

1 ☐

2 ☐

3 ☐

4 ☐

5 ☐

Más: _____

Rellenar con una “X” las características correspondientes:

Características estructurales de la vivienda					
Paredes		Piso		Techo	
Adobe o bajareque		Ladrillo o cemento		Concreto	
Block, concreto o ladrillo		Torta de cemento o barro		Lámina metálica, asbesto-cemento	
Madera, lepa, palo o caña		Madera		Paja, palma o similar	
Lámina metálica u otro material		Tierra		Teja	

¡Gracias por su colaboración!

**Anexo 9. Caracterización de los suelos de la microcuenca del río Atulapa,
Esquipulas, Chiquimula.**



**CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO
ATULAPA, ESQUIPULAS, CHIQUIMULA.**

**ELABORADO POR:
ELSA MARÍA PONCE HERNÁNDEZ**

CARACTERIZACIÓN DE SUELOS EN LA MICROCUENCA DEL RÍO ATULAPA, ESQUIPULAS, CHIQUIMULA.

El área que cubre la microcuenca del río Atulapa es de 43.55 km², donde se ubican 5 aldeas y 23 caseríos que hacen uso del terreno de la microcuenca para habitar y la producción de alimentos básico, así como también para la caficultura.

En el año 2018, se realizó el muestreo de suelos en la microcuenca del río Atulapa. El muestreo realizado fue un muestreo sistemático a través del programa SIG con la herramienta *ArcToolBox*, donde se establecieron puntos con distancias de 2 km² entre ellos, estableciendo 23 puntos en los cuales se realizó una extracción de muestras a aproximadamente 50cm de profundidad. La ubicación de los puntos se muestra en la figura 1.

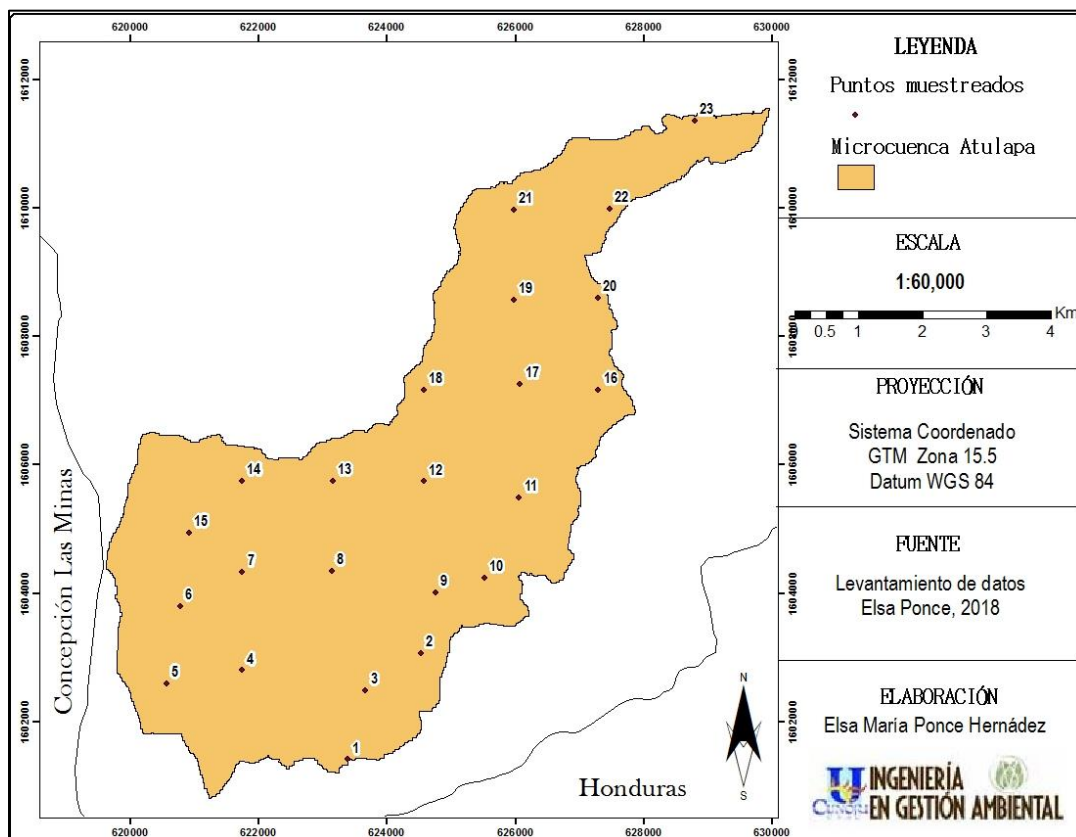


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo sobre la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

La localización de los puntos, se realizó con GPS, donde primero se localizaron las aldeas y caseríos cercanos a los puntos y con ayuda de líderes comunitarios se realizó el recorrido (caminata) hasta encontrar el punto más cercano al punto establecido con el programa SIG. En la tabla 1 se muestran las coordenadas de los puntos dadas por el programa SIG y las coordenadas de los puntos localizados.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo

No.	Puntos con ArcGis.		Puntos con GPS	
	X	Y	X	Y
1	623148.396	1601519.023	623374	1601419
2	624558.396	1602929.023	624524	1603068
3	623148.396	1602929.023	623658	1602494
4	621738.396	1602929.023	621730	1602807
5	620328.396	1602929.023	620559	1602599
6	620328.396	1604339.023	620776	1603800
7	621738.396	1604339.023	621740	1604336
8	623148.396	1604339.023	623130	1604348
9	624558.396	1604339.023	624754	1604022
10	625968.396	1604339.023	625507	1604242
11	625968.396	1605749.023	626054	1605492
12	624558.396	1605749.023	624563	1605748
13	623148.396	1605749.023	623152	1605749
14	621738.396	1605749.023	621733	1605753
15	620328.396	1605749.023	620908	1604949
16	627378.396	1607159.023	627288	1607176
17	625968.396	1607159.023	626068	1607258
18	624558.396	1607159.023	624564	1607166
19	625968.396	1608569.023	625966	1608568
20	627378.396	1608569.023	627283	1608598
21	625968.396	1609979.023	625968	1609977
22	627378.396	1609979.023	627457	1609990
23	628788.396	1611389.023	628788	1611363

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Las muestras recolectadas fueron trasladadas al Centro Universitario de Oriente en donde se realizó el análisis físico y químico a las muestras de suelo, obteniendo los siguientes resultados.

1. Textura

Se le conoce como textura a la relación porcentual de cada uno de los grupos de partículas primarias menores de 2 milímetros de diámetro. Estas se denominan según su tamaño en arena, limo y arcilla. La textura del suelo es una propiedad física permanente, que se refiere a la expresión porcentual de las fracciones granulométricas arena, limo y arcilla. La combinación de estas 3 fracciones nos determina la clase textural (Antúñez; Felmer; Vidal; Morales; Coz; Fuentes, 2019).

La textura de los suelos de la microcuenca del río Atulapa se hizo a través de la metodología conocida como *método de bouyoucos o método del hidrómetro*, con la cual se establecieron siete clases texturales de suelo: arcilloso arenoso, franco arcilloso, franco, franco arcillo arenoso, arcilloso, franco arcilla limoso, franco limoso. La textura de cada muestra se presenta en la tabla 2, donde se describe el nombre de la clase textural.

Tabla 2. Clases texturales en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

PUNTO	CLASE TEXTURAL	PUNTO	CLASE TEXTURAL
P1	arcillo arenoso	P12	arcilla
P2	franco arcilloso	P13	arcilla
P3	franco	P14	franco arcilla limoso
P4	franco arcillo arenoso	P15	franco arcilloso
P5	arcillo arenoso	P16	franco arcilla limoso
P6	franco arcillo arenoso	P17	franco arcilla limoso
P7	franco arcillo arenoso	P18	franco limoso
P8	franco	P19	franco limoso
P9	arcilla	P20	arcilloso
P10	arcilla	P21	franco arcillo arenoso
P11	arcilla	P22	franco arcilloso
		P23	arcilloso

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En el anexo 3, se muestra un cuadro con las lecturas realizadas para determinar la clase textural y los porcentajes de cada partícula en cada punto muestreado.

En la figura 2, se muestra la distribución de las clases texturales en la microcuenca del río Atulapa, donde la clase “arcillosa” es la más predominante, comprendiendo el 30.43% de la superficie de la microcuenca.

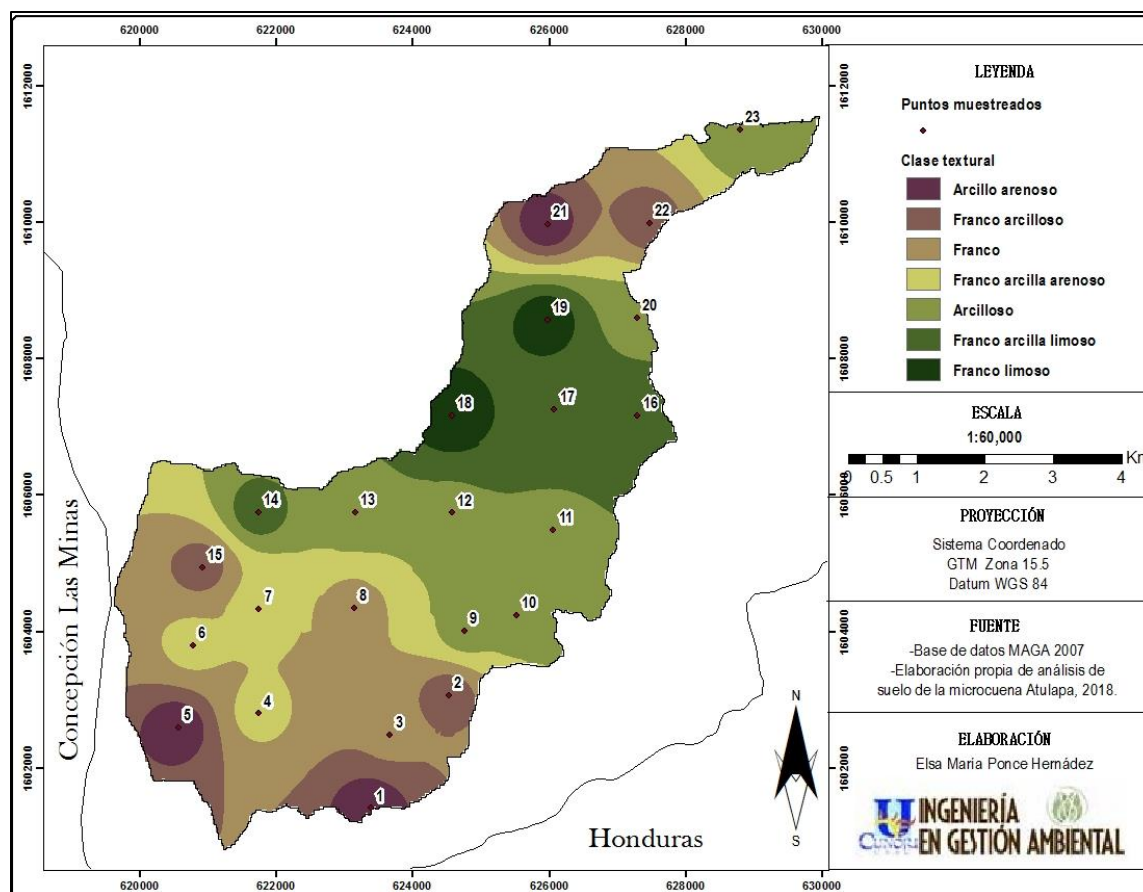


Figura 2. Distribución de las clases texturales en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

En la figura 2, se muestra que la clase textural “arcillosa” está localizada sobre la parte baja y media la microcuenca, este tipo de textura se caracteriza por tener una alta retención de agua, baja permeabilidad y es susceptible a erosiones.

2. Plasticidad

Según Albert Atterberg la plasticidad del suelo consiste en la capacidad que tiene para ser deformado sin agrietarse ni producir rebote elástico. Albert indica que los suelos arcillosos en condiciones húmedas son plásticos y se vuelven duros en condiciones secas, los limosos no son necesariamente plásticos y se vuelven menos duros con el secado y los arenosos son desmenuzables en condiciones sueltas y secas. También observó que pueden existir arcillas altamente plásticas y otras de baja plasticidad (Osorio, 2010).

Para determinar la plasticidad de los suelos en la microcuenca Atulapa se realizó la metodología de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, *s.f.*) que consiste en tomar una pequeña muestra de suelo, humedecerla y amasarla hasta formar una tira larga y evaluar la plasticidad de la siguiente manera:

- ✓ No plástico: Si no es posible formar un cordón (tira larga).
- ✓ Ligeramente plástico: Si se puede formar un cordón pero se rompe fácilmente y vuelve a su estado anterior.
- ✓ Plástico: Si se puede formar un cordón, pero al romperse y volver a su estado anterior, no se puede formar nuevamente.
- ✓ Muy plástico: Si se puede formar un cordón que no se rompe fácilmente y cuando se rompe, se puede amasar entre las manos y volver a formarlo varias veces.

En el caso de la microcuenca del río Atulapa, 9 puntos de muestreo tienen una “ligera plasticidad”, seis tienen una condición “plástica”, otros seis son “no plásticos” y sólo dos tienen una condición de “Muy plásticos”, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Plasticidad de los puntos de muestreo en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

PUNTO	PLASTICIDAD
P1	Ligeramente plástico
P2	Plástico
P3	No plástico
P4	No plástico
P5	Ligeramente plástico
P6	No plástico
P7	Ligeramente plástico
P8	No plástico
P9	Ligeramente plástico
P10	Plástico
P11	Muy plástico
P12	Plástico
P13	Ligeramente plástico
P14	Ligeramente plástico
P15	No plástico
P16	Plástico
P17	Ligeramente plástico
P18	Ligeramente plástico
P19	Plástico
P20	Plástico
P21	Ligeramente plástico
P22	No plástico
P23	Muy plástico

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la figura 3, se puede observar la distribución de la plasticidad que los suelos de la microcuenca Atulapa tienen, donde los suelos “ligeramente plásticos” son los que tienen mayor cobertura en la microcuenca, con el 39.13% del área.

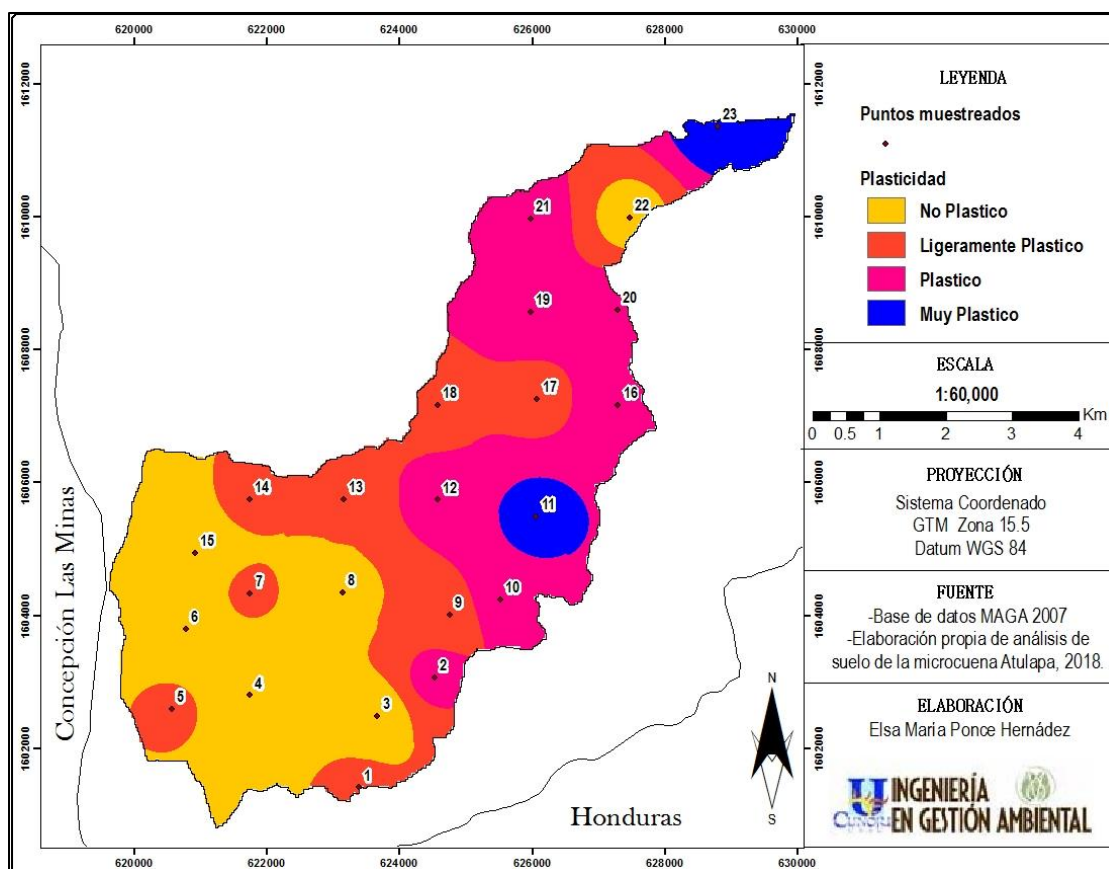


Figura 3. Distribución de la plasticidad de los suelos en la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

Como se observa en la figura 3, los suelos “ligeramente plásticos”, en su mayoría, se ubican en la parte media de la microcuenca, aunque también presenta pequeñas áreas en la parte alta y baja de la microcuenca.

3. Color de los suelos

El color del suelo indica la oxidación o reducción química en el suelo, pasada o presente, de la piedra original debido a la erosión. El color puede oscurecerse con la materia orgánica, adquirir un color amarillo, marrón o rojo ante la presencia de óxidos férricos y puede adquirir un color negro debido al manganeso y otros óxidos.²

El análisis del color de los suelos en las muestras de la microcuenca del río Atulapa se realizó en dos condiciones, en suelos húmedos y suelos secos. La clasificación de los colores se realizó con la “Tabla Munsell” donde los colores se clasifican según tres cualidades: tono, valor y croma.

La distribución de los colores de los suelos, en seco y húmedo, en la microcuenca Atulapa se describen en la tabla 4, donde se muestra el punto muestreado, el color y la nomenclatura según Munsell, correspondiente al color identificado.

² Tomado de: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/05/21/el-correcto-uso-de-tabla-munsell-en-la-descripcion-de-los-suelos/>

Tabla 4. Clasificación Munsell de los colores de los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipula, Chiquimula

PUNTO	SUELO SECO	NOMENCLATURA	SUELO HÚMEDO	NOMENCLATURA
P1	Blanco rosáceo	5YR/8/2/	Rojo Pálido	10YR/6/4/
P2	Gris rosáceo	5YR/6/2/	Marrón	7.5YR/4/3/
P3	Gris rojizo	5YR/5/2/	Marrón oscuro	7.5YR/3/2/
P4	Gris rojizo oscuro	5YR/4/2/	Muy marrón oscuro	7.5YR/2.5/2/
P5	Gris rosáceo	5YR/6/2/	Marrón	10YR/5/3/
P6	Marrón rojizo oscuro	5YR/3/3	Muy marrón oscuro	10YR/2/2/
P7	Marrón rojizo	5YR/5/3/	Marrón amarillento oscuro	10YR/3/4/
P8	Gris rojizo oscuro	5YR/4/2/	Negro	10YR/2/1/
P9	Gris rosáceo	5YR/6/2/	Marrón grisáceo oscuro	10YR/4/2/
P10	Marrón rojizo	5YR/4/3/	Marrón oscuro	10YR/3/3/
P11	Marrón rojizo claro	5YR/6/3/	Marrón amarillento oscuro	10YR/4/4/
P12	Gris rojizo	5YR/5/2/	Marrón oscuro	7.5YR/3/2/
P13	Gris	5YR/5/1/	Marrón rojizo oscuro	5YR/3/2/
P14	Marrón rojizo	5YR/5/4/	Marrón	10YR/4/3/
P15	Muy gris oscuro	5YR/3/1/	Negro	10YR/2/1/
P16	Marrón rojizo	5YR/4/3/	Marrón grisáceo oscuro	10YR/4/2/
P17	Marrón rojizo	5YR/4/4/	Marrón oscuro	10YR/3/3/
P18	Marrón pálido	10YR/6/3/	Marrón amarillento oscuro	10YR/4/4/
P19	Gris	7.5YR/5/1/	Muy grisáceo marrón oscuro	10YR/3/2/
P20	Marrón claro	7.5YR/6/3/	Marrón amarillento oscuro	10YR/3/4/
P21	Gris oscuro	10YR/4/1/	Muy marrón grisáceo oscuro	10YR/3/2/
P22	Marrón grisáceo	10YR/5/2/	Marrón grisáceo oscuro	10YR/4/2/
P23	Marrón pálido	10YR/6/3/	Marrón amarillento	10YR/5/4/

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En los anexos se muestran imágenes de las muestras de suelos húmedas y secas al momento de clasificarlas con la tabla de Munsell.

4. Densidad aparente

La densidad aparente (DA) describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso. Ésta característica del suelo puede influir con otras propiedades, siendo las más influenciadas el espacio poroso, materia orgánica y la textura del suelo (Rojas; Sáenz, 2012).

Las muestras de suelo obtenidas de la microcuenca del río Atulapa fueron analizadas en el laboratorio, donde se realizó el método del cilindro para determinar la DA de los suelos. Las tablas de las lecturas realizadas en el laboratorio se presentan en los anexos.

El intervalo de los valores de DA obtenidos de las muestras de suelo es de 0.75-1.29 g/ml, como se muestra en la tabla 5. Si bien la densidad aparente depende de la textura que el suelo presenta, los valores obtenidos en las muestras de la microcuenca del río Atulapa son adecuados para las clases texturales definidas anteriormente, es decir que el suelo presenta una buena aireación.

Tabla 5. Valores de densidad aparente en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

PUNTO	DENSIDAD APARENTE g/ml
P1	0.93
P2	1.12
P3	0.86
P4	0.90
P5	1.14
P6	0.89
P7	1.01
P8	0.80
P9	1.02
P10	1.06
P11	1.02
P12	1.05
P13	1.09
P14	1.08
P15	0.75
P16	1.15
P17	1.02
P18	1.12
P19	1.02
P20	1.08
P21	1.09
P22	1.29
P23	1.20

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los valores mayores de DA los tienen los puntos P22 y P23 que poseen un porcentaje de arcilla en su textura, mientras que los de menor valor son los puntos P8 y P15 que tienen una textura franca y franco arcillosa. En la figura 4, se observan los valores de DA distribuidos sobre la microcuenca del río Atulapa.

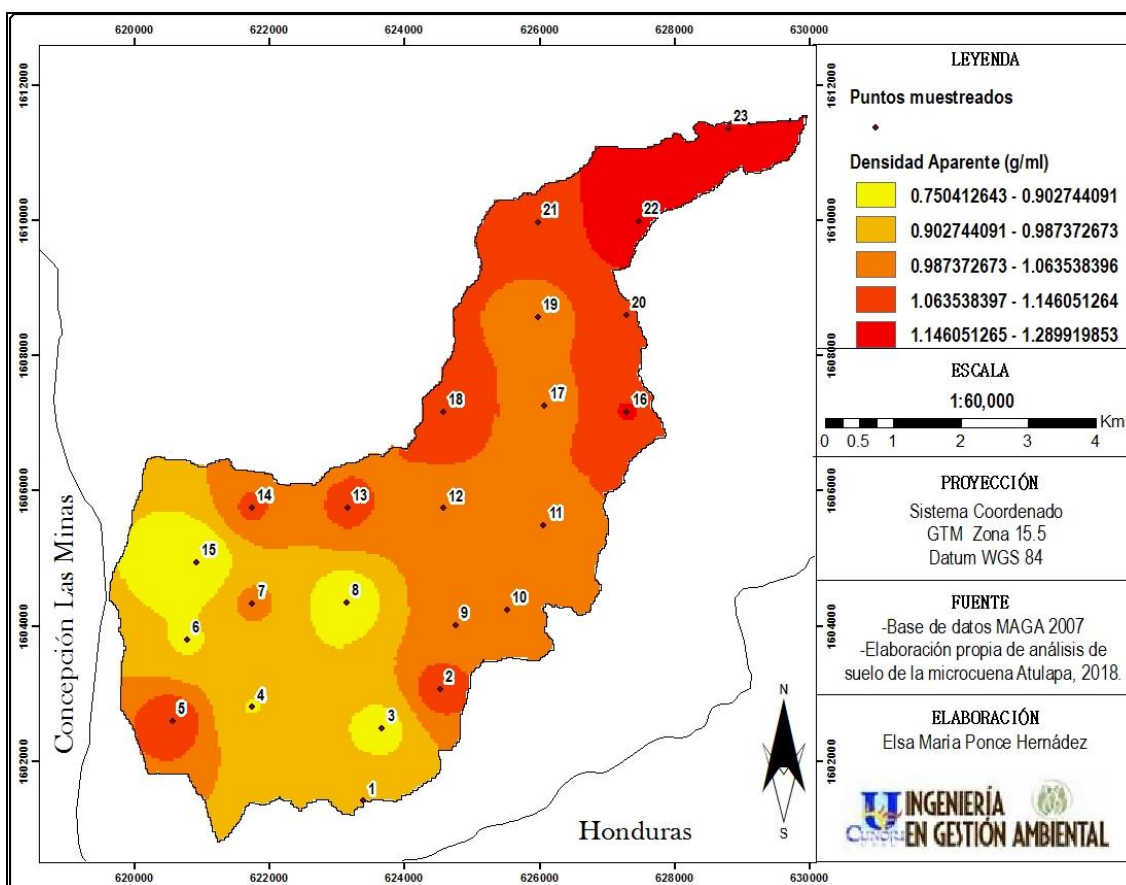


Figura 4. Valores de DA en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

Los valores mayores de DA están ubicados en la zona aluvial y los valores menores están ubicados en la parte media de la microcuenca.

5. Densidad real de los suelos

La densidad real se refiere al peso del material sólido que compone al suelo, constituye la masa (peso) de una unidad de volumen de partículas sólidas del suelo. La densidad real depende de la composición de materia orgánica y de la cantidad de minerales que el suelo presenta (Salamanca; Sadeghian, 2005).

Para medir los valores de densidad real en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, se utilizó el método por cilindros, con el que se obtuvieron valores de 1.85 - 2.45 g/ml. Las tablas de las lecturas realizadas se muestran en los anexos.

En la tabla 6, se muestran los valores obtenidos en cada punto de muestreo de los en la microcuenca, donde el punto P4 tiene el valor mayor de densidad, mientras que el punto P16 es el que presenta el valor menor.

Tabla 6. Valores de densidad real en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

PUNTO	DENSIDAD REAL g/ml
P1	1.93
P2	1.99
P3	1.89
P4	2.45
P5	2.13
P6	1.95
P7	1.98
P8	2.26
P9	1.95
P10	2.03
P11	2.05
P12	2.02
P13	2.02
P14	2.14
P15	1.92
P16	1.85
P17	1.97
P18	2.04
P19	1.93
P20	2.07
P21	2.22
P22	2.12
P23	2.10

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El valor de densidad real normalmente es de 2.65 g/cm^3 y los suelos de la microcuenca están por debajo de ese valor, esto debido a que las muestras fueron extraídas del horizonte más superficial del suelo. En la figura 5 se muestra la distribución de los valores de densidad real en la microcuenca Atulapa.

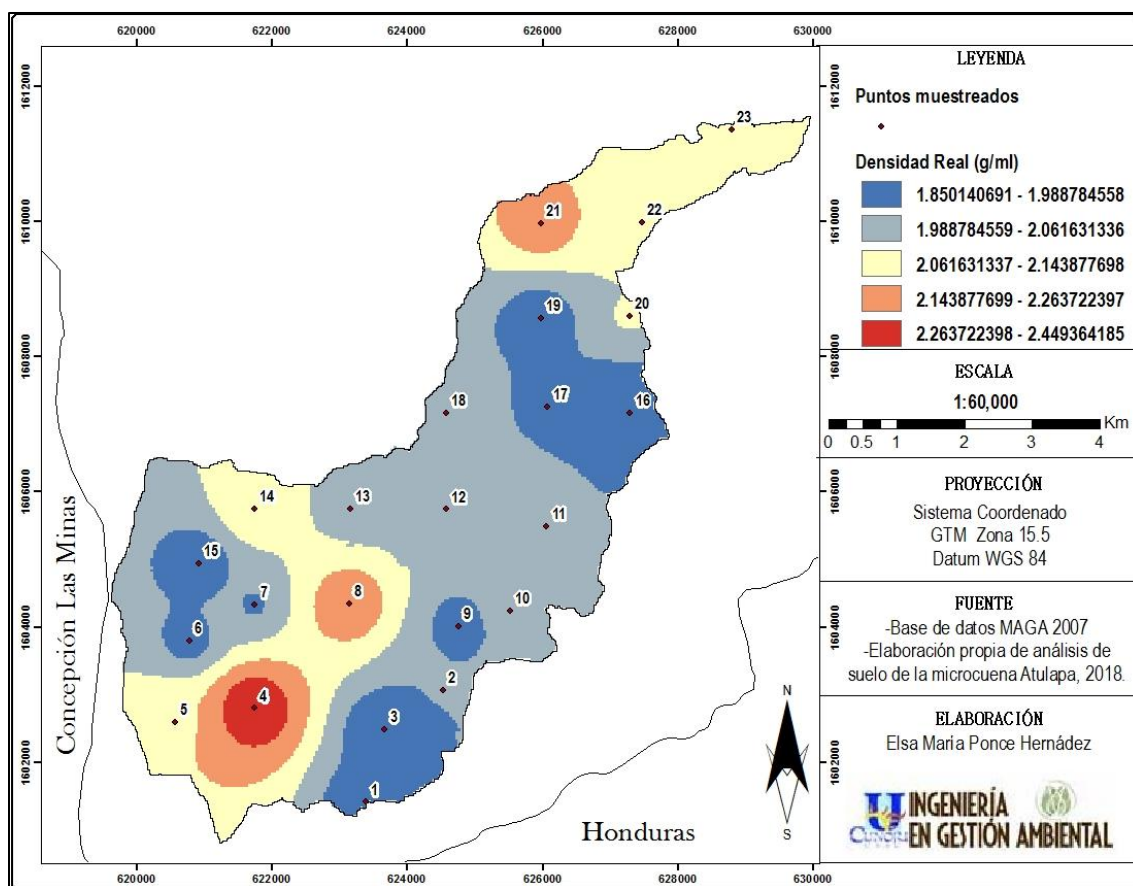


Figura 5. Valores de densidad real en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

De acuerdo a la figura 5, la mayor parte de la microcuenca tiene valores de densidad real entre 1.98 – 2.06 g/ml y se encuentran distribuidos sobre la parte media.

6. Base seca y humedad en los suelos

El contenido de agua del suelo es expresado como una relación entre la masa de agua contenida en una muestra de suelo y la masa seca de la muestra de suelo o el volumen original de la muestra. Estas dos expresiones están linealmente relacionadas por un coeficiente conocido como la densidad aparente del suelo muestreado (Ibáñez, 2006).

La metodología utilizada para determinar la humedad y base seca fue la de secado al horno, los resultados obtenidos se muestran en la tabla 7 donde aparecen los porcentajes de humedad y base seca por cada punto muestreado. Las diferentes lecturas realizadas se muestran en los anexos.

Tabla 7. Porcentaje de humedad y base seca en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

PUNTO	HUMEDAD %	BASE SECA %
P1	2.80	97.20
P2	3.80	96.20
P3	4.90	95.10
P4	3.80	96.20
P5	4.80	95.20
P6	5.80	94.20
P7	6.10	93.90
P8	8.60	91.40
P9	3.60	96.40
P10	5.00	95.00
P11	2.70	97.30
P12	2.90	97.10
P13	3.00	97.00
P14	3.80	96.20
P15	5.90	94.10
P16	7.90	92.10
P17	2.30	97.70
P18	1.10	98.90
P19	2.60	97.40
P20	1.50	98.50
P21	1.20	98.80
P22	0.90	99.10
P23	1.50	98.50

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El mayor porcentaje de humedad lo tiene el punto P8 con 8.60% y un porcentaje de base seca de 91.6% y el menor lo tiene el punto P22 con 0.90% y un porcentaje de base seca de 99.1%. En la figura 6 y 7 se muestran la distribución de los porcentajes de humedad y base seca en los suelos de la microcuenca del río Atulapa.

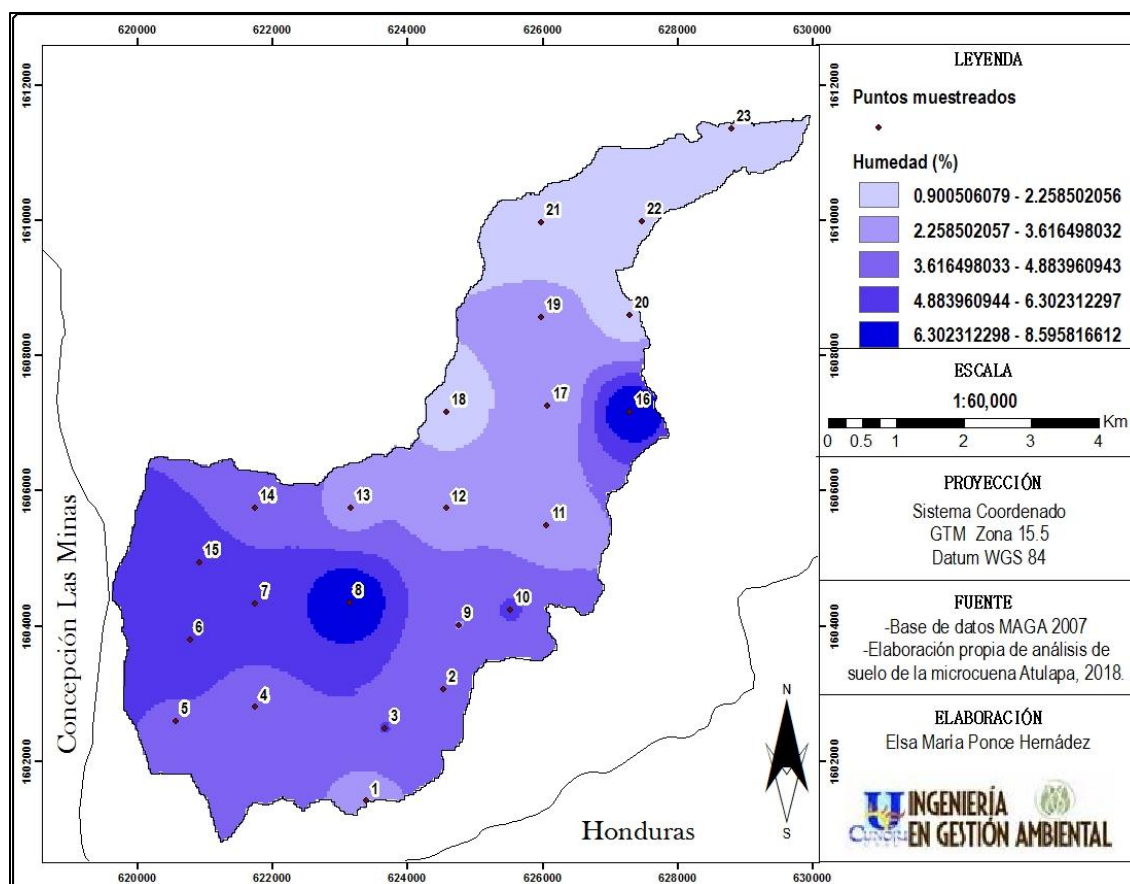


Figura 6. Porcentajes de humedad en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

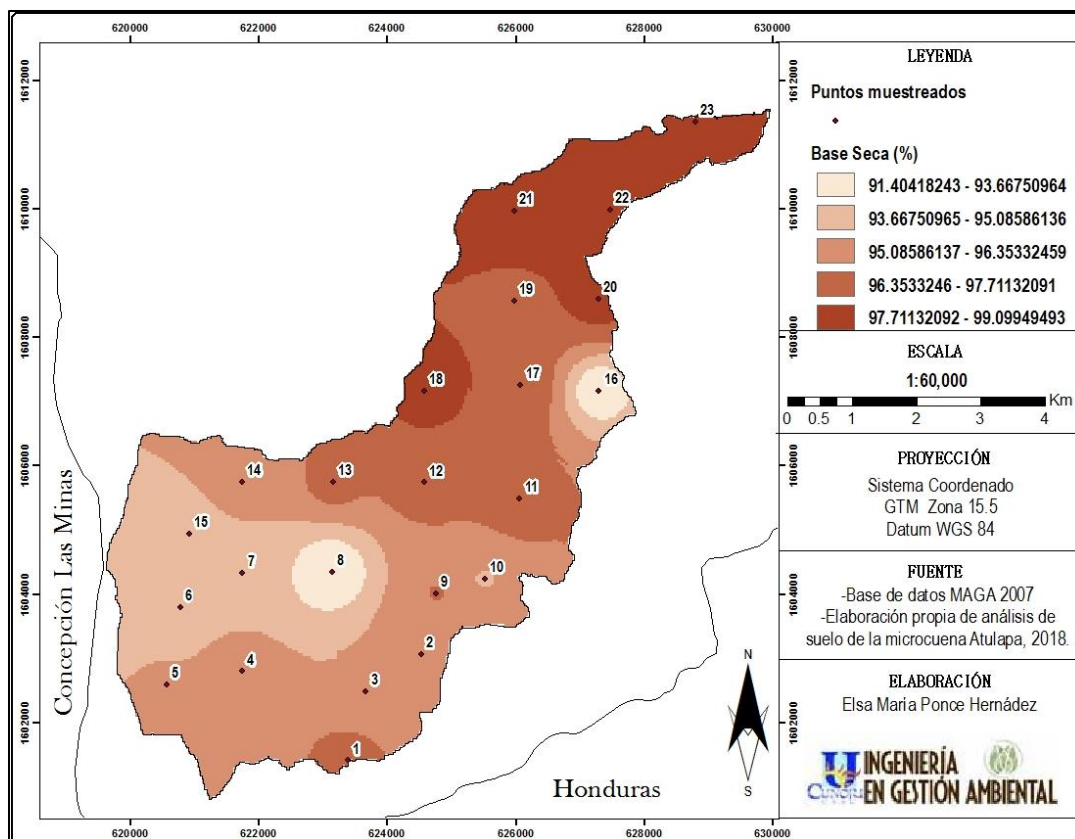


Figura 7. Porcentaje de base seca en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

Algunos autores coinciden en que la humedad del suelo, dependen del tamaño de las partículas que el suelo tenga, y de su densidad aparente. Para el caso de la microcuenca el punto con mayor porcentaje de humedad tiene una clase textural “franco” y es “no plástico”; mientras que el de menor porcentaje de humedad tiene una clase textural “franco arcillosa” y es “no plástico”.

7. Capacidad de campo y punto de marchitez en los suelos

La capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PMP) son los límites que definen la necesidad de agua de un cultivo para su óptimo desarrollo. El agua contenida en el suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitez es el agua capaz de absorber el sistema radical del cultivo, por lo que para el cálculo de las necesidades de agua es necesario tener en cuenta estos límites, que varían en función del tipo de suelo entre otros factores (Antúñez; Felmer; Vidal; Morales; Coz; Fuentes, 2019).

Los suelos de la microcuenca Atulapa tienen parámetros de CC que van desde 19.40% hasta los 34.10% y parámetros de 8.9% a 21.3% de PMP como se muestra en la tabla 8. Los parámetros fueron obtenidos a través del método de ollas de presión en el laboratorio de suelos, haciendo lecturas 48 hrs después de haber colocado las muestras dentro de las ollas, las lecturas tomadas se muestran en los anexos.

Tabla 8. Porcentajes de capacidad de campo y punto de marchitez permanente en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula

PUNTO	CC %	PMP %
P1	27.10	17.8
P2	25.00	15.3
P3	33.00	16.5
P4	26.40	13.1
P5	23.30	13.4
P6	30.60	17.2
P7	27.40	17.7
P8	33.20	19.9
P9	27.80	18.1
P10	29.40	19.4
P11	30.20	16.8
P12	24.20	14.5
P13	25.20	15.8
P14	25.20	14.7
P15	34.10	19.4
P16	29.70	21.3
P17	25.00	14.9
P18	24.30	18.3
P19	25.70	12.2
P20	26.50	12.1
P21	19.40	12.1
P22	19.40	8.9
P23	23.40	15.2

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La distribución en la microcuenca Atulapa de los porcentajes de CC y PMP se muestran en las figuras 8 y 9.

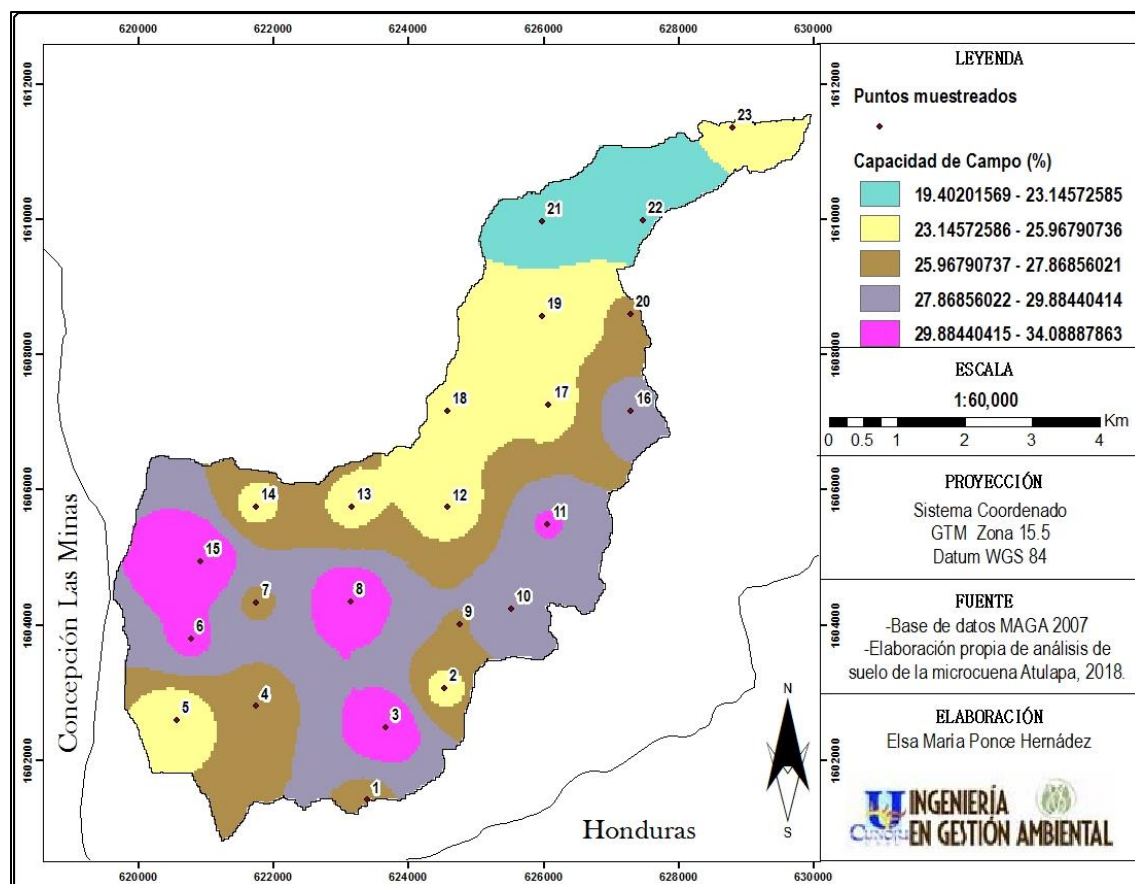


Figura 8. Porcentajes de capacidad de campo en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

Los puntos con los porcentajes más altos de CC son los puntos establecidos dentro de la zona alta de la microcuenca sobre la que la presencia de bosque es más abundante, siendo estos los puntos 3, 6, 8, 11 y 15.

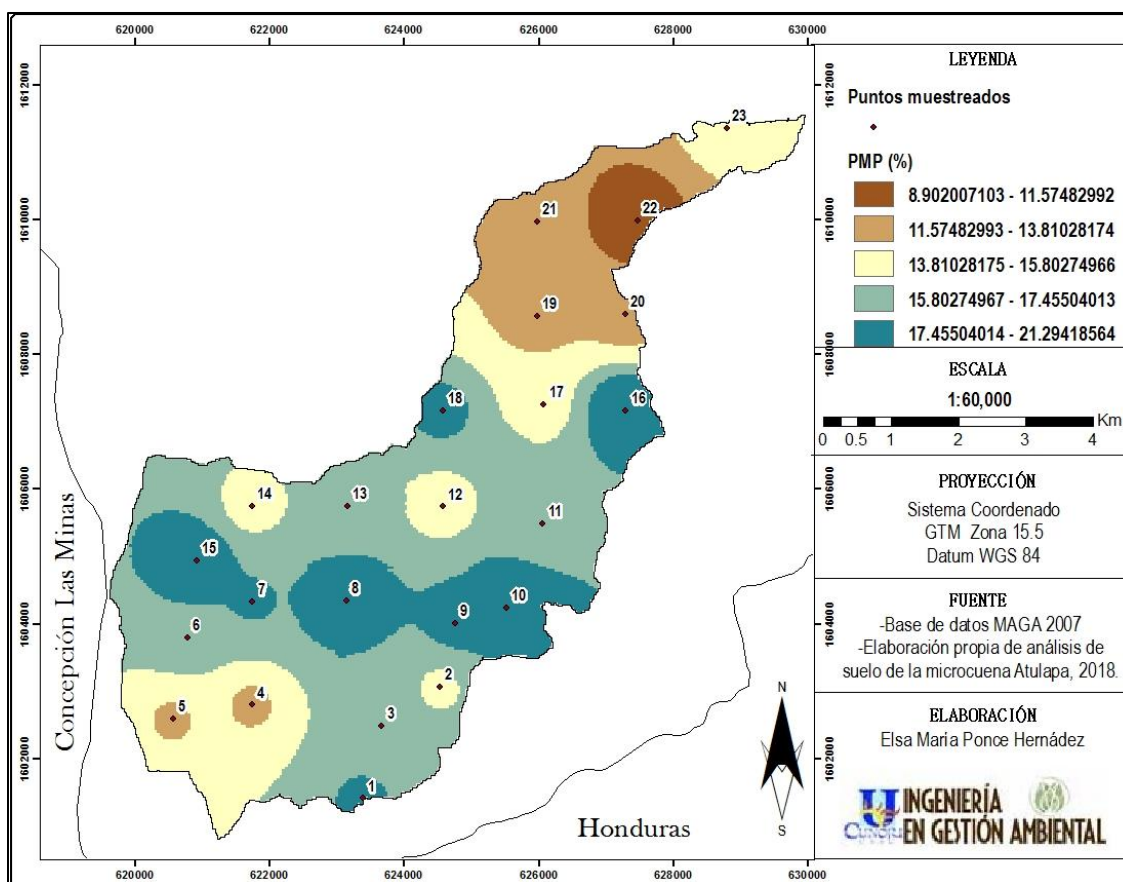


Figura 9. Porcentajes de punto de marchitez permanente en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula, 2018.

Los puntos con los porcentajes más bajos de PMP se encuentran sobre la zona baja de la microcuenca, siendo sólo el punto 22 el que posee estos porcentajes.

8. Espacio poroso total y capacidad de recarga hídrica de los suelos

La porosidad del suelo superficial determina en gran medida los procesos de infiltración y escurrimiento del agua que influyen en la erosión hídrica y el transporte de agua en el suelo. El flujo de agua y aire se realiza a través de la porosidad del suelo, condicionada por el tamaño, abundancia y distribución de poros. La porosidad es también un indicador de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (González; González; Chávez, 2012).

El Espacio Poroso Total (EPT) y la Capacidad de Recarga Hídrica (CRH) son dos propiedades del suelo que están sumamente relacionadas y que representan unas de las propiedades físicas del suelo más importante ya que de ellas depende la disponibilidad de agua presente sobre un área determinada.

La microcuenca del río Atulapa tienen porcentajes de CRH de 6 – 16.50 % mientras que para el EPT los porcentajes van de 37.73 – 64.67 % como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Porcentajes de espacio poroso total y capacidad de recarga hídrica en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

PUNTO	CRH %	EPT%
P1	9.30	51.67
P2	9.70	43.88
P3	16.50	54.56
P4	13.30	63.23
P5	9.90	46.47
P6	13.40	54.25
P7	9.70	48.81
P8	13.30	64.67
P9	9.70	47.89
P10	10.00	47.79
P11	13.40	50.17
P12	9.70	48.10
P13	9.40	46.09
P14	10.50	49.66
P15	14.70	61.17
P16	8.40	37.73
P17	10.10	48.31
P18	6.00	45.20
P19	13.50	47.13
P20	14.40	47.75
P21	7.30	50.80
P22	10.50	39.01
P23	8.20	42.89

Fuente: Elaboración propia, 2018.

La distribución de los porcentajes de EPT y CRH se muestran en las figuras 10 y 11, donde los valores menores están sobre la parte baja de la microcuenca para los dos casos.

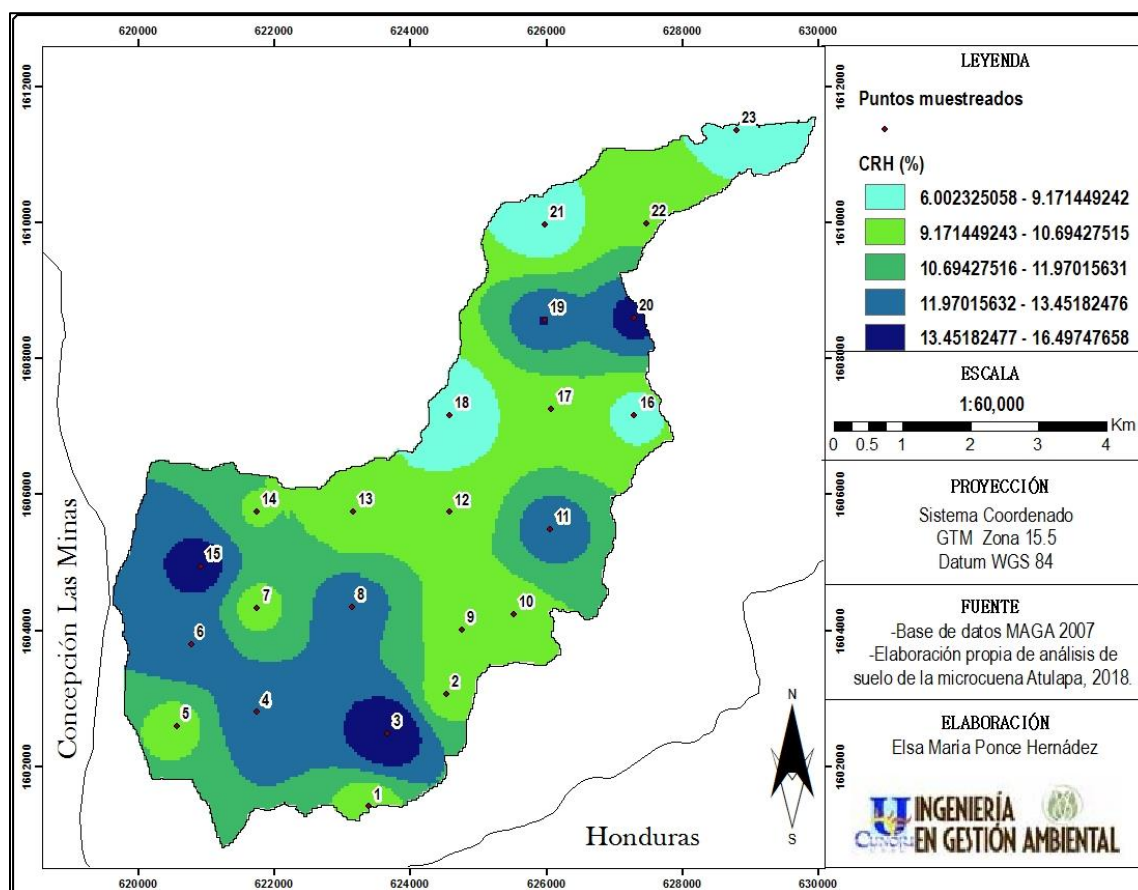


Figura 10. Porcentajes de capacidad de recarga hídrica en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

El intervalo más alto de porcentajes de CRH es de 13.45 – 16.49% que están en los puntos P15, P3 y P20 ubicados en la parte alta de la microcuenca.

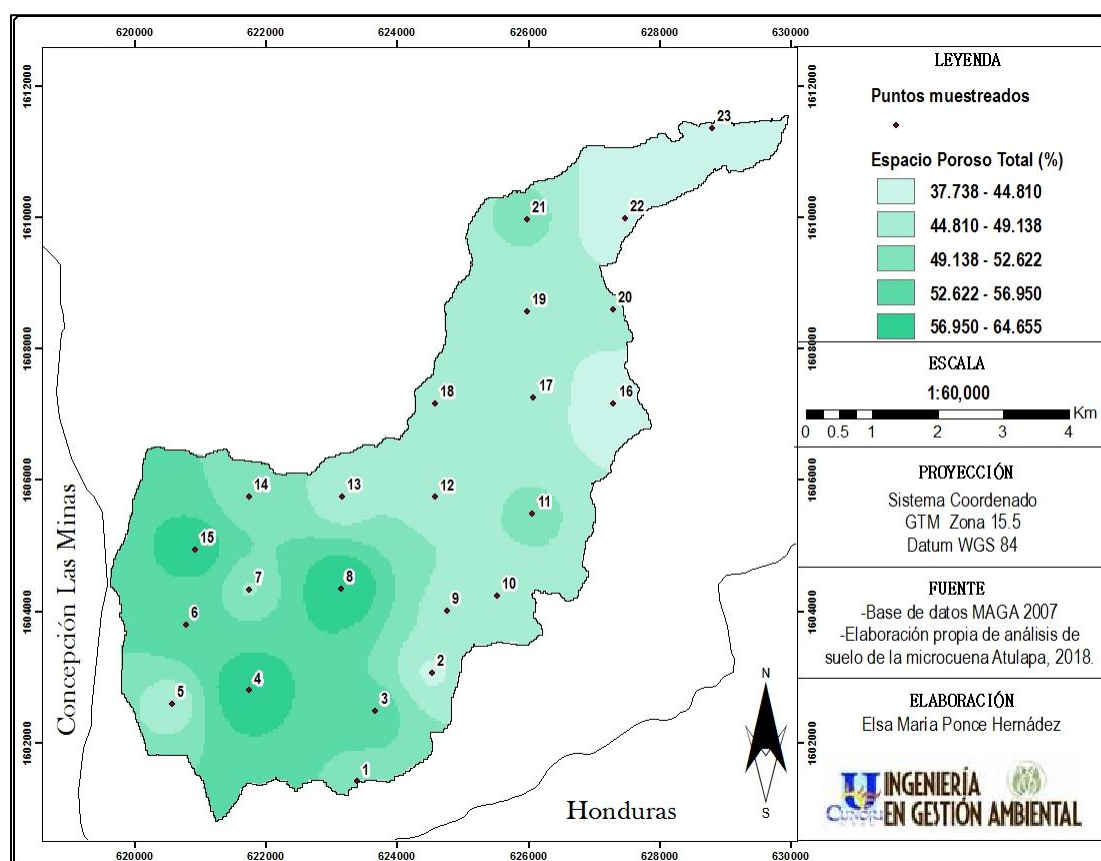


Figura 11. Porcentaje de espacio poroso total en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

Los porcentajes de ETP más altos los tienen los puntos P15, P8 y P4 que son 56.95 – 64.65% ubicados sobre la parte alta de la microcuenca.

9. pH en los suelos

El pH del suelo influye en el desarrollo de las plantas, resultado de los lixiviados y descomposición de los restos vegetales, así como de la actividad biológica del suelo (Piedrahita, 2009).

Se dice que los suelos son ácidos, neutros, o alcalinos (básicos), dependiendo de sus valores de pH, en una escala de 0 a 14. Un pH de 7 es neutro (agua pura), menos de 7 es ácido y mayor a 7 es alcalino.

Para medir el pH en los suelos de la microcuenca Atulapa se utilizó un potenciómetro, con el cual se obtuvieron los resultados para cada punto y se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. pH en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

PUNTO	UNIDADES DE pH
P1	4.53
P2	5.46
P3	4.83
P4	4.78
P5	6.00
P6	4.84
P7	4.20
P8	5.20
P9	5.35
P10	5.88
P11	4.63
P12	5.21
P13	5.41
P14	4.80
P15	4.22
P16	5.09
P17	4.20
P18	5.16
P19	5.26
P20	5.04
P21	6.10
P22	6.05
P23	5.72

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los resultados obtenidos indican que los suelo de la microcuenca, son suelos ácidos en su mayoría ya que todos tienen valores por debajo de 7. En la figura 12 se muestra la distribución del de los valores de pH en la microcuenca Atulapa.

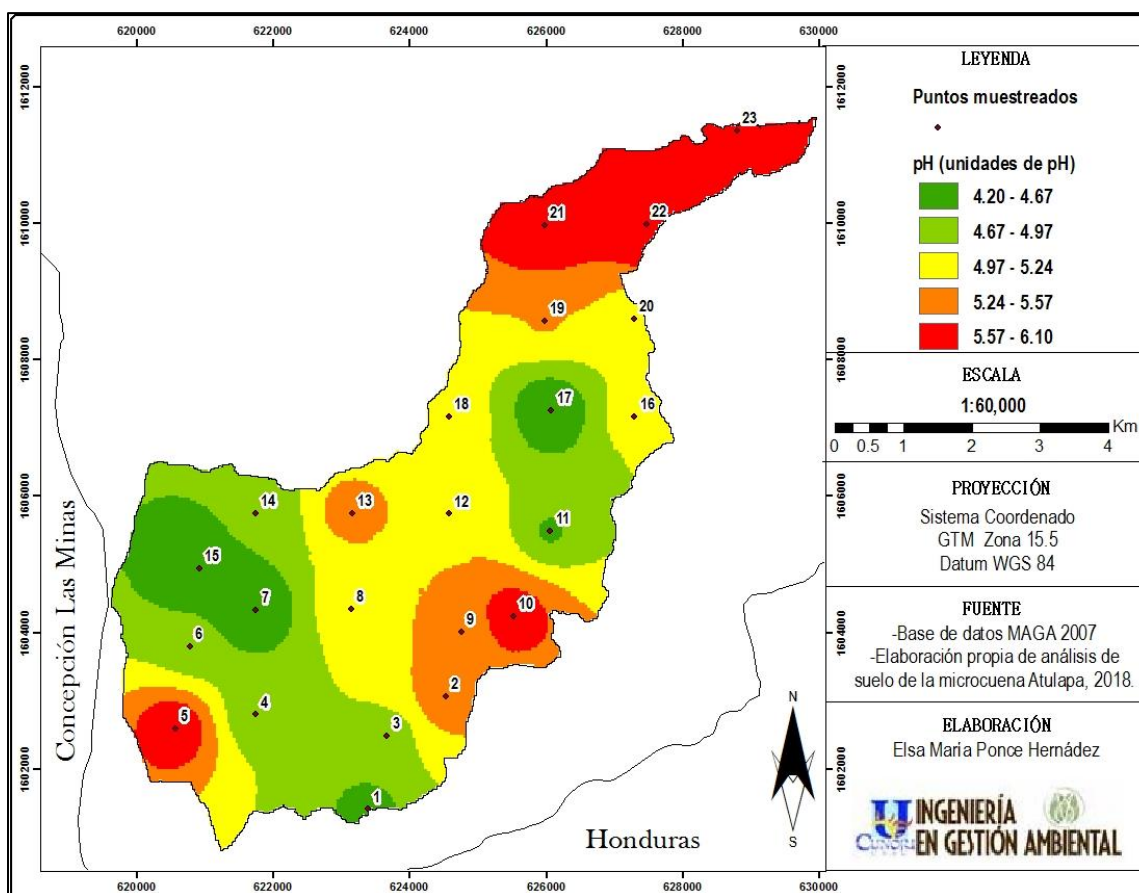


Figura 12. Valores de pH en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

Los suelos de mayor acidez están ubicados sobre la parte alta y media de la microcuenca, presentando valores de 4.20-4.67 de unidades de pH, mientras que los suelos menos ácidos están sobre la parte llana de la microcuenca en su mayoría con valores entre 5.57-6.10 de pH.

10. Conductividad eléctrica y salinidad de los suelos

La salinidad de un suelo o agua, se refiere a la cantidad de sales presentes en solución, y puede ser estimada indirectamente mediante la medición de la conductividad eléctrica (CE). El valor de CE es influenciado por la concentración y composición de las sales disueltas. A mayor valor de CE, mayor es la salinidad presente (Rebolledo, 2017).

Las muestras suelo recolectadas de la microcuenca Atulapa fueron analizadas con potenciómetro para determinar el porcentaje de salinidad y las unidades de $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica a través del uso de sondas. Los resultados obtenidos para cada muestra se presentan en la tabla 11.

Tabla 11. Salinidad y conductividad eléctrica en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

PUNTO	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$	Salinidad %
P1	48.00	0.02
P2	174.00	0.08
P3	51.20	0.02
P4	62.30	0.03
P5	135.90	0.06
P6	61.00	0.03
P7	101.00	0.04
P8	32.00	0.01
P9	181.00	0.08
P10	264.00	0.12
P11	104.40	0.05
P12	165.30	0.07
P13	180.40	0.08
P14	105.70	0.05
P15	72.70	0.03
P16	280.00	0.13
P17	89.20	0.04
P18	106.60	0.05
P19	136.30	0.06
P20	149.60	0.07
P21	103.10	0.05
P22	60.10	0.03
P23	181.30	0.08

Los rangos de conductividad eléctrica obtenidos en los suelos de la microcuenca del río Atulapa son de 32 – 280 $\mu\text{s}/\text{cm}$, donde el punto P8 el menor y el punto P16 el de valor mayor. Los valores de salinidad son 0.01 – 0.13 %, donde el punto P8 es el de mayor porcentaje y el punto P16 el de menor porcentaje.

En las figuras 13 y 14, se muestra la distribución de los valores obtenidos para cada uno de los puntos en la microcuenca.

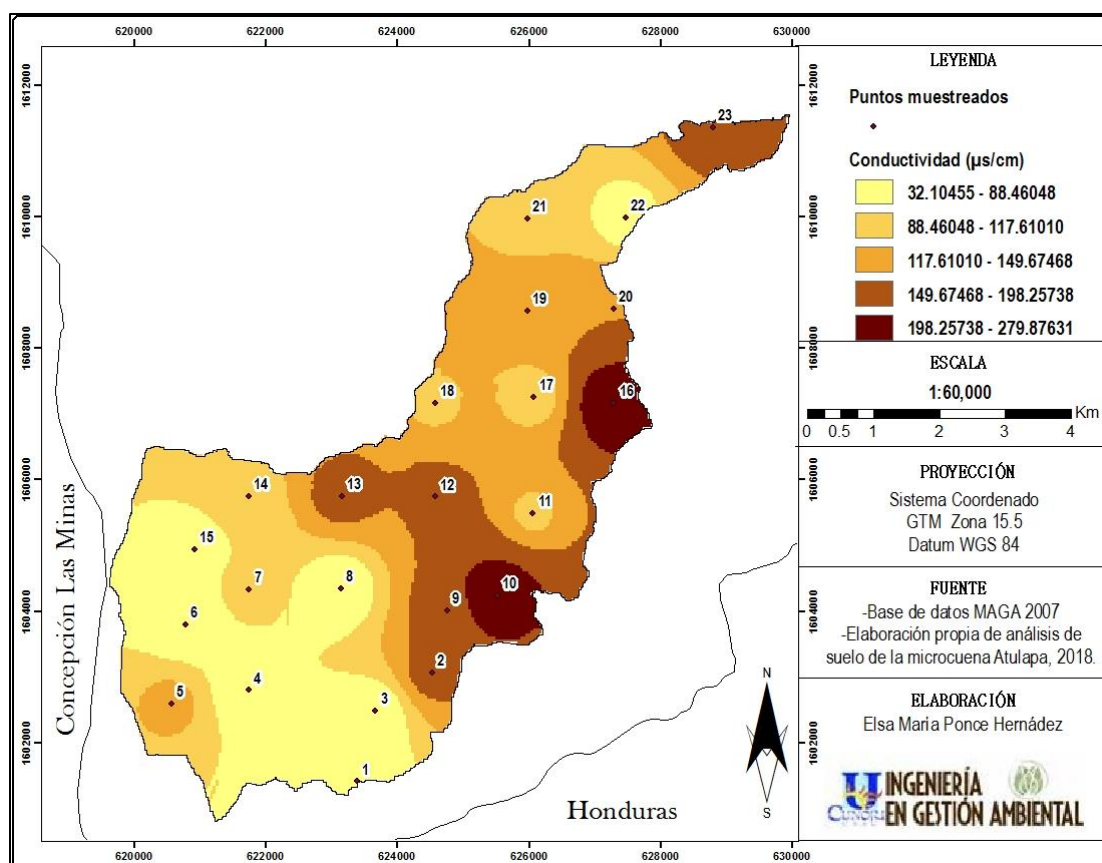


Figura 13. Valores de conductividad eléctrica en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

Los valores menores de conductividad eléctrica están distribuidos sobre la parte alta de la microcuenca, mientras que los valores mayores están sobre la parte media

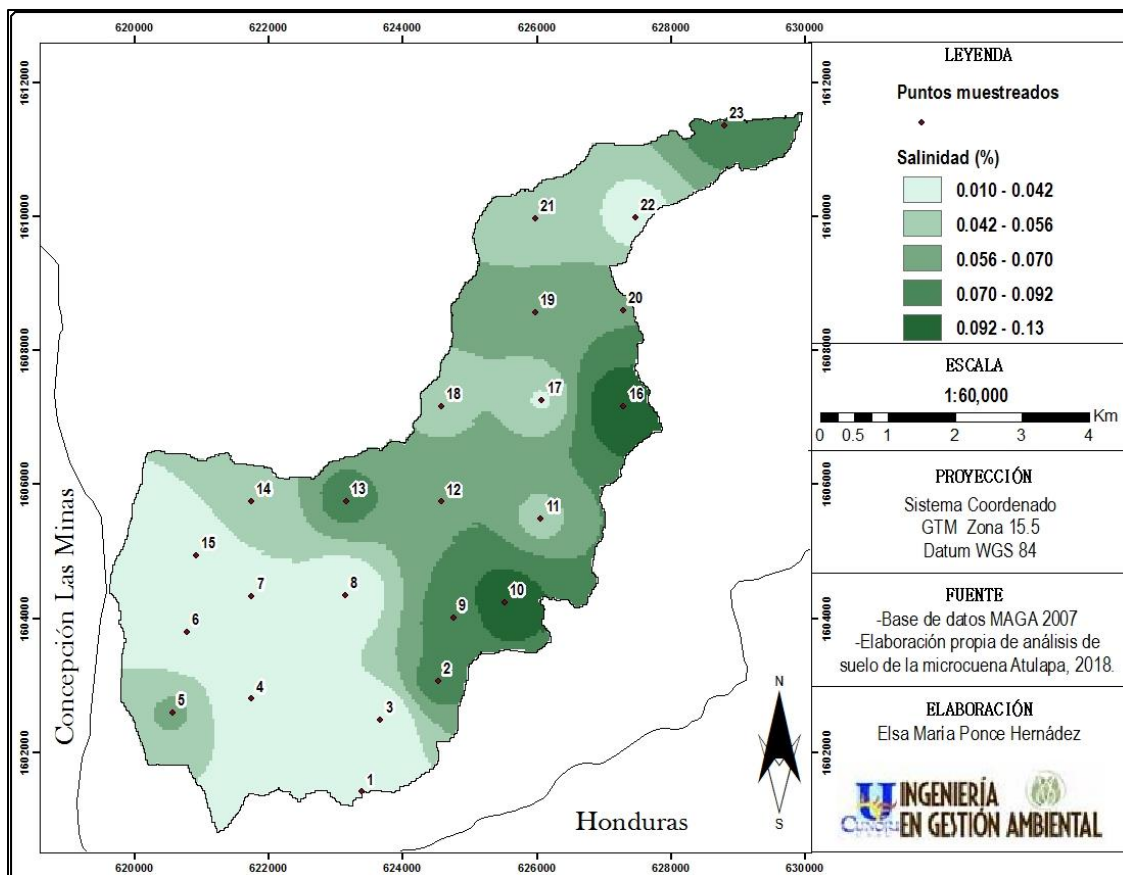


Figura 14. Porcentaje de salinidad en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

Los puntos con los porcentajes menores de salinidad están ubicados en la parte alta de la microcuenca y los puntos con el porcentaje mayor están en la parte media de la microcuenca del río Atulapa.

11. Materia Orgánica

La materia orgánica (residuos de plantas y materiales animales) está hecha de compuestos tales como los carbohidratos, ligninas y proteínas. Los microorganismos descomponen la materia orgánica en dióxido de carbono y los residuos más resistentes en humus. Durante el proceso de descomposición los microbios pueden atrapar nitrógeno del suelo. La cantidad de materia orgánica del suelo depende de la vegetación, el clima, la textura del suelo, el drenaje del mismo y de su laboreo (Pascual-S Izquierdo; Venegas, s.f.).

Para determinar la cantidad de MO presente en los suelos de la microcuenca Atulapa se utilizó el método por incineración, para lo cual se hizo uso de una mufla donde se introdujeron las 23 muestras tomadas. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Materia Orgánica en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

PUNTO	MO
P1	6.64
P2	8.63
P3	17.04
P4	19.48
P5	6.82
P6	20.70
P7	11.99
P8	25.45
P9	9.00
P10	25.47
P11	6.19
P12	3.21
P13	7.37
P14	9.41
P15	2.79
P16	9.23
P17	4.66
P18	4.23
P19	6.35
P20	4.81
P21	5.44
P22	3.00
P23	4.97

Las muestras con mayor cantidad de MO, fueron las muestras extraídas en los puntos P6, P8 y P10, y las muestras con menor cantidad de MO son las que pertenecen a los puntos P12, P15 y P22. La distribución de los valores de MO sobre la microcuenca del río Atulapa se muestra en la figura 15.

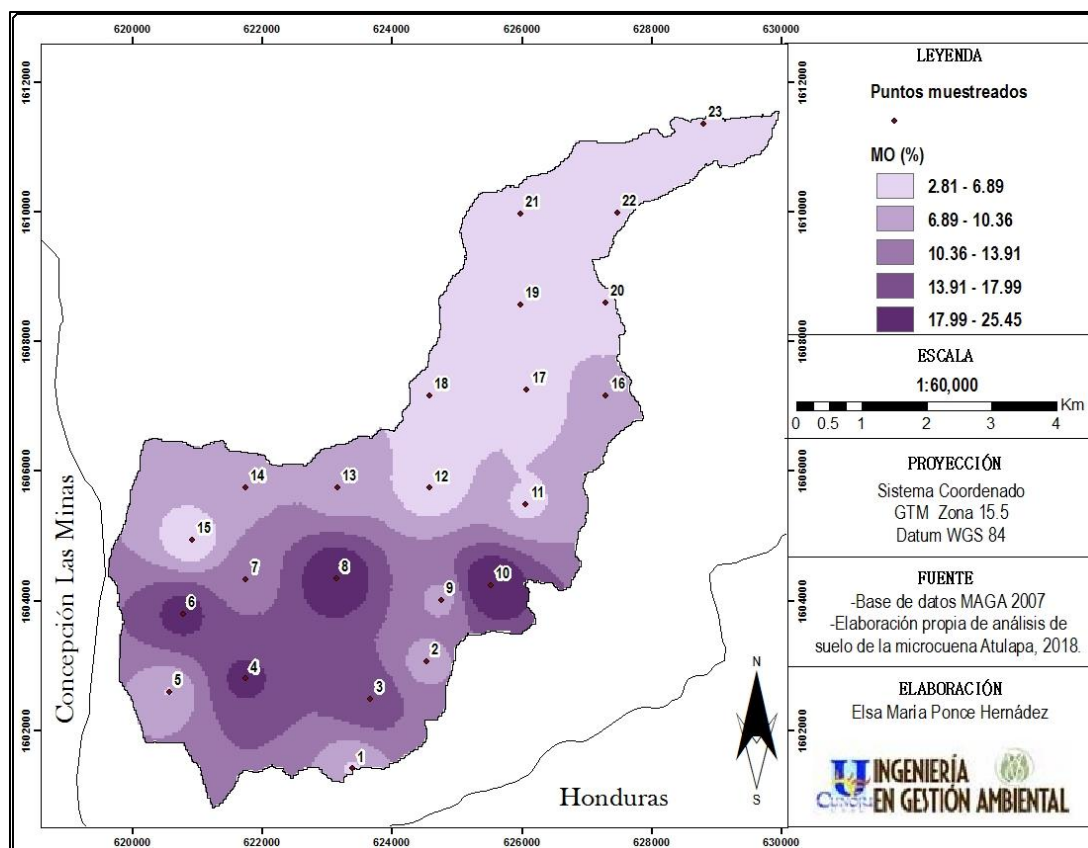


Figura 15. Porcentaje de materia orgánica en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

Los valores mayores de materia orgánica los tienen los puntos P6, P8 y P10 que se están ubicados en la parte alta de la cuenca, que es considerada la parte boscosa de la microcuenca.

Nutrientes del suelo

Los nutrientes son sustancias químicas disueltas en la humedad del suelo, necesarias para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas. Los nutrientes vitales son 13 elementos minerales. Son imprescindibles, porque si un suelo contiene cero gramos de los elementos, las plantas no crecen (ABCcolors, 2005).

Los nutrientes en el suelo están clasificados como macronutrientes y micronutrientes, la diferencia entre estos es que los primeros son más esenciales para el desarrollo de las plantas. Los suelos de la microcuenca del río Atulapa tienen cuatro macro nutrientes (fósforo, potasio, calcio y magnesio) y tres micronutrientes (cobre, zinc y hierro).

En la tabla 13 se muestran los resultados de los análisis realizados a cada uno de los puntos muestreados.

Tabla 13. Nutrientes en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

PUNTOS	MACRONUTRIENTES				MICRONUTRIENTES		
	P *ppm	K *ppm	Ca *meq/100gr	Mg *meq/100gr	Cu *ppm	Zn *ppm	Fe *ppm
P1	2.86	50.21	0.50	0.43	6.9	0.0	71.3
P2	3.86	359.79	3.28	5.11	5.0	0.0	58.2
P3	4.06	45.93	1.51	0.73	6.5	0.0	24.0
P4	5.94	74.96	0.73	0.57	8.1	1.2	53.4
P5	29.30	30.31	10.65	1.24	6.4	0.0	28.3
P6	3.46	104.58	1.94	1.25	8.1	0.0	35.7
P7	8.60	82.41	0.69	1.09	3.2	1.6	38.0
P8	1.71	98.38	1.06	1.20	4.4	4.8	26.9
P9	3.26	196.59	3.06	5.17	4.5	4.6	98.2
P10	6.37	593.29	7.78	1.25	3.4	8.2	29.0
P11	10.99	74.76	0.83	1.00	3.8	4.7	51.7
P12	9.07	85.44	4.50	5.08	5.4	8.0	38.8
P13	12.36	157.20	4.17	4.42	7.4	7.3	39.2
P14	10.01	79.05	2.13	4.77	4.3	4.2	46.1
P15	3.66	45.68	0.47	0.36	2.4	5.2	191.1
P16	3.86	337.50	8.74	0.59	2.3	5.4	37.0
P17	18.36	123.39	0.83	0.63	3.4	7.4	47.0
P18	7.47	117.34	1.62	4.71	8.0	5.5	45.1
P19	3.23	252.51	3.28	5.68	2.7	5.0	36.5
P20	58.12	114.68	1.40	1.22	2.6	7.5	50.1
P21	3.26	95.58	5.53	4.22	3.4	5.9	33.3
P22	3.06	213.48	1.35	4.62	7.7	5.5	39.6
P23	4.88	222.50	1.55	1.17	3.6	6.1	86.6

Los resultados de la tabla 13, muestran que los puntos de mayor valor son: para fósforo (P) el punto P20 tiene 59.12 ppm, para potasio (K) el punto P10 con 593.29 ppm, para calcio (Ca) el punto P5 con 10.65 meq/100gr, para magnesio el punto P19 con 5.68 meq/100gr, para cobre (Cu) un valor de 8.1 ppm para los puntos P5 y P6, para zinc (Zn) el punto P10 con 8.2 ppm y para hierro (Fe) el punto P15 con 191.1 ppm.

La distribución de los valores se muestra en la figura 16 a la 22, donde se elaboró un mapa para cada uno de los parámetros y los diferentes valores obtenidos en la microcuenca del río Atulapa.

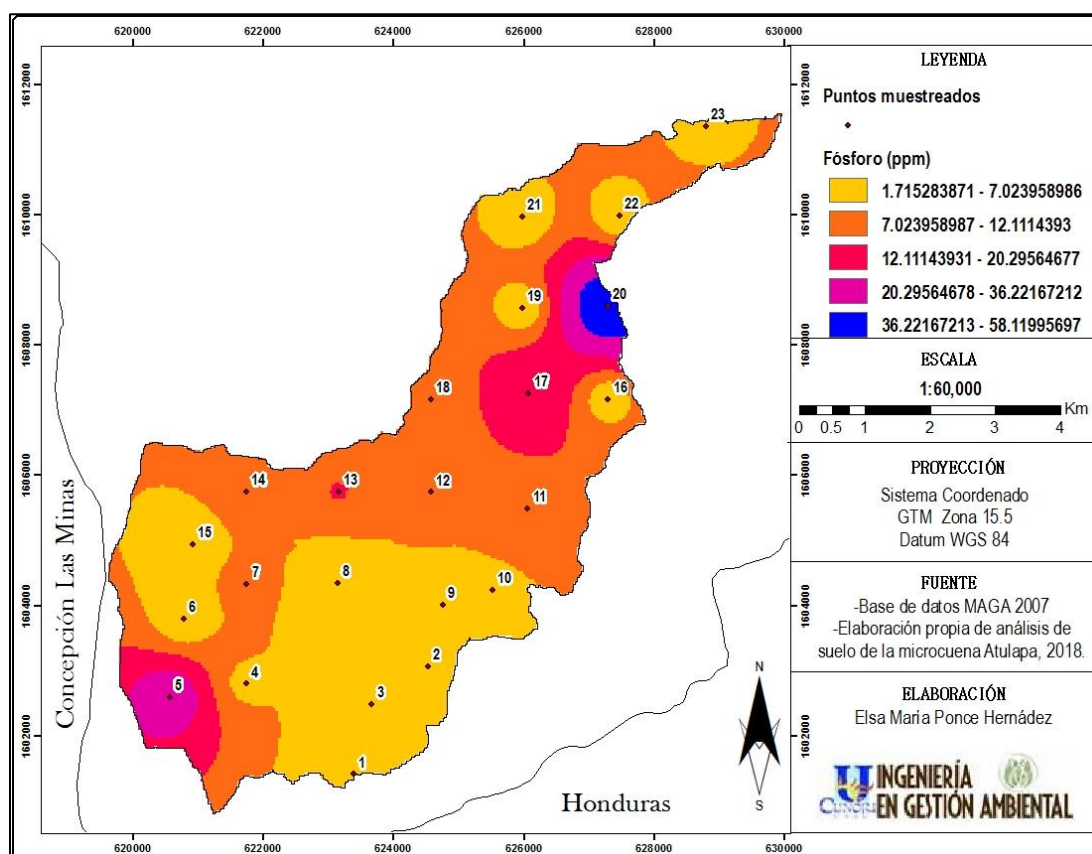


Figura 16. Valores de fósforo en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

El mayor valor de fósforo en la de la microcuenca es el valor de 7.02-12.11 pmp, y que se presenta en toda la superficie de la microcuenca.

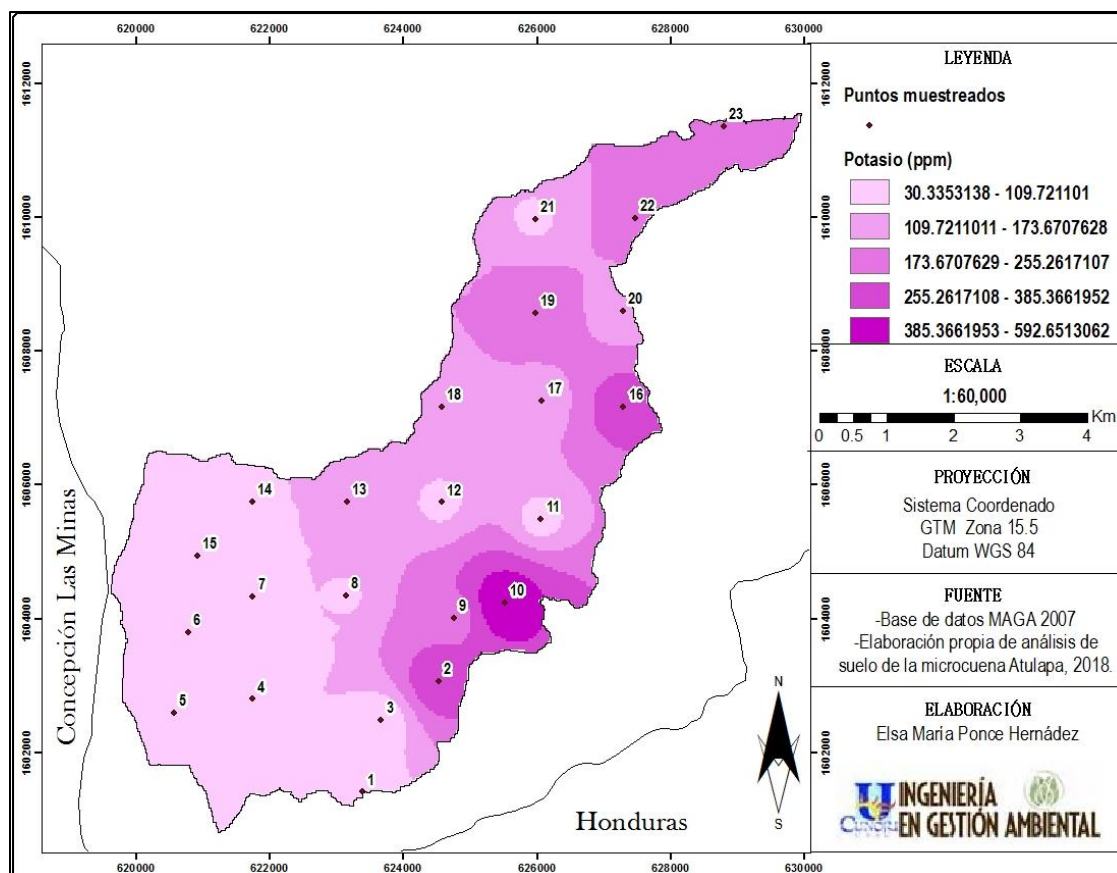


Figura 17. Valores de potasio en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

Los valores con mayor cobertura sobre la microcuenca Atulapa son los de 30.33 - 109.72 ppm, ubicados mayormente en la parte alta de la microcuenca.

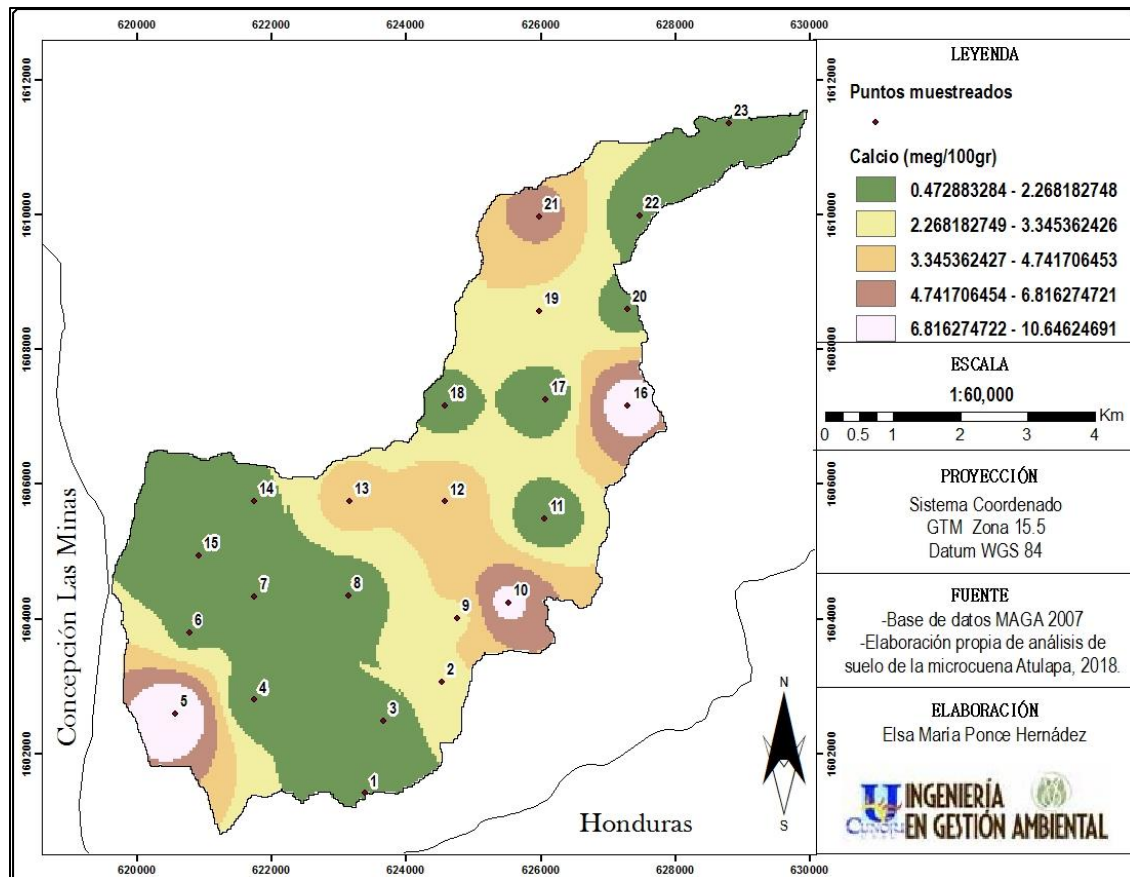


Figura 18. Valores de calcio en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

La figura 18, muestra que los valores de 6.18-10.64 meq/100gr tienen menor superficie en la zona baja y alta de la cuenca, donde los puntos P5 y P16 son los que tienen mayor valor de calcio.

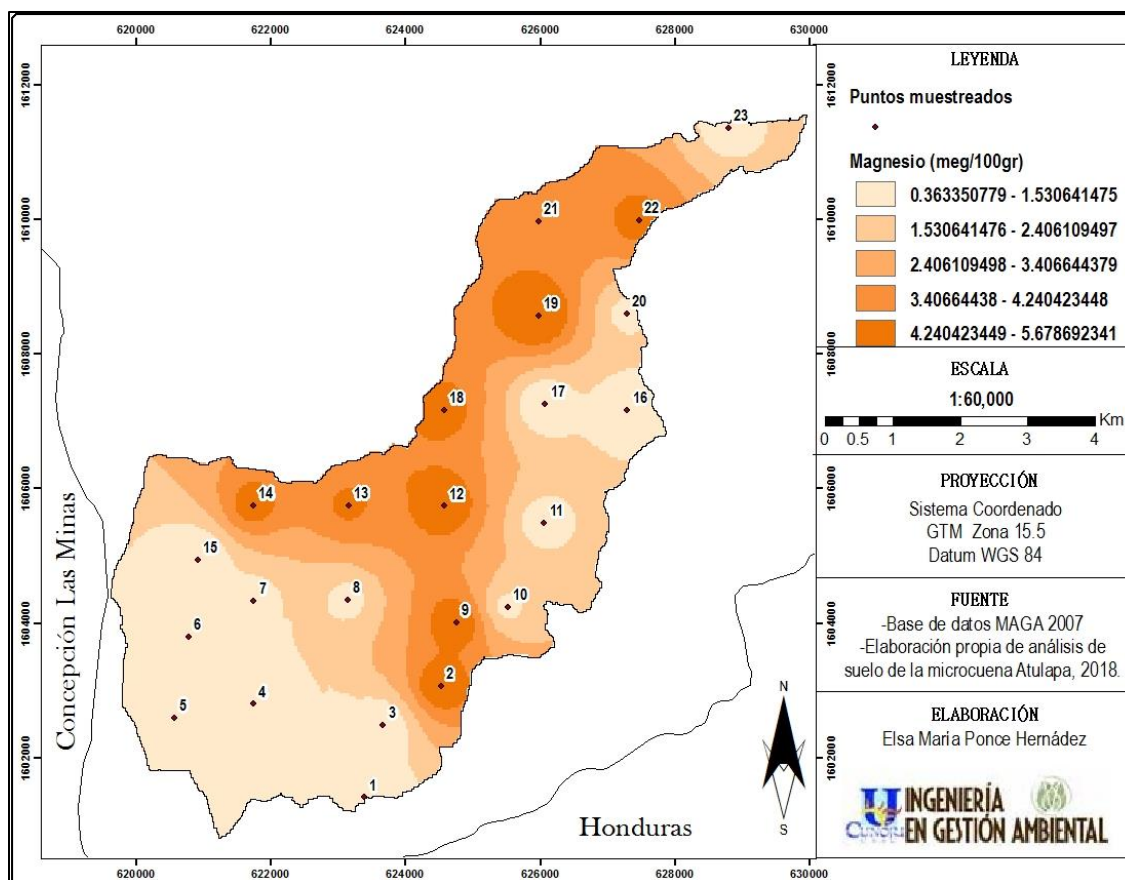


Figura 19. Valores de magnesio en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

Los valores con mayor superficie sobre los suelos de la microcuenca Atulapa, son los que se encuentran en los valores de 0.36-1.53 meq/100gr, distribuidos en su mayoría sobre la parte alta de la microcuenca.

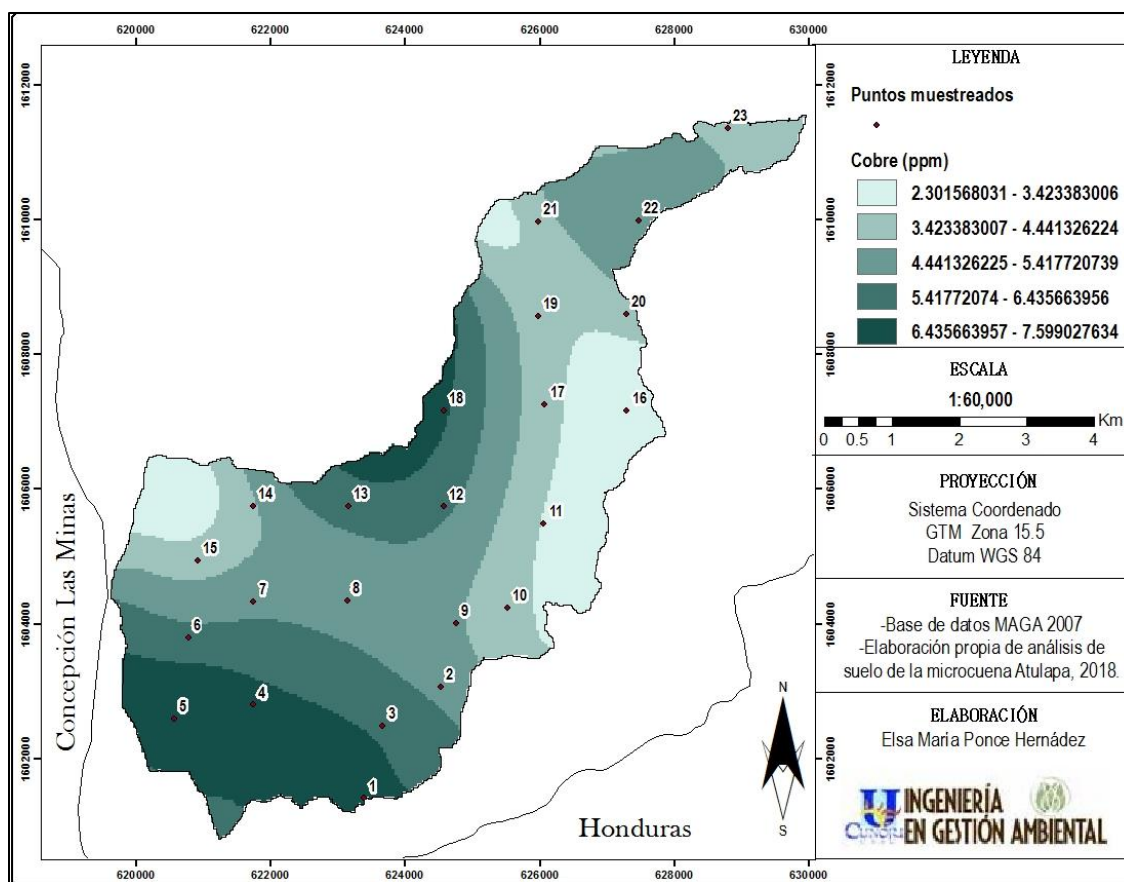


Figura 20. Valores de cobre en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

Los valores menores de cobre lo tienen los puntos P11 y P16 con 2.30-3.42 ppm y están ubicados sobre la parte media de la microcuenca.

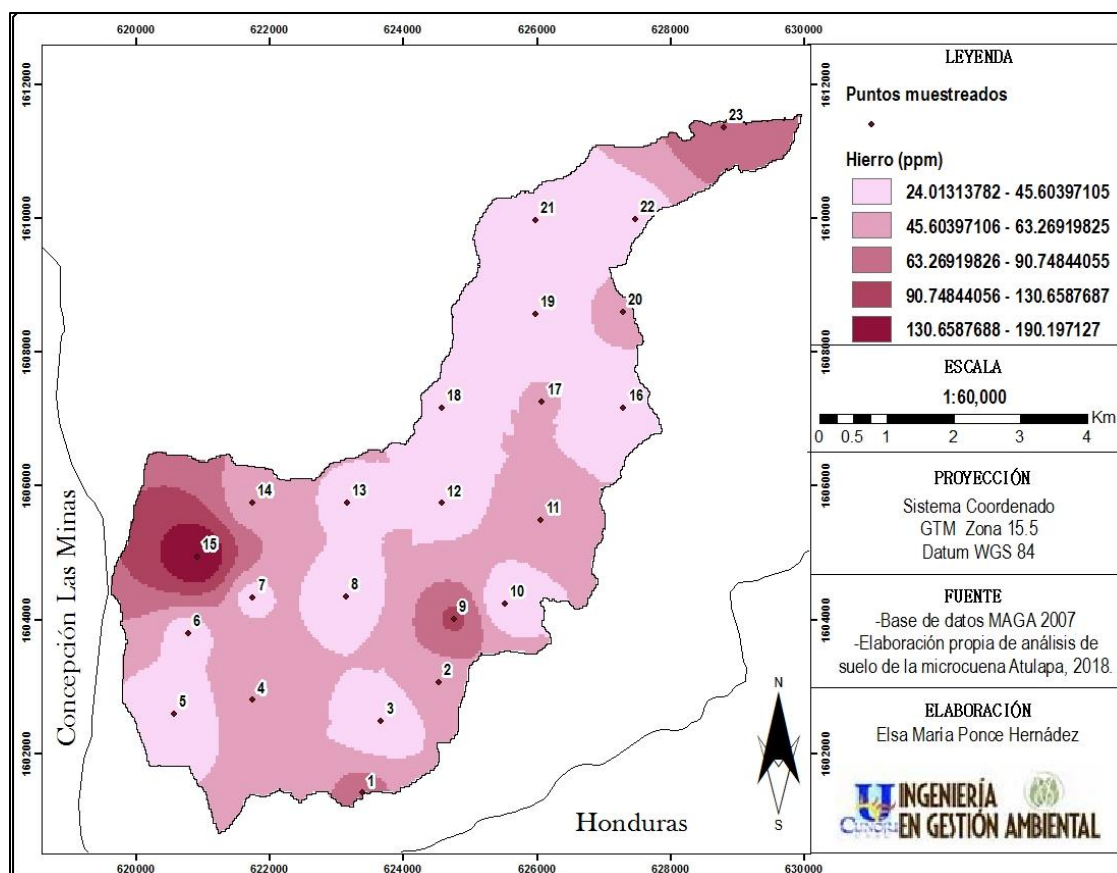


Figura 21. Valores de hierro en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

El mayor valor de hierro en suelos lo obtuvo el punto P15 con 130.65-190.197 ppm, el cual se ubica en la parte media de la microcuenca del río Atulapa.

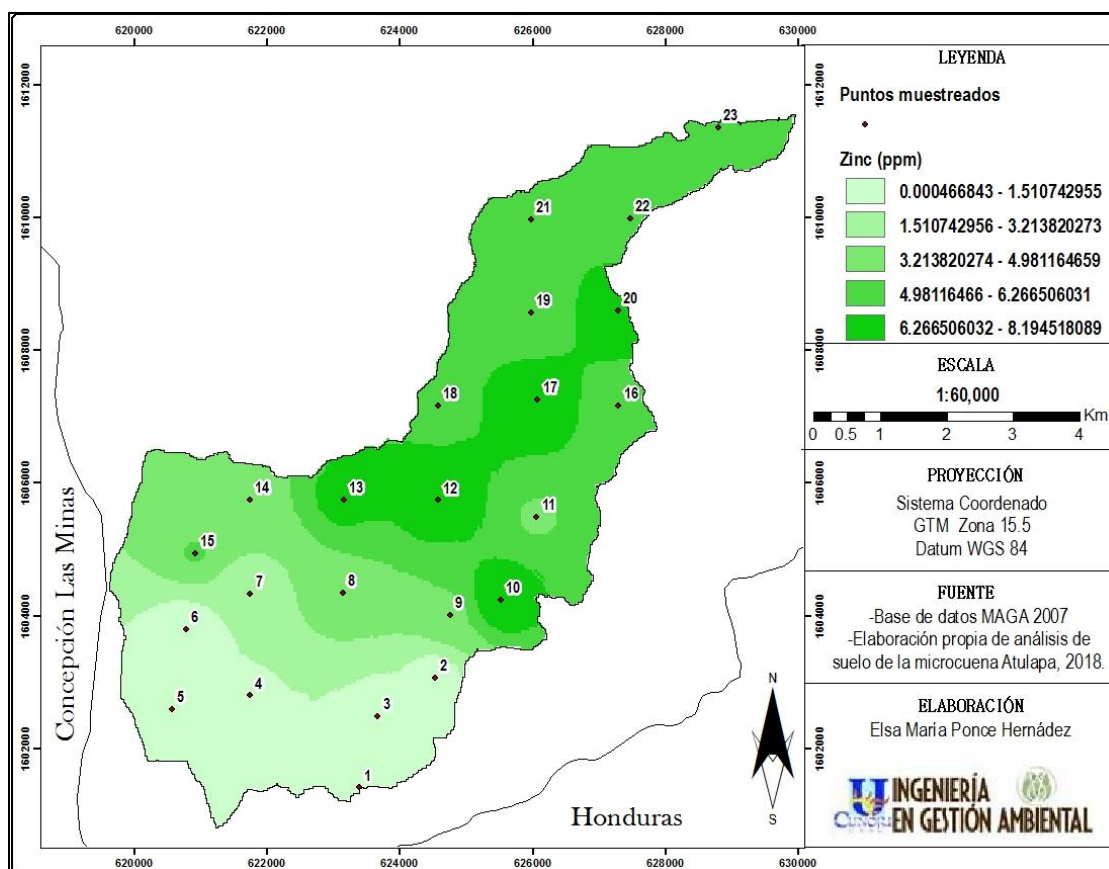


Figura 22. Valores de zinc en los suelos de la microcuenca del río Atulapa, Esquipulas, Chiquimula.

La parte baja de la microcuenca, tiene un alto contenido de zinc en los suelos con valores de 4.98-6.62 ppm, distribuido sobre las diferentes áreas de la microcuenca.

BIBLIOGRAFÍA

- ABCcolors. 2005. Nutrientes del suelo (en línea, sitio web). Paraguay. Consultado 4 abr. 2019. Disponible en <http://www.abc.com.py/articulos/nutrientes-del-suelo-866315.html>
- Antúñez B, A; Felmer E, S; Vidal S, M; Morales J, R; Coz L, E; Fuentes F, F. 2019. Propiedades físicas-hídricas del suelo en el cultivo de maíz grano (en línea). *In* Riego por pulsos en maíz grano. Antúñez B, A; Vidal S, M; Felmer E, S; González Y, M (eds.). Región O'Higgins, Chile, INIA. 20 p. (Boletín INIA no. 312). Consultado 3 abr. 2019. Disponible en <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40309.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). s.f. Consistencia del suelo (en línea). Santiago, Chile. Consultado 3 abr. 2019. Disponible en http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm
- Gómez, V. 2019. Suelos arcillosos: características, composición, estructura (en línea, sitio web). Estonia, Lifeder.com. Consultado 3 abr. 2019. Disponible en: <https://www.lifeder.com/suelos-arcillosos/>
- Gonzáles Barrios, JL; Gonzáles Cervantes, G; Chávez Ramírez, E. 2012. Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas (en línea). *Revista Tecnología y Ciencia del Agua* 3 (1): 21-32. Consultado 4 abr. 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v3n1/v3n1a2.pdf>
- Grupo Sacsa. 2015. Características del suelo arcilloso (en línea, blog). Sinaloa, México. Consultado 3 abr. 2019. Disponible en <http://www.gruposacsa.com.mx/caracteristicas-del-suelo-arcilloso/>

- Ibáñez, JJ. 2006. Niveles de humedad del suelo y agua disponible: el agua en el suelo 3 (en línea, blog). España. Consultado 3 abr. 2019. Disponible en <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/06/26/33002>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2019. Capítulo 4: propiedades de los suelos (en línea, sitio web). Colombia. 46 p. Consultado 3 abr. 2019. Disponible en: <https://www.igac.gov.co/catalogo>
- Osorio, S. 2010. La plasticidad del suelo – límites de Atterberger (en línea, blog). España, geotecnia-sor.blogspot. Consultado 3 abr. 2019. Disponible en <http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/plasticidad-del-suelo-limites-de.html>
- Pascual-S Izquierdo, R; Venegas Yuste, S. s.f. La materia orgánica del suelo: papel de los microorganismos (en línea). Informe. España, Universidad de Granada. 11 p. Consultado 4 abr. 2019. Disponible en <https://www.ugr.es/~cjl/MO%20en%20suelos.pdf>
- Piedrahita, O. 2009. Acidez del suelo (en línea). Colombia, Magnesios Heliconia S.A. 30 p. nuprec.com Consultado 4 abr. 2019. Disponible en http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Acidez%20del%20Suelo/Fuentes%20y%20efectos.pdf
- Portal Frutícula. 2018. Métodos de medición de humedad del suelo: del campo al laboratorio (en línea, sitio web). Santiago, Chile. Consultado 3 abr. 2019. Disponible en <https://www.portalfruticola.com/noticias/2018/08/30/metodos-de-medicion-de-humedad-del-suelo-del-campo-al-laboratorio/>

puy Santín, AJ. 2005. Influencia de la temperatura en el límite líquido para suelos con diferentes índices de plasticidad (en línea). Tesina Lic. España, Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. 28 p. Consultado 3 abr. 2019. Disponible en <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3282/53973-5.pdf>

Rebolledo V, S. 2017. Conductividad eléctrica y salinidad (en línea, sitio web). Chile, Redagícola. Consultado 4 abr. 2019. Disponible en <http://www.redagricola.com/cl/conductividad-electrica-salinidad/>

Rojas, JM; Sáenz Peña, EEA. 2012. Densidad aparente: comparación de métodos de determinación en ensayos de rotación de siembra directa (en línea). Chaco, Argentina, INTA; Centro Regional Chaco Formosa, Estación experimental agropecuaria. 3 p. Consultado 3 abr. 2019. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_densidad_aparente.pdf

Salamanca Jiménez, A; Sadeghian Khalajabadi, S. 2005. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana (en línea). Revista Cenicafe 56 (4): 381-397. Consultado 3 abr. 2019. Disponible en <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2804%28381-397.pdf>



ANEXOS

Anexo 1. Tabla de lecturas del laboratorio para determinar densidades

PUNTO	DENSIDAD APARENTE			DENSIDAD REAL		
	Peso Probeta g	Vol. suelo compactado ml	Pprob. + suelo g	Peso Probeta g	Pprobeta + suelo g	Vol. De desplazamiento ml
P1	112.64	93	199.44	112.68	159.03	84 - 24
P2	133.69	87	231.06	133.71	183.57	85 - 25
P3	107.94	85	180.92	107.94	147.62	81 - 21
P4	129.88	94	214.57	129.88	173.98	78 - 18
P5	129.99	89	231.25	129.24	182.38	85 - 25
P6	129.23	92	211.25	132.21	175.08	82 - 22
P7	134.69	89	224.84	134.69	182.18	84 - 24
P8	130.72	90	202.50	129.76	165.88	76 - 16
P9	132.21	88	221.57	127.00	173.77	84 - 24
P10	129.76	89	223.90	130.96	179.58	84 - 24
P11	127.00	87	215.88	130.46	175.56	82 - 22
P12	130.94	93	228.52	130.00	180.54	85 - 25
P13	103.06	89	199.85	103.07	153.50	85 - 25
P14	112.68	89	208.37	130.93	180.05	83 - 23
P15	133.69	90	200.75	133.70	168.24	78 - 18
P16	107.92	89	210.46	132.19	185.85	89 - 29
P17	129.97	93	224.88	129.22	176.60	84 - 24
P18	129.22	86	225.55	134.67	183.73	84 - 24
P19	134.69	89	225.68	127.00	175.34	85 - 25
P20	132.19	82	220.98	112.67	160.33	83 - 23
P21	129.75	94	232.40	130.43	181.48	83 - 23
P22	126.99	82	233.12	129.85	182.90	85 - 25
P23	103.05	87	207.53	107.91	162.58	86 - 26

Anexo 2. Tabla de lecturas tomadas para determinar humedad

PUNTO	PESO CAJA g	PESO SUELO SECO g
P1	20.62	30.34
P2	20.61	30.23
P3	20.83	30.34
P4	20.82	30.44
P5	20.74	30.26
P6	20.64	30.06
P7	20.61	30.00
P8	20.58	29.72
P9	20.55	30.19
P10	12.42	21.92
P11	12.27	22.00
P12	12.32	22.03
P13	12.42	22.12
P14	12.38	22.00
P15	12.35	21.76
P16	12.62	21.83
P17	12.24	22.01
P18	12.41	22.30
P19	12.29	22.03
P20	12.24	22.09
P21	12.32	22.20
P22	12.08	21.99
P23	12.41	22.26

Anexo 3. Tabla de lecturas para determinar la textura.

PUNTO	LECTURA 1		LECTURA 2	
	H°	T°	H°	T°
P1	24	24	22	25
P2	30	24	15	25
P3	28	24	12	25
P4	23	24	10	25
P5	15	24	15	25
P6	23	23	10	25
P7	24	23	10	24
P8	24	23	5	24
P9	36	22	23	24
P10	35	22	23	24
P11	37	21	27	24
P12	30	21	19	24
P13	34	21	26	24
P14	39	24	15	24
P15	31	24	12	24
P16	44	24	15	24
P17	45	24	12	24
P18	39	24	10	24
P19	45	23	10	23
P20	41	23	27	23
P21	23	23	13	23
P22	26	22	13	23
P23	40	26	35	24

Anexo 4. Tabla de Porcentajes de partículas

PUNTO	% ARCILLA	% LIMO	% ARENA
P1	50.218	4.22	45.562
P2	35.448	31.65	32.902
P3	29.118	33.76	37.122
P4	24.898	27.43	47.672
P5	35.07	21.10	43.830
P6	24.898	27.43	47.672
P7	24.898	29.54	45.562
P8	14.348	40.09	45.562
P9	52.328	27.43	20.242
P10	52.328	25.32	22.352
P11	60.768	21.10	18.132
P12	43.888	23.21	32.902
P13	58.658	16.88	24.462
P14	35.448	50.64	13.912
P15	29.118	40.09	30.792
P16	35.448	61.19	3.362
P17	29.118	69.63	1.252
P18	24.898	61.19	13.912
P19	24.898	73.85	1.252
P20	60.768	29.54	9.692
P21	31.228	21.10	47.672
P22	31.228	27.43	41.342
P23	77.648	10.55	11.802

Anexo 5. Tabla de lecturas tomadas para determinar capacidad de campo y punto de marchitez permanente

PUNTO	CAPACIDAD DE CAMPO		PUNTO DE MARCHITEZ	
	Peso caja (g)	Peso suelo seco (g)	Peso caja (g)	Peso suelo seco (g)
P1	20.63	27.92	20.61	28.83
P2	20.59	28.09	20.58	29.05
P3	20.82	27.52	20.79	29.14
P4	20.80	28.16	20.80	29.49
P5	20.53	28.20	20.71	29.37
P6	20.61	27.55	20.61	28.89
P7	20.66	27.92	20.60	28.83
P8	20.69	27.37	20.57	28.58
P9	20.55	27.77	20.53	28.72
P10	12.40	19.46	12.40	20.46
P11	12.34	19.32	12.34	20.66
P12	12.33	19.91	12.32	20.87
P13	12.41	19.89	12.41	20.83
P14	12.38	19.86	12.37	20.90
P15	12.37	18.96	12.38	20.44
P16	12.38	19.41	12.39	20.26
P17	12.22	19.72	12.22	20.73
P18	12.42	19.99	12.42	20.59
P19	12.24	19.67	12.24	21.02
P20	12.35	19.70	12.34	21.13
P21	12.32	20.38	12.32	21.11
P22	12.10	20.16	12.09	21.20
P23	12.27	19.93	12.27	20.75

Anexo 6. Tabla de lecturas para determinar materia orgánica

PUNTO	PESO CRISOL (g)	PESO SUELO INCINERADO (g)
P1	12.2285	16.8964
P2	12.1515	16.7202
P3	11.4923	15.6403
P4	11.6885	15.7144
P5	11.5516	16.2107
P6	11.6956	15.6604
P7	11.5521	15.9528
P8	12.2285	15.9560
P9	12.2290	16.7790
P10	12.1519	15.8783
P11	11.4918	16.1824
P12	11.5434	16.3828
P13	11.6879	16.3192
P14	11.6952	16.2246
P15	11.5516	16.4120
P16	12.2290	16.7675
P17	12.1519	16.9190
P18	11.4918	16.2801
P19	11.5434	16.2257
P20	11.6879	16.4472
P21	11.6952	16.4233
P22	11.5516	16.3993
P23	12.1515	16.9032



Figura 1. Prueba de plasticidad en cada muestra.



Figura 2. Lecturas de pH, conductividad eléctrica y salinidad tomadas con potenciómetro

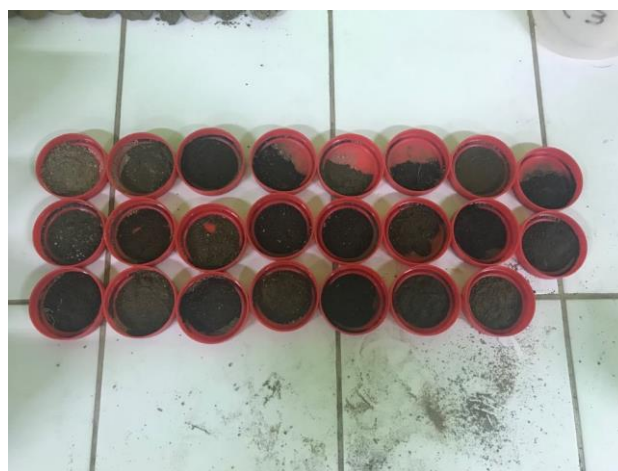


Figura 3. Práctica para establecer el color en suelos húmedos.



Figura 4. Práctica para establecer el color en suelos secos.



Figura 5. Práctica para determinar la densidad real.

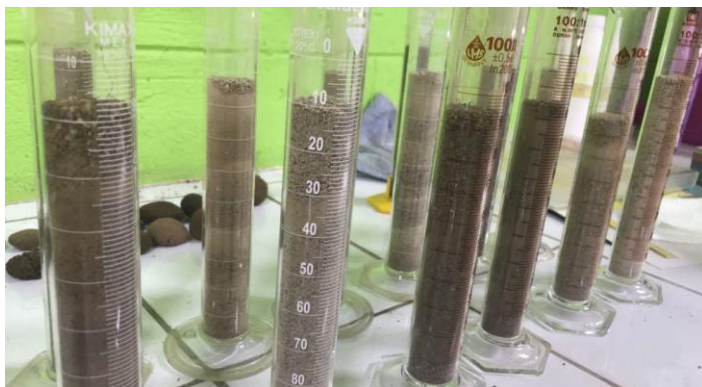


Figura 6. Práctica para determinar la densidad aparente.



Figura 7. Práctica para determinar las texturas utilizando el método del hidrómetro



Figura 8. Preparación de muestras para realizar el método de ollas de presión para determinar la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.